

**ТЕХНОЛОГІЯ
МАШИНО- ТА
ДВИГУНОБУДУВАННЯ**

ПІДРУЧНИК

2005

**Якімов О. В., Новіков Ф. В., Тонконогий В. М.
Якімов О. О., Оборський Г. О., Ларшин В. П.,
Новіков Г. В., Кривошапка Ю. М.**

ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНО- ТА ДВИГУНОБУДУВАННЯ

*Під загальною редакцією заслуженого діяча
науки України, лауреата Державної премії України,
доктора технічних наук, професора
Якімова О. В.*

*Допущено Міністерством освіти і науки України
як підручник для студентів машинобудівних
спеціальностей навчальних закладів освіти
I-IV рівнів акредитації
(Лист №1/11-1175 від 13.04.2001 р.)*

Одеса ОНПУ 2005

ББК 27.4

М 33

УДК 621.91.002(075)

Автори:

Якімов О. В. (вступ, розділи 1; 3; 4; 12; 14; 15, додатки, список літератури), Новіков Ф. В. (розділи 2; 4; 7; 11; 14), Тонконогий В. М. (розділи 7; 8; 10; 11), Якімов О. О. (розділи 5; 6; 10; 11), Оборський Г. О. (розділи 9; 10; 11; 13), Ларшин В. П. (розділи 1; 11; 13; 14, додатки), Новіков Г. В. (розділи 2; 3; 4; 10), Кривошапка Ю. М. (розділи 8; 15).

Рецензенти:

Кафедра сучасних технологій машинобудування Луцького державного технічного університету, зав. кафедрою, канд. тех. наук, доц. Тулашвілі Ю. Й.

Кафедра металорізальних верстатів Одеського національного технічного університету, професор кафедри Моргун Б.А.

В учебнике изложены основные понятия технологии машино- и двигателестроения, принципы проектирования технологических процессов и технология сборки. Освещены вопросы точности, качества поверхностного слоя, базы и оптимизация технологических процессов. Рассмотрены вопросы сертификации, стандартизации и компьютерной технологии.

Учебник предназначен для студентов машиностроительных специальностей высших учебных заведений.

Ил. 348, табл. 81, библиогр. 92 наим.

У підручнику викладені основні поняття технології машино- та двигунобудування, принципи проектування технологічних процесів і технологія складання. Освітлено питання точності, якості поверхневого шару, бази й оптимізація технологічних процесів. Розглянуто питання сертифікації, стандартизації і комп'ютерній технології.

Підручник призначений для студентів машинобудівних спеціальностей вищих навчальних закладів.

Іл. 348, табл. 81, бібліогр. 92 найм.

Якімов О. В. і інш.

М33 Технологія машино- та двигунобудування: Підручник / Якімов О. В., Новіков Ф. В., Тонконогий В. М., Якімов О. О., Оборський Г. О., Ларшин В. П., Новіков Г. В., Кривошапка Ю. М. – Одеса: ОНПУ, 2005. – 720 с.

ISBN 966-549-681-6

© О. В. Якімов
Ф. В. Новіков
В. М. Тонконогий і інш.
2005

Передмова

Технологія машинобудування - це наука про виготовлення машин необхідної якості у встановленій виробничою програмою кількості й у заданий термін при найменших витратах живої й автоматизованої праці, тобто при найменшій собівартості [7]. Дане визначення, по суті, є формулюванням задачі оптимізації з вказівкою цільової функції - собівартості і технологічних обмежень. Вибір оптимальних варіантів технологічних процесів вимагає побудови математичних моделей, що враховують різноманіття факторів, які визначають можливість методів механічної і фізико-хімічної обробки, устаткування, інструмента, технологічного оснащення, способи базування заготовок. Встановити замкнуту систему математичних рівнянь, з єдиних позицій описуючих процеси створення машин, дуже складно.

Для рішення задач оптимізації в технології машинобудування необхідно насамперед на фундаментальному рівні формалізувати процеси обробки і на цій основі виявити й обґрунтувати їхні технологічні можливості. З цією метою в підручнику розглянуті наукові підходи до аналізу точності обробки з врахуванням спрацьовування ріжучого інструменту, пружності системи, верстатів і динаміки процесу різання. Розглянуто закони розподілу похибок і практичне їхнє застосування в технології машинобудування. З використанням принципу сполучення баз на конкретних прикладах представлено розмірний аналіз технологічних процесів. Висвітлено механізм структурних перетворень з врахуванням термічних циклів у зоні різання. Велика увага приділена питанням оптимізації технологічних процесів, проведений пошук оптимальних технологічних рішень в умовах невизначеності. Викладено сутність і місце хіміко-термічної обробки в структурі технологічного процесу і фізико-хімічних методів обробки поверхонь. Проаналізовано причини утворення шорсткості поверхні і кінетику формування тимчасових термопружних напруг у поверхневих шарах деталей. Встановлено зв'язок експлуатаційних характеристик деталей з якістю поверхневого шару. Розглянуто сутність перервного шліфування й область раціонального його застосування. Спеціальний розділ присвячений розгляду різних методів оптимізації технологічних процесів.

Такий виклад науково-теоретичних і інженерних проблем у курсі "Технологія машинобудування" сприяє підвищенню загальнонаукової теоретичної підготовки інженерів і практичному використанню досяг-

нень фундаментальних наук при розв'язуванні виробничих задач.

Теоретичні основи окремих розділів відзеркалюють пріоритет української науки.

При написанні підручника широко використовувався накопичений досвід викладання курсу «Технологія машинобудування» і методичні розробки кафедр різних вузів Одеси, Челябінська, Пермі, а також матеріали УкрНИИСИП і заводів України і Росії.

Вступ

Машинобудування, що забезпечує всі галузі народного господарства, визначає рівень технічного прогресу і впливає на створення матеріально-технічної бази. У зв'язку з цим розвитку машинобудування надається першорядне значення.

Розвитку і формуванню навчальної дисципліни “Технологія машинобудування” передував процес безупинного удосконалення машинобудування протягом двох сторіч.

Одним з видатних російських механіків був М. В. Сидоров, що створив у 1711 році на Тульському збройному заводі верстат для свердління збройних стволів.

У цей же період (1718 - 1725) росіянин механік-винахідник А. К. Нартов створив супорт для токарного верстата і ряд інших верстатів (токарний, зуборізний).

До того ж часу відноситься діяльність геніального росіянина вченого М. В. Ломоносова (1711 - 1765), що виготовив сферотокарний і шліфувальний верстат.

Винахідник парової машини І. І. Ползунов (1728 - 1764) виготовив розточувальний верстат. Російський механік І. П. Кулібін (1735 - 1818) створив спеціальний верстат для виготовлення зубчастих коліс годинникових механізмів. Наприкінці ХІХ і на початку ХХ сторіччя на тульських збройних заводах застосовувався принцип взаємозамінності. Успішному впровадженню принципу взаємозамінності сприяли російські майстри-лекальники, що виготовляли складні калібри з високою для того часу точністю і мали металорізальні верстат і інструменти, що дозволяли виготовляти деталі з необхідною точністю.

Початок вивчення технологічних процесів, тобто способів обробки заготовок, у результаті яких одержують готовий виріб, що відповідає заданим розмірам, формі і якості, поклав у 1804 році академік В. М. Саверін. Він уперше сформулював положення про технологію і визначив, що технологія - наука про ремесла і заводи. У 1819 році проф. Московського університету І. А. Двигубський видав книгу “Початкові підстави технології, як короткий опис робіт на заводах”.

Першою капітальною працею, присвяченою технології металообробки, є тритомна праця проф. І. А. Тіме “Основи машинобудування” (1885). І. А. Тіме вперше сформулював основні закони різання й встановив правильне розуміння сутності цього процесу як послідовного сколювання окремих елементів металу.

Початок формування технології машинобудування як науки відноситься до періода виходу наукових праць радянських вчених: проф. А. П. Соколовського, А. І. Каширіна, В. М. Кована, А. Б. Яхіна і інших. У період 1930 - 1941 р. розробляються принципи типізації технологічних процесів (проф. А. П. Соколовський, Ф. С. Дем'янюк і інші) і здійснюється їхнє практичне впровадження; створюються методи розрахунку припусків на обробку (проф. В. А. Кован, А. П. Соколовський, Б. С. Балакшин, А. І. Каширін і інші). У той же час починається розробка розрахунково-аналітичних методів визначення похибок обробки (проф. А. П. Соколовський, Б. С. Балакшин, В. С. Корсаков, А. Б. Яхін і інші) і застосування математичної статистики і теорії ймовірності при розрахунку точності обробки (проф. А. А. Зиков, А. Б. Яхін).

Винятково інтенсивним розвитком технології машинобудування характеризується період 1941 - 1970 р., що включає роки війни і післявоєнні роки. В цей час формується сучасна теорія точності (проф. А. П. Соколовський, Б. С. Балакшин, В. М. Кован, В. С. Корсаков). Детально розробляється теорія базування оброблюваних заготовок (проф. Б. С. Балакшин, А. О. Маталін, І. М. Колесов, В. С. Корсаков). Розвиваються теоретичні й експериментальні дослідження якості оброблюваних поверхонь і її вплив на експлуатаційні характеристики деталей машин (проф. П. Е. Д'яченко, Б. Д. Грозин, А. О. Маталін, А. І. Ісаєв, А. І. Каширін, Б. І. Костецький, Б. А. Кравченко, І. В. Крагельський, І. В. Кудрявцев, Е. В. Рижов, А. М. Сулима, О. В. Якімов, В. А. Сипайлов, А. В. Подзей, Ю. Г. Шнейдер, і інші). Розгортаються роботи з вивчення впливу динаміки технологічних систем на точність механічної обробки, шорсткість і хвилястість оброблених поверхонь (проф. І. С. Амасов, А. І. Каширін, В. А. Кудинов, А. П. Соколовський). Розробляється і впроваджується у виробництво груповий метод технології й організації виробництва (проф. С. П. Митрофанов). На базі типізації технологічних процесів і використання переналагоджуваного устаткування й оснащення створюються потокові лінії в серійному виробництві (проф. В. В. Бойцов, Ф. С. Дем'янюк). Систематизуються й узагальнюються матеріали за технологією складання і розробляються її наукові основи (проф. В. С. Корсаков, М. П. Новіков).

Відмінною рисою сучасного етапу розвитку технології машинобудування (з 1970 року до теперішнього часу) є широке використання досягнень фундаментальних наук для розв'язання технологічних задач із широким використанням ЕОМ. Здійснюється автоматизація

проектування технологічних процесів - САПР ТП (проф. Г. К. Горанський, Н. М. Капустін, А. С. Старець, С. П. Митрофанов, В. Д. Цветков і інші). Велика увага приділяється проблемі збільшення довговічності деталей технологічними методами. Важливі наукові результати в цій галузі отримані при вивченні фізичних закономірностей процесу шліфування абразивно-алмазними кругами, отримані в роботах В. Н. Бакуля, А. П. Гавриша, В. М. Верезуба, В. Г. Лебедева, О. Е. Проволоцького, А. В. Усова, Ф. В. Новікова, Л. В. Худобіна, М. Д. Узуняна, О. В. Якімова, М. К. Беззубенко, А. І. Грабченко, С. А. Попова, В. А. Рибицького, В. П. Ларшина, Ю. А. Савченко, О. О. Химача, А. О. Шепелева і інших.

Нові наукові результати отримані на основі теоретично-ймовірного підходу до теорії шліфування професорами Д. Г. Євсєєвим, С. Н. Корчаком, А. В. Корольовим, Ю. К. Новоселовим, Ф. В. Новіковим, В. І. Островським, А. И. Сальниковим, А. Н. Резніковим, Л. Н. Філімоновим, О. Б. Федосєєвим, а також на основі теоретичних досліджень закономірностей кінематики шліфування, одержаних Е. Н. Масловим, С. Г. Редько, О. В. Якімовим, П. І. Ящеріциним, А. К. Байкаловим і іншими.

Бурхливий розвиток двигунобудування, авіаційної і космічної техніки визначив створення комп'ютерних технологій з використанням гнучких виробничих систем (ГВС). Ведуться роботи зі створення загальної математичної теорії технології машинобудування, механічної і фізико-технічної обробки на основі нової методології, що базується на фундаментальних законах фізики і механіки.

Технологія машинобудування як навчальна дисципліна має ряд особливостей, що істотно відрізняють її від інших спеціальних дисциплін:

1. Технологія машинобудування є прикладною наукою, що безпосередньо пов'язана з промисловістю, яка розвивається.

2. Будучи прикладною наукою, технологія машинобудування разом з тим базується на фундаментальних науках. Вона має теоретичну основу, що включає в себе: науку про точність, розмірний аналіз, оптимізацію параметрів при розробці комп'ютерних технологій, розрахунок розмірних ланцюгів, розсіювання розмірів; типізацію технологічних процесів і групову обробку, пружність і похибки технологічного оснащення й устаткування, явища, що відбуваються в поверхневих шарах деталей, які обробляються під дією високих температур і тиску, а також їх якість.

3. Технологія машинобудування є комплексною інженерною і

науковою дисципліною, що має нерозривний зв'язок з такими дисциплінами, як теорія різання, металорізальні верстати й інструменти, допуски, технічні вимірювання, матеріалознавство і термічна обробка. Розгляд технологічних процесів без використання цих наук взагалі неможливий. Сучасні напрямки в області створення комп'ютерних технологій, структурної і параметричної оптимізації, адаптивних і інтелектуальних систем ґрунтуються на досягненнях математики, електронної, обчислювальної і керуючої техніки, кібернетики, радіотехніки, металлофізики й інших сучасних теоретичних і технічних наук.

4. Технологія машинобудування є основною профілюючою дисципліною, яка значною мірою визначає рівень професійної підготовки інженерів і їхніх здібностей до практичного використання загальнотеоретичних і загальноінженерних наук.

Концепції навчання інженера-механіка повинна складатися з трьох циклів: інформаційного, аналітичного і синтетичного.

Перший цикл знань (інформаційний), ставить і відповідає на запитання: що, де, коли, скільки? Традиційний набір дисциплін гуманітарного профілю готує студентів до відповіді на поставлені питання.

Другий цикл знань (аналітичний) ставить і відповідає на запитання: як зробити? Ці знання забезпечують інженерно-технічні дисципліни.

Третій цикл знань вимагає синтезу інформації з метою забезпечити розуміння суті (проблеми, явищ). Цей цикл знань ставить і відповідає на запитання: чому?

Основна мета курсу технології машинобудування - забезпечити розуміння проблеми. Отже, центр знань у вищій школі повинен зміститися в бік розуміння сутності проблеми.

Р О З Д І Л 1

ОБ'ЄКТ ВИРОБНИЦТВА, СПОСОБИ ОДЕРЖАННЯ ЗАГОТОВОК І ВИДИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

1.1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ І ВИЗНАЧЕННЯ

Виробничим процесом заводу (виробничої дільниці, цеху) називають весь комплекс процесів організації, планування, постачання, виготовлення, контролю і т.д., необхідних для перетворення поступаючих на завод (дільницю, цех) матеріалів і напівфабрикатів у готову продукцію. У виробничому процесі найбільш важливе місце займають технологічні процеси, безпосередньо пов'язані з перетворенням матеріалів і напівфабрикатів у готові вироби.

Технологічний процес - це частина виробничого процесу, під час якого відбувається зміна якісного стану об'єкта виробництва (матеріали, заготовки, деталі, машини).

Для одержання продукції необхідної якості застосовують різні процеси обробки: лиття, обробку тиском, різання, термічну обробку, покриття, складання, зварювання і т.д. Під технологічним процесом механічної обробки деталей розуміють послідовне перетворення заготовок в готову деталь шляхом механічної обробки їх поверхонь. Основним елементом технологічного процесу є операція.

Операція - це частина технологічного процесу, що виконується на одному робочому місці до початку обробки наступної деталі.

Операція є базовою виробничого планування й обліку. На основі операції визначаються трудомісткість виготовлення деталей, вузлів, виробів та потрібна кількість робітників, устаткування, пристроїв і інструментів, встановлюється собівартість обробки, розробляється календарне планування і контроль виробництва. Операція може виконуватися за один чи за кілька встановлень оброблюваної деталі.

Встановлення - це частина операції, виконуваної при одному закріпленні заготовки. У багатьох випадках операцію поділяють на по-

зиці. Позиція характеризує фіксоване положення заготовки, займане щодо інструмента чи нерухомої частини верстата. Наприклад, фрезерування кожної з чотирьох граней головки гвинта при одному його закріпленні в ділільному пристрої. Операція розділяється на технологічні переходи.

Технологічний перехід – закінчена частина технологічної операції, що характеризується сталістю застосовуваного інструмента й оброблених поверхонь.

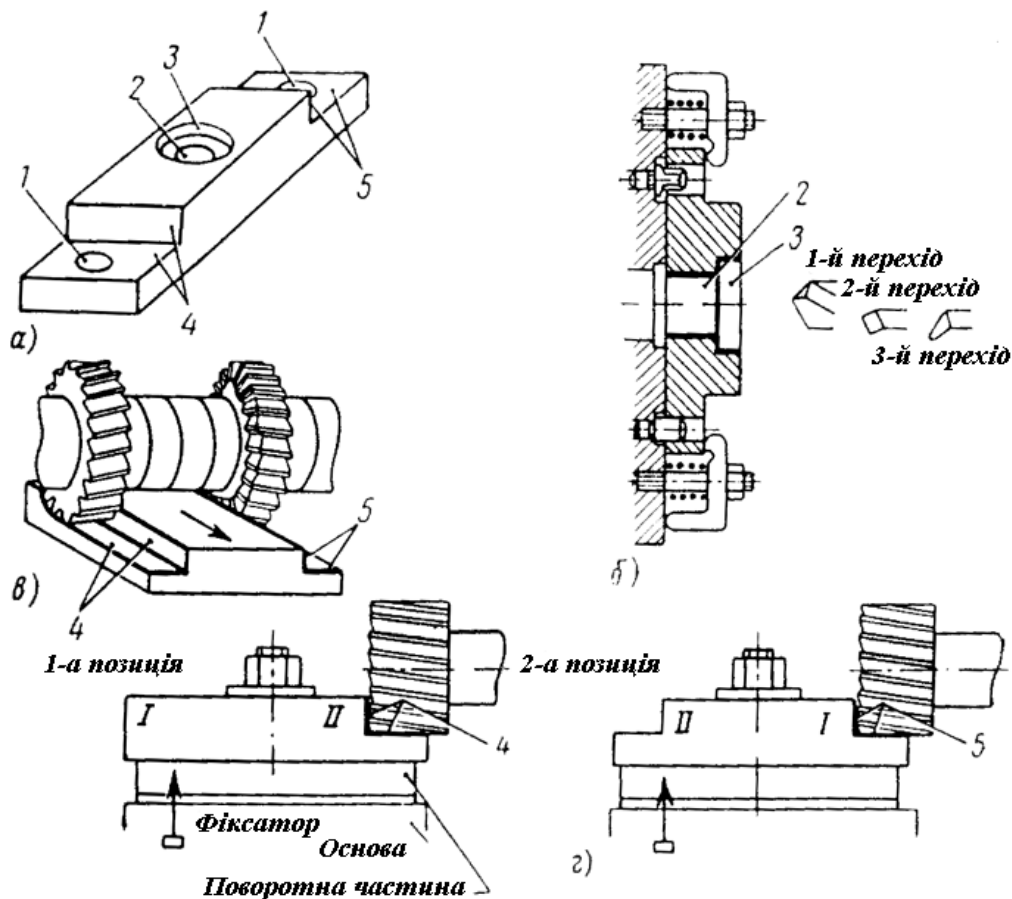


Рис. 1.1. Схеми, що пояснюють структуру технологічного процесу.

У ряді випадків через недостатню потужність привода верстата, міцності і твердості деталі й інструмента видалити припуск за один технологічний перехід не можливо. У цьому випадку припуск видаляється за кілька проходів.

Проходом називається частина переходу, що складається з одноразового переміщення інструмента щодо заготовки, супроводжуваного зміною форми, розмірів, шорсткості поверхні і фізико-механічних властивостей поверхневого шару.

На рис. 1.1 приведені різні методи обробки деталі, що пояснюють структуру технологічного процесу.

Наприклад, операція обробки отвору виконується за три перехо-

ди: свердління і розточування отвору 2 і розточування виїмки 3 (рис. 1.1, б). Для підвищення продуктивності часто поєднують кілька переходів в один складний (сполучення переходів), що характеризуються одночасною обробкою декількох поверхонь (рис. 1.1, в).

Якщо площини 4 і 5 у деталі (рис. 1.1, а) фрезерувати тільки однією фрезою (рис. 1.1, г), то після обробки площини 4 потрібно зняти деталь із пристрою, перевернути, знову встановити і закріпити для обробки площини 5. У цьому випадку операція виконується за два встановлення деталі.

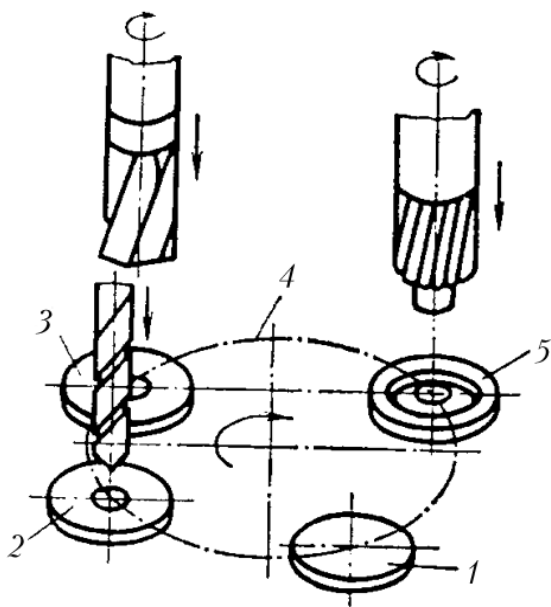


Рис. 1.2. Чотирипозиційна обробка деталі на тришпиндельному верстаті: 1 – встановлення і знімання деталі; 2 – свердління; 3 – зенкування; 4 – стіл; 5 – зенкування.

ном переміщується з однієї позиції в іншу.

Після завершення циклу обробки, який включає три робочі позиції, деталь знову повертається в першу позицію, де виконується зняття обробленої деталі й встановлення нової заготовки. На поворотному столі 4 закріплені чотири трикулачкові патрони для одночасної обробки трьох деталей і заміни четвертої.

1.2. ВИДИ ОПЕРАЦІЙ І ЕТАПИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

Для перетворення заготовки в готову деталь з кожної її поверхні знімається шар металу, названий припуском.

Загальний припуск може бути знятий за одну операцію чи за кілька операцій. Причому кожна наступна операція повинна відрізнятися від попередньої меншим операційним припуском і більшою точністю.

У зв'язку з цим розрізняють наступні види операцій: обдирні, чорнові, чистові, завершальні й оздоблювальні.

Обдирною називають першу операцію, на якій знімається велика частина загального припуску (до 60%). Точність обробки при цьому низька, але вища точності заготовки.

Чорновою називають будь-яку операцію, якщо за нею слідує аналогічна за методом обробки, але більш точна операція, названа чистовою. На цій операції видаляється до 30% загального припуску.

Чистовою називають операцію, що виконується за чорновою. Метою її може бути завершення обробки даної поверхні (тоді ця операція є одночасно й завершальною) чи підготовка поверхні до більш точної обробки.

Завершальною називають останню операцію, що забезпечує задану робочим кресленням точність і шорсткість поверхні.

Оздоблювальною називають кінцеву операцію, якщо вона супроводжується зняттям дуже малого припуску. Вона забезпечує особливо високі вимоги за точністю розмірів, форми і взаємного розташування поверхонь і шорсткості поверхні. Кількість операцій призначають у залежності від багатьох часткових умов. До них відносяться розміри і форма поверхні, задана кресленням точність обробки, вид і місце необхідної термічної обробки й ін.

Звичайна кількість операцій тим більша, чим складніші ці умови. Наприклад, у технологічних процесах обробки високоточних навантажених валів кількість операцій може доходити до 7 і більше. Наприклад, обдирання, обточування чорнове, обточування чистове, шліфування під цементацію, чорнове і чистове шліфування після цементації, загартовування і нарешті суперфініш, а торці вала обробляються тільки два - три рази.

Обробка однієї поверхні за кілька операцій обумовлена наступними причинами: по-перше, це потрібно для забезпечення заданої точності деталі, по-друге, це потрібно для більш кращого використання устаткування.

Чорнові й обдирні операції повинні виконуватися на верстатах з підвищеною потужністю приводів. Проміжні операції потрібно виконувати на верстатах з меншою потужністю приводів, але вони повинні забезпечувати більш високу точність.

1.3. ВИБІР І СПОСОБИ ОДЕРЖАННЯ ЗАГОТОВОК

При проектуванні машин конструктор призначає марку матеріалу, з якого будуть виготовлені деталі. Вибір марки матеріалу проводиться з врахуванням характеру роботи деталі в машині, її необхідної міцності і геометричної форми.

Однією з головних задач, що розв'язуються при розробці технологічного процесу, є вибір заготовки.

Технолог, керуючись кресленням, визначає спосіб одержання заготовки з врахуванням марки матеріалу, форми і розмірів деталі, а також виробничої програми її виготовлення, передбачаючи при цьому можливою економію засобів і часу.

Наприклад, якщо на кресленні деталі в якості матеріалу зазначена сталь, то заготовку одержують куванням, штампуванням або із сортового прокату; якщо зазначений чавун чи кольорові сплави (бронза, силумін і ін.), то заготовку одержують литтям. Вони за формою і розмірами повинні наближатися до розмірів готової деталі. Вибрати заготовку - це значить встановити спосіб її одержання, призначити припуски на обробку кожної поверхні, розрахувати її розміри і вказати допуски на виготовлення.

У залежності від призначення деталі, її форми, розмірів і програми випуску застосовуються різні способи одержання заготовок: в одиничному і дрібносерійному виробництвах заготовки простих форм із плоскою поверхнею відливаються в піщаних формах з ручним формуванням по дерев'яних моделях.

У серійному і масовому виробництвах при виливці заготовок, що мають форму тіл обертання, застосовують машинне формування.

Виливка складної форми виконується по виплавлених моделях. Виплавлені моделі одержують із суміші парафіну, церезину, стеарину й ін. Така суміш перемішується й у розплавленому виді під тиском подається в металеву прес-форму. З воскових моделей комплектується ливарна форма для виливка деталей. Перед заливанням рідкого металу ливарну форму нагрівають до температури вище температури плавлення матеріалу моделі. Модель при цьому розплавляється і випливає з форми. Форму заповнюють рідким металом.

Заготовки деталей типу втулок, черв'ячних зубчастих коліс і інших деталей з чавуну і бронзи одержують заливанням рідкого металу в кокіль (рознімну металеву форму, що розкривають після затвердіння металу).

При великих програмах випуску застосовують відцентрове лиття. Під дією відцентрових сил метал притискається до стінок форми, і виливки виходять з ущільненою структурою з мінімальними припусками під обробку різанням.

Більш економічним у порівнянні з литтям по виплавлюваних моделях є лиття в оболонкові рознімні форми. Оболонкові форми виготовляють з формувальної суміші, яка складається з дрібного кварцового піску з 4 - 6% пульвербакеліту, що представляє собою термоактивну смолу. Зібрану оболонкову форму перед заливанням встановлюють у металеву шухляду. Простір між формою і металевою шухлядою заповнюють формувальною сумішшю.

Заготовки для навантажених деталей, що працюють з великими швидкостями обертання, одержують методом пластичного деформування: вільним куванням, гарячим і холодним штампуванням.

В одиничному і дрібносерійному виробництвах поковки виготовляють вільним куванням на молотах і пресах.

Гаряче штампування широко використовують у серійному і масовому виробництвах.

Штамповані заготовки одержують:

1. Комбінованим куванням і гарячим об'ємним штампуванням.
2. Штампуванням у підкладних штампах.
3. Штампуванням у закритих безоблойних штампах.
4. Штампуванням рідкого металу.
5. Холодним штампуванням-висадженням.

Спосіб комбінованого кування і гарячого штампування зменшує витрату металу на 40 - 50% у порівнянні з вільним куванням.

При виготовленні заготовок суцільної форми застосовують багатопотокове штампування з обрізкою облою.

Штампування у відкритих штампах супроводжуються втратою металу на утворення облою (до 20% маси заготовки).

Безоблойне штампування в закритих штампах вимагає більш точного дозування вихідної заготовки: відхилення, що допускаються, по масі складають + 5%.

Велика перевага в порівнянні з куванням на молотах і пресах має кування на горизонтально-кувальних машинах. Ці машини дозволяють використовувати штампи закритого типу для безоблойного штампування. На горизонтально-кувальних машинах штампують стрижні зі стовщеннями на кінцях, фланці з двома буртами, зубчасті колеса і т.д.

Сутність гарячого штампування рідкого металу полягає в насту-

пному. Вільно залитий у форму метал видавлюється під тиском пуансона в порожнину форми і затвердіває. Припуск на обробку різанням складає 0,5 - 1,0 мм.

Холодне штампування-висадження роблять на висадочних автоматах. Таким способом одержують заготовки болтів, гвинтів і інших простих деталей, зі сталевих прутків діаметром не більше 25 мм. Продуктивність холодно-висадочних автоматів у багато разів перевершує продуктивність металорізальних автоматів. Якщо заготовку можна одержати різними способами, то мимоволі виникає питання: а який з них найбільш економічний?

Одним із критеріїв, по якому оцінюються техніко-економічні показники, є коефіцієнт використання матеріалу K_m . Цей коефіцієнт характеризує відношення фізичної маси готової деталі q до маси заготовки Q . Чим вище коефіцієнт використання матеріалу, тим менше витрачається матеріалу, електроенергії й інструменту.

$$K_m = \frac{q}{Q} \geq 0,8.$$

Для зниження витрат на виготовлення заготовок і підвищення продуктивності праці потрібно створювати заводи по виготовленню заготовок для машинобудівних підприємств.

1.4. ПРИПУСКИ НА МЕХАНІЧНУ ОБРОБКУ

Припуск – шар металу, що видаляється з поверхні заготовки з метою досягнення заданих властивостей оброблюваної поверхні.

Базуючись на аналізі чинників, що впливають на припуски попереднього і виконуваного переходів, професор В.М. Кован розробив розрахунково-аналітичний метод визначення операційних припусків. Розрахунковою величиною є мінімальний припуск на обробку, який повинен забезпечити усунення похибок обробки на виконуваному переході і дефектів поверхневого шару, одержаних на попередньому переході.

Розрізняють загальний і операційний припуски. Загальним припуском на обробку називається шар матеріалу, що видаляється з поверхні вихідної заготовки в процесі механічної обробки з метою отримання готової деталі.

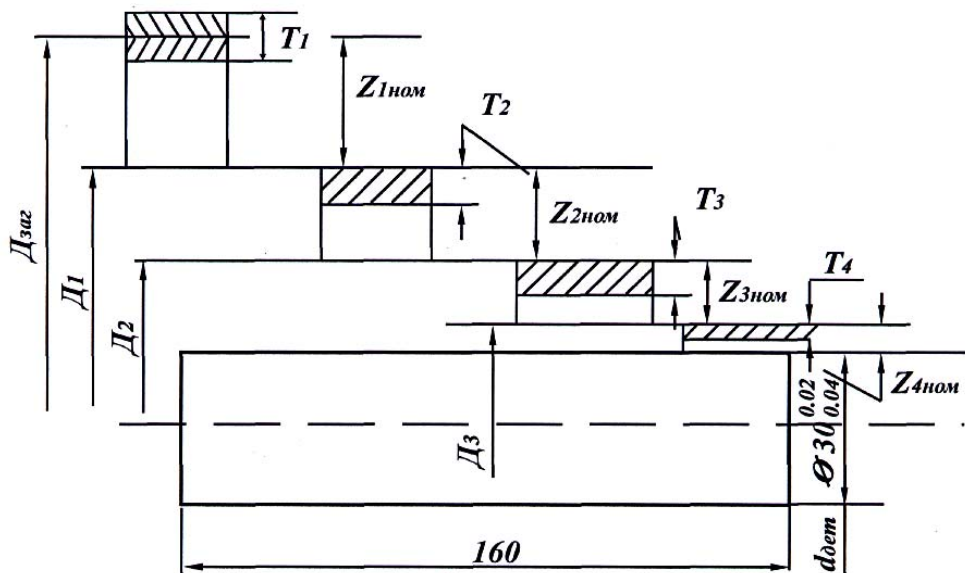


Рис. 1.3. Схема розташування операційних розмірів припусків і допусків.

Слід відмітити, що призначення надмірно великих припусків на заготовку приводить до непродуктивних втрат матеріалу, перетвореного в стружку, до підвищеної витрати ріжучого інструменту, збільшення трудомісткості, споживаної електроенергії і робочої сили.

Незначний припуск, навпаки, може не забезпечити видалення дефектного шару матеріалу і отримання необхідної точності і шорсткості оброблюваних поверхонь, а також з'являється небезпека виникнення браку із-за наявності черновін.

Операційний припуск – це шар матеріалу, що видаляється із заготовки при виконанні однієї технологічної операції.

Схема розташування припусків і допусків на обробку вала за чотири операції (точіння чернове, точіння чистове, шліфування попереднє і шліфування остаточне) приведено на рис. 1.3.

Загальний номінальний розрахунковий припуск на обробку $Z_{i\hat{i}\hat{i}}$ визначається як різниця номінальних розмірів вихідної заготовки і готової деталі

$$Z_{i\hat{i}\hat{i}} = D_{i\hat{i}\hat{i}} - d_{i\hat{i}\hat{i}} \quad (1.1)$$

Він рівний сумі номінальних (розрахункових) припусків на окремі операції, тобто

$$Z_{i\hat{i}\hat{i}} = \sum_{i=1}^n Z_{i\hat{i}\hat{i}} \quad (1.2)$$

де $Z_{i_{ii}}$ – номінальний розрахунковий припуск на окрему операцію;
 n – загальна кількість операцій обробки деталей.

Розрізняють мінімальний, номінальний і максимальний припуски.

Мінімальний операційний припуск Z_i^{min} – різниця найменшого граничного розміру до обробки і найбільшого граничного розміру після обробки на даній операції.

Максимальний операційний припуск Z_i^{max} – різниця найбільшого граничного розміру до обробки і найменшого граничного розміру після обробки на даній операції. З схеми (рис. 1.3) виходить, що максимальний припуск на обробку поверхні визначається формулою

$$Z_i^{max} = Z_i^{min} + TD_{i-1} + TD_i, \quad (1.3)$$

де TD_{i-1} , TD_i – допуски на попередню і наступну операції.

Номінальний (розрахунковий) операційний припуск $Z_{i_{ii}}$ – різниця номінальних розмірів виробу до і після обробки на даній операції.

Допуски на операційні розміри прийнято призначати в тіло деталі (рис. 1.4).

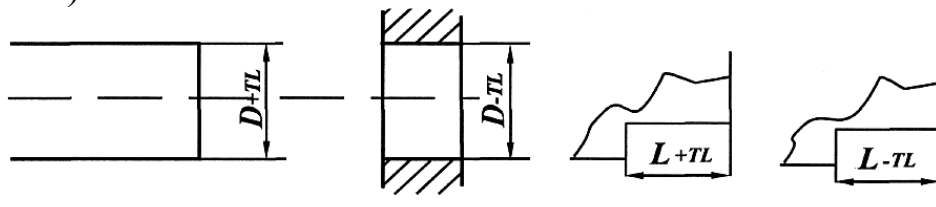


Рис. 1.4. Допуски задаються в тіло деталі.

Мінімальний операційний припуск складається з окремих елементів, пов'язаних з різними похибками, наприклад, для компенсації нерівностей, що виникають на попередній операції $Z_{i_{ii}}$, дефектного шару металу h_{i-1} , що виникає у зв'язку із знеуглецюванням, утворенням тріщин і т.д. (рис. 1.5,а), для компенсації похибок форми і просторових відхилень оброблюваних поверхонь щодо базових поверхонь вихідної заготовки (рис. 1.5,б) $\Delta_{\Sigma_{i-1}}$ (неспіввісність, неперпендикулярність торцевих поверхонь до лінії центрових отворів і т.д.), для компенсації похибок установки заготовки (рис. 1.5,в) ε_i .

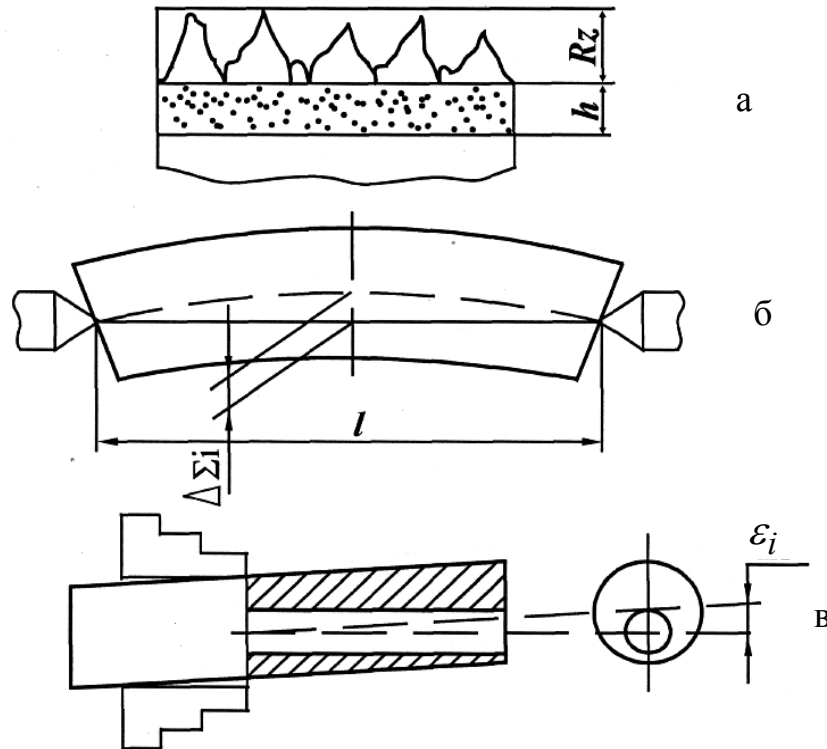


Рис. 1.5. Складові елементи операційного процесу.

Складові похибок $\Delta \Sigma_{i-1}$ і ϵ_i є векторними величинами, вони мають не тільки величину, але і напрям, тому підсумовуються за правилом квадратного кореня.

Мінімальний операційний припуск при обробці протилежних поверхонь визначається по формулі

$$Z_{i_{min}} = (R_z + h)_{i-1} + \Delta \Sigma_{i-1} + \epsilon_i. \quad (1.4)$$

Мінімальний двосторонній припуск протилежних поверхонь визначається по формулі

$$2Z_{i_{min}} = 2 \left[(R_z + h)_{i-1} + \Delta \Sigma_{i-1} + \epsilon_i \right]. \quad (1.5)$$

Мінімальний двосторонній припуск при обробці зовнішніх циліндрових поверхонь визначається по формулі

$$2Z_{i_{min}} = 2 \left[(R_z + h)_{i-1} + \sqrt{\Delta \Sigma_{i-1}^2 + \epsilon_i^2} \right]. \quad (1.6)$$

Тут $R_{z_{i-1}}$ – висота нерівностей профілю на попередньому переході; h_{i-1} – глибина дефектного поверхневого шару на попередньому переході (зневуглецьований або вибілений шар); $\Delta_{\Sigma_{i-1}}$ – сумарні відхилення розташування поверхонь (відхилення від паралельності, співвісності, симетричності, перетину осей і в деяких випадках відхилення форми поверхонь); ε_i – похибка установки заготовки на виконуваному переході.

Приклад розрахунку припусків граничних розмірів.

Потрібно обробити вал $l=250$ мм діаметром $30_{-0,04}^{-0,02}$ (f6), заготовка – поковка 16 квалітета точності.

1. Для розрахунку номінальних операційних припусків необхідно спочатку визначити кількість операцій, необхідних для отримання валу шостого квалітета точності.

Допуск на діаметр заготовки поковки $\Delta_{\phi_{\text{заг}}} = 2$ мм, допуск на діаметр деталі $\Delta_{\phi_{\text{дет}}} = 0,02$ мм.

Потрібна кількість операцій визначається по формулі [12]:

$$n = \frac{\lg \varepsilon_{\phi_{\text{дет}}}}{0,4 \div 0,5}. \quad (1.7)$$

Загальне уточнення $\varepsilon_{\phi_{\text{дет}}} = \frac{T_{\phi_{\text{дет}}}}{\Delta_{\phi_{\text{дет}}}} = \frac{2}{0,02} = 100$. Після підстановки уточнення у формулу (1.7), одержимо

$$n = \frac{\lg \varepsilon_{\phi_{\text{дет}}}}{0,5} = \frac{2,0}{0,5} = 4.$$

2. Приймаємо наступний технологічний процес:

- заготовка – штампування;
- попереднє чорнове обточування;
- чистове обточування;
- термообробка (гарт);
- попереднє шліфування;
- чистове (остаточне) шліфування.

3. Послідовність розрахунку номінальних операційних припусків.

Розрахунок починається з операції чистового шліфування. Номінальний припуск під чистове шліфування визначається по формулі

$$2Z_i = T_{i-1} + 2(R_z + h)_{i-1} + 2\sqrt{\Delta_{\Sigma_{i-1}}^2 + \varepsilon_i^2} . \quad (1.8)$$

З таблиць [38] вибираємо параметри: $R_{z_{i-1}}=15$ мкм, $h_{i-1}=15$ мкм, $2\Delta_{\Sigma_{i-1}} = \Delta_k l = 0,03 \cdot 250 = 15$ мкм, для чистового шліфування $\varepsilon_i=0$, $T_{i-1}=40$ мкм.

Після підстановки даних у формулу (1.8) одержимо номінальний припуск під чистове шліфування

$$2Z_i = 40 + 2 \cdot (15 + 15) + 15 = 115 \text{ мкм.}$$

Для визначення номінального припуску під попереднє шліфування з таблиць [38] вибираємо для чистового точіння $R_{z_{i-1}}=25$ мкм, $h_{i-1}=25$ мкм, $2\Delta_{\Sigma_{i-1}} = \Delta_k l = 0,072 \cdot 250 = 18$ мкм, допуск $T_{i-1}=100$ мкм, $\varepsilon_i=0$.

Після підстановки даних у формулу (1.8) одержимо номінальний припуск під попереднє шліфування

$$2Z_i = 100 + 2 \cdot (25 + 25) + 18 = 218 \text{ мкм.}$$

Для визначення номінального припуску під чистове точіння з таблиць [38] вибираємо для попереднього обточування $R_{z_{i-1}} = 50$ мкм, $h_{i-1}=50$ мкм, $2\Delta_{\Sigma_{i-1}} = \Delta_k l = 0,16 \cdot 250 = 40$ мкм, допуск $T_{i-1}=390$ мкм, $\varepsilon_i=0$.

Після підстановки даних у формулу (1.8) одержимо номінальний припуск під чистове точіння

$$2Z_i = 390 + 2 \cdot (50 + 50) + 40 = 630 \text{ мкм.}$$

Для визначення номінального припуску під попереднє обточування з таблиць [38] вибираємо параметри $R_{z_{i-1}}=100$ мкм, $h_{i-1}=100$ мкм, $2\Delta_{\Sigma_{i-1}} = \Delta_k l = 0,6 \cdot 250 = 150$ мкм, допуск на поковку $T_{i-1}=2000$

мкм. Для чорнової обробки необхідно враховувати похибку зацентрування $2\Delta_{\delta}=600$ мкм і похибку установки $2\varepsilon_i=2\cdot 150=300$ мкм. Після підстановки даних у формулу

$$2Z_i = T_{i-1} + 2 \cdot (Rz + h)_{i-1} + 2 \sqrt{\Delta_{\Sigma_{i-1}}^2 + \varepsilon_i^2} + 2\Delta_{\delta}$$

одержимо

$$2Z_i = 2000 + 2 \cdot (100 + 100) + 335 + 2 \cdot 300 = 3335 \text{ мкм.}$$

Розрахункові значення номінальних припусків і граничних розмірів вала по технологічному процесу приведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Технологічний процес	Квалітет точності	Допуск T , мкм	Припуск Z_n , мкм	D_{max} , мм	D_{min} , мм
Поковка	16	2000		37,728	35,728
1. Попереднє обточування	13	390	3335	30,943	30,553
2. Чистове обточування	10	100	630	30,313	30,213
3. Закладка					
4. Попереднє шліфування	9	40	218	30,095	30,055
5. Остаточне шліфування	6,0	20	115	29,98	29,96

1.5. ВИДИ ВИРОБНИЦТВ

Організація виробництва і характер технологічного процесу залежить від кількості машин, що виготовляються, і трудомісткості їхнього виготовлення. Умовно види виробництва розділяють на одиничне, серійне і масове. Тип виробництва визначає вибір технологічного устаткування, ступінь механізації й автоматизації виробничих процесів.

Для визначення типу виробництва використовують коефіцієнт серійності (коефіцієнт закріплення операцій).

Коефіцієнт K_{30} дорівнює відношенню числа різних технологічних операцій “О”, виконуваних протягом місяця, до числа робочих місць P : $K_{30} = O/P$.

При $K_{30} = 1$ устаткування завантажене цілком і переналагоджуватися не буде. Цій умові відповідає масове виробництво.

При $K_{30} > 1$ на верстатах будуть оброблятися деталі декількох найменувань – виробництво серійне. Орієнтовно про тип виробництва судять по K_{30} .

K_{30}	Тип виробництва
1	масове виробництво
2...10	багатосерійне виробництво
10...20	серійне
20...40	дрібносерійне
> 40	одиничне виробництво

Наприклад, на ділянці 14 верстатів, з них на 2 верстатах виконують по 5 різних операцій, на 3 верстатах виконують по 4 операції, на 4 верстатах – по 3 операції і на 5 верстатах – по 2 операції. Для визначення серійності визначають K_{30}

$$K_{30} = \frac{2 \cdot 5 + 3 \cdot 4 + 4 \cdot 3 + 5 \cdot 2}{14} \approx 3.$$

Отриманий коефіцієнт закріплення операцій характеризує багатосерійне виробництво.

Масове виробництво характеризується:

1. Безперервністю випуску тих самих виробів.
2. Використанням спеціального устаткування.
3. Застосуванням багато-інструментальних налагоджень.
4. Застосуванням спеціального ріжучого і вимірювального інструмента.
5. Розміщенням устаткування за ходом технологічного процесу і складністю налагоджень верстатів.
6. Продукція має широке застосування (велосипеди, трактори,

автомобілі і т.д.).

Для масового виробництва, крім великої програми випуску виробів, потрібна ще стійкість програми.

При масовому виробництві часта заміна і переналагодження устаткування неприпустимі, тому що витрати на спеціальні пристосування, вимірювальні і різальні інструменти відносяться до спеціальних витрат. Ці витрати розподіляються на всі деталі, що будуть оброблятися за весь час експлуатації спеціальних верстатів, пристосувань та інструментів. Тому, чим стійкіше виробництво, тим більше спеціальних засобів буде виділено на вдосконалення технології.

У табл. 1.2 представлені діапазони зміни річної програми випуску в різних видах виробництв.

Таблиця 1.2

Маса деталі, кг	Річна програма, шт.				
	Тип виробництва				
	одиничне	дрібносерійне	серійне	багатосерійне	масове
1,0	10	10 – 2000	1500 – 10000	75000–200000	200000
1,0 – 2,5	10	10 – 1000	1000 – 5000	50000–100000	100000
2,5 – 5,0	10	10 – 500	500 – 3500	3500–7500	7500
5,0 – 10,0	10	10 – 300	300 – 2500	2500–5000	5000
10	10	10 – 200	200 – 1000	1000–2500	2500

Серійне виробництво. Тут виготовлення здійснюється партіями деталей чи серіями виробів, що регулярно повторюються через визначений проміжок часу.

Характерною ознакою є виконання на робочому місці декількох періодично повторюваних операцій. Продукція серійного виробництва - вироби сталого типу (верстати, крани, гідротурбіни). Номенклатура виробів підбирається близькою за габаритами, розмірами, конфігурацією (вали, корпуси, зубчасті колеса) та матеріалами (сталь, алюміній, чавун).

Партія – це визначена кількість деталей, що запускаються в обробку одночасно.

Розмір партії (серії) визначається за формулою

$$n = \frac{Na}{\Phi_q},$$

де n – кількість деталей у партії, шт.; N – річна програма випуску, шт; a – число робочих днів, на яке дозволяється мати незавершене виробництво; Φ_q – річний фонд робочого часу.

Багатосерійне виробництво $a = 4 \div 6$.

Серійне виробництво $a = 6 \div 10$.

Серійне виробництво характеризується:

1. Періодичною повторюваністю партій.
2. Застосуванням універсального і частково спеціального устаткування.
3. Застосуванням універсальних спеціальних пристосувань.
4. Застосуванням заготовок із прокату, виливків у кокіль і в землю.

Одиничне виробництво. Вироби, що тут виготовляються, або не повторюються, або повторюються, але через невизначений проміжок часу. На робочих місцях виконуються різноманітні операції. Продукція не має широкого застосування. За такою формою організації праці працюють заводи важкого машинобудування, суднобудівні верфі, підприємства, що випускають спеціальне устаткування для хімічних і металургійних заводів, у дослідних і ремонтних цехах і т.д.

В одиничному виробництві розміщення устаткування виконується по групах. Наприклад, ділянка токарних верстатів, ділянка фрезерних чи зубошліфувальних верстатів, ділянка розточувальних прецизійних верстатів чи верстатів із ЧПК.

Технологічний менеджмент у виробничих системах. Особливістю сучасного етапу розвитку машинобудування є гостра конкурентна боротьба на світовому ринку між заводами за просування своєї продукції. Для комерційного успіху машинобудівні підприємства повинні випускати таку продукцію, що по своїх споживчих властивостях відповідала б попиту на ринку. Крім того, продукція, яка випускається, повинна мати мінімальну вартість, необхідну якість, високу надійність, зручність в експлуатації і ремонті. Випуск такої конкурентоздатної продукції в умовах безупинно зростаючих до неї вимог, є складним завданням, що охоплює етапи організації, планування і виготовлення.

Однієї з форм принципово нової організації машинобудівного

виробництва, що дозволяє вирішити проблему випуску конкурентоздатної продукції, є створення гнучких виробничих систем (ГВС). У рамках цього напрямку відома інтегрована комп'ютерна система конструкторської підготовки виробництва й інтегровані виробничі і технологічні системи.

В інтегрованих технологічних системах для реалізації поставленого завдання залучаються теорія конструювання, різні модулі курсу технології машинобудування, організація (менеджмент) і економіка виробництва.

При такому системному підході до проектування і виготовлення виробів на вході в систему задаються вихідні дані, що надалі протягом усього виробничого процесу багаторазово використовуються відповідно до розробленого алгоритму функціонування виробничої системи доти, поки не будуть отримані прийнятні кінцеві результати, визначені в технічному завданні на виготовлення.

Інтегровані технологічні і виробничі системи повинні охоплювати не тільки етапи проектування і виготовлення виробів, але й етапи підготовки виробництва. Для розробки таких систем потрібний принципово новий підхід до вирішення даної проблеми шляхом багатоступінчастого наближення до мети, що включає всі етапи життєвого циклу виробу.

Такий підхід до проектування вимагає встановлення зв'язків точності обробки і якості поверхневого шару з продуктивністю і собівартістю на початковому етапі життєвого циклу (маркетингові дослідження), щоб вчасно прийняти принципове рішення про необхідність внесення відповідних змін у технічному завданні.

Інформаційна модель дозволяє приймати рішення на основі реалізації будь-якого етапу технологічного процесу. При цьому можливі два варіанти умов виготовлення виробів: для новоствореного виробництва - перспективний технологічний процес і для діючого виробництва - робочий технологічний процес.

У діючому виробництві інформаційна модель вже відома. Вона включає у виді окремих модулів необхідні підсистеми, наприклад, послідовність етапів обробки, що забезпечують необхідну точність і якість виготовлення, методику розмірного аналізу, розподіл припусків по переходах, що забезпечують усунення шліфувальних дефектів, розрахунок режимів різання, нормування технологічного процесу, розрахунок виробничого персоналу, витрат виробництва, собівартості продукції і т.д.

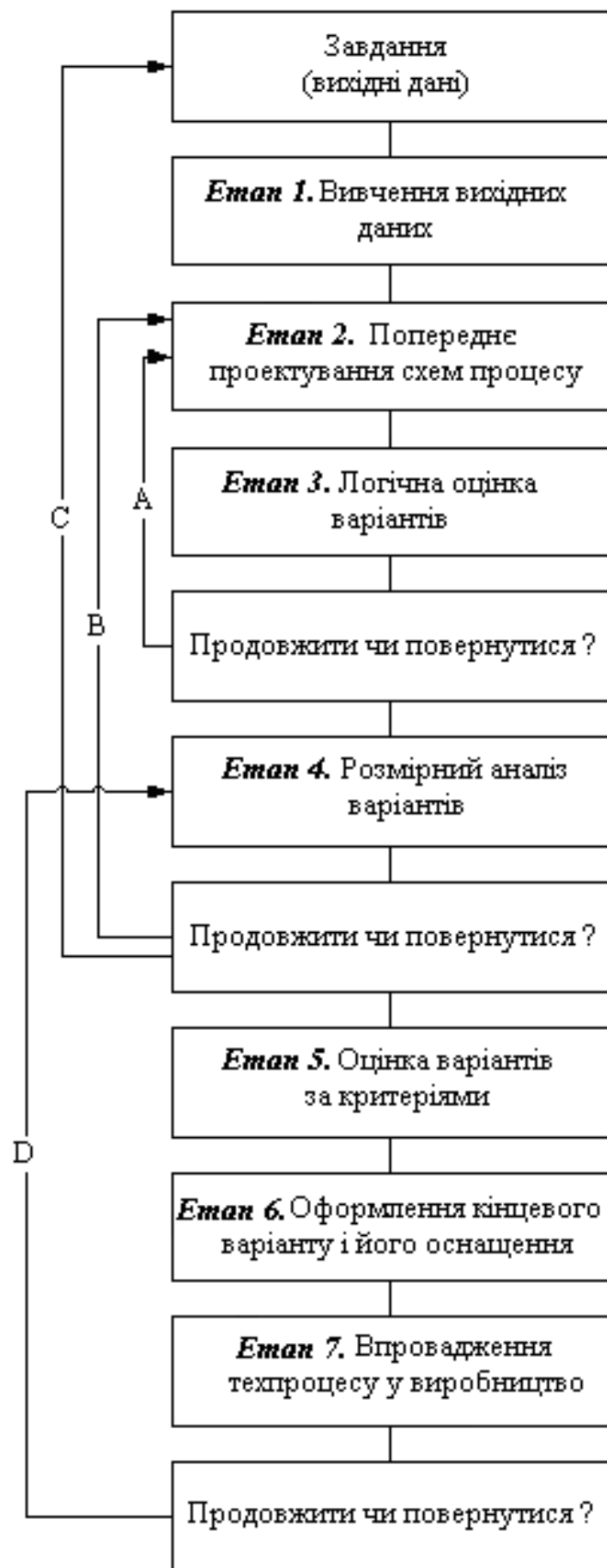


Рис. 1.6. Схема комп'ютерної технології, заснованої на використанні принципів загальної теорії керування (технологічного менеджменту).

У випадку зміни параметрів чи номенклатури виробів, що випускаються, змінюються вихідні дані на вході інформаційної моделі. Проводиться оцінка зміни собівартості продукції, що випускається. Для пояснення методології розробки комп'ютерної технології, заснованої на використанні принципів загальної теорії керування (технологічного менеджменту) розглянемо схему, приведену на рис. 1.6 [66].

На 1-му етапі здійснюється підготовка і вивчення вихідних даних на основі наступної інформації: конструкція деталі, відомості про заготовку і спосіб її отримання, організаційно-технічні фактори.

На 2-му етапі розробляється загальний маршрут (чи кілька маршрутів) обробки деталі. Створюється вибір і обґрунтування технологічних баз, визначаються операційні припуски і допуски, виконується розподіл припуску по переходах, розробляються оптимальні варіанти технологічних процесів, обробка окремих поверхонь, наприклад, операції шліфування зубчастих коліс, шліфування різьби прецизійних ходових гвинтів і т.д. Тут же здійснюється вибір засобів технологічного оснащення, виходячи з виробничих умов підприємства чи можливостей їхнього придбання на стороні.

На 3-му етапі здійснюється попередній добір прийнятних технічних рішень. Наприклад, оцінюється прийнятий варіант виготовлення заготовки; стабільність забезпечення точності на кожній операції; доцільність автоматизації операцій і можливість придбання спеціальних верстатів, пристосувань, ріжучого і вимірювального інструмента й іншого технологічного оснащення в заданий термін підготовки виробництва; зручність розміщення устаткування на виробничих площах і доцільність автоматизації транспортування деталей, видалення стружки, багатOVERSTATного обслуговування.

На 4-му етапі проводиться розмірний аналіз технологічного процесу. Тут здійснюється кількісна оцінка його параметрів і виконується коректування запропонованих варіантів з повторною логічною оцінкою виявлених розбіжностей. Можливі два варіанта зворотних зв'язків: лінія *B* (повернення до етапу 2) і лінія *C* (повернення до вихідного завдання), наприклад, при необхідності додаткового відпрацювання конструкції деталі на технологічність.

На 5-му етапі на підставі оцінки альтернативних варіантів технологічних процесів за критеріями ефективності вибирається оптимальний варіант.

На 6-му етапі проводиться оптимізація режимів різання, визначається норма часу на виконуваних операції, розробляються керуючі

програми і виконується оформлення технологічного процесу на операційних картах.

На 7-му етапі здійснюється впровадження розробленого варіанту технологічного процесу. На цьому етапі виявляється невідповідність розрахункових технологічних параметрів фактичним. Наприклад, фактична твердість верстатів відрізняється від нормативної, яка на етапі технологічної підготовки вибиралася з довідника технолога-машинобудівника.

При істотній невідповідності розрахункових і фактичних параметрів необхідно повернутися з етапу 7 до етапу 4 (локальний зворотній зв'язок D), а з 4-го етапу можна повернутися на більш ранні етапи (зворотні зв'язки B і C). При незначній невідповідності необхідно стабілізувати точність і якість поверхневого шару за допомогою систем адаптивного чи інтелектуального керування. У цьому випадку немає необхідності повертатися до етапу технологічної підготовки виробництва.

З аналізу схеми прийняття технологічних рішень (рис. 1.6) випливають наступні особливості:

1. Багатоваріантність технологічного проектування з якісною і кількісною оцінкою варіантів.
2. Структурна і параметрична оптимізація за рахунок багаторазових інтеграційних процедур (зворотні зв'язки A, B, C і D).
3. Умовність границі між етапами 6 і 7, тобто між технологічною підготовкою виробництва і самим виробництвом.

Таким чином, етапи підготовки і реалізації виробництва є етапами попереднього й остаточного керування технологічним процесом.

На етапі підготовки зважуються задачі визначення структури і параметрів процесу, що забезпечують максимальну продуктивність чи мінімальну собівартість обробки з врахуванням вимог точності і якості поверхневого шару.

На етапі обробки зважуються задачі стабілізації параметрів процесу виготовлення деталей з врахуванням індивідуальних особливостей елементів пружної технологічної системи верстат – пристосування, інструмент – деталь.

Для опису методології розробки інтегрованих і гнучких виробничих і технологічних систем потрібні інформаційні (у тому числі математичні) моделі прийняття рішень у структурі і параметрах технологічних процесів, що проектуються. Цим питанням присвячені всі наступні глави дійсного підручника.

1.6. ОБ'ЄКТ ВИРОБНИЦТВА МАШИНОБУДІВНОГО ЗАВОДУ

Об'єктом виробництва машинобудівного заводу є машина.

Машина - це сполучення механізмів, вузлів і деталей, що здійснюють роботу чи перетворюючих види енергії. У залежності від призначення розрізняють машини-двигуни, що перетворюють один вид енергії в інший, і робочі машини, що здійснюють у процесі виробництва зміну розмірів, форми і фізико-механічних властивостей деталей. Продукти виробництва, що підлягають виготовленню, називаються виробами.

Вузол - це частина виробу, що складається окремо і являє собою самостійну складальну одиницю.

Складальні одиниці (вузли), що у процесі загального складання безпосередньо входять у виріб, називаються складальними одиницями першого порядку. Складальні одиниці, що у процесі складання входять безпосередньо не у виріб, а у вузол, називаються складальними одиницями другого порядку.

Наприклад, автомобіль є виробом заводу. Мотор безпосередньо входить у виріб. Він є складальною одиницею першого порядку. Мотор складається з двох самостійних вузлів: двигуна і коробки швидкостей. Ці самостійні вузли є складальними одиницями другого порядку.

Двигун також містить ряд самостійних вузлів, наприклад, шатунно-поршневу групу. Цей самостійний вузол є складальною одиницею третього порядку. Кожна складальна одиниця містить у собі визначені види деталей, пов'язаних між собою. По можливості відносного їхнього переміщення зв'язки поділяються на рухомі і нерухомі. Нерухомі зв'язки називають з'єднаннями. З'єднання у свою чергу поділяються на роз'ємні і нероз'ємні.

Наприклад, до числа роз'ємних з'єднань можна віднести різьбові, шпонкові, конічні, а до числа нероз'ємних з'єднань - клепані, пресові й отримані шляхом розвальцьовування.

До рухомих роз'ємних зв'язків відносяться: плунжери, зубчасті пари, підшипники ковзання, каретки станин і т.д., а до рухомих нероз'ємних зв'язків - підшипники кочення, запірні клапани й ін. Кількість роз'ємних з'єднань у сучасних вузлах складає 65 - 85% від загального числа з'єднань.

За формою поверхонь, що сполучаються, з'єднання підрозділя-

ються на: циліндричні (до 35 - 40%), плоскі (15 - 20%), комбіновані (15 - 20%), конічні (6 - 7%), сферичні (2 - 3%) і гвинтові. По методу утворення з'єднань вони підрозділяються на різьбові, клинові, шпонкові, штифтові, шліцові, зварні, паяні, клепані, пресові.

Найважливішою характеристикою сучасних машин є їхня якість.

Під якістю продукції розуміється сукупність властивостей, що обумовлюють придатність її задовольняти вимогам відповідно до її призначення.

Якість кожної машини характеризується визначеною системою показників, що регламентують ступінь досконалості машини. До числа цих показників варто віднести продуктивність, економічність, ступінь автоматизації, КПД і ряд інших показників, що визначають загальний технічний рівень машини. Виготовлення машин і приладів вимагає чіткої організації усього виробничого процесу, ретельної технологічної підготовки виробництва.

Технологічна підготовка виробництва містить у собі:

1. Конструкторську підготовку виробництва (розробку конструкції виробу і створення креслень).
2. Технологічну підготовку виробництва (розробку технологічної документації, виготовлення засобів технологічного оснащення, керування процесом технологічної підготовки виробництва).
3. Календарне планування виробничого процесу виготовлення виробу у встановлений термін, у необхідних обсягах випуску і витратах.

Особливістю сучасних машинобудівних підприємств є їх територіальна розподіленість. При цьому цілісність структури виробництва забезпечується на основі високоякісної комп'ютерної системи зв'язку й інформації, що забезпечує ефективне керування виробничим процесом.

Структура ця часто змінюється: відбувається злиття і поділ підприємств, їхня переорієнтація на випуск нових машин. Причому існуючі кордони між державами впливають на ці процеси лише умовно. Рентабельність і комерційна вигода в умовах запеклої конкурентної боротьби є тут головним спонукальним стимулом розвитку виробництва.

Традиційні вимоги щодо найменших витрат праці і мінімальної собівартості виробу в нових умовах повинні конкретизуватися в кількісні показники, які необхідно забезпечити. Наприклад, заздалегідь обумовлюється верхній рівень ціни виробу і, відповідно, його

собівартість.

У цих умовах стає об'єктивною необхідністю розробка не просто одного з можливих технологічних процесів, а такий технологічний процес, що забезпечував би наперед задані витрати. Отже, при проектуванні технологічного процесу треба вирішувати зворотню задачу. У цьому зв'язку актуальними стають комп'ютерні технології рішення зворотних задач технологічного проектування на етапі підготовки виробництва.

При запуску виробу у виробництво загальна задача керування вирішується з врахуванням календарного планування і диспетчерування, тобто з урахуванням виробничої обстановки, але на тій ж самій виробничій основі - загальної теорії керування.

1.7. ВИДИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

За рівнем уніфікації технологічні процеси розподіляються на: одиничні, типові і групові.

Одиничний технологічний процес застосовується для виготовлення виробів одного найменування, одного типорозміру і застосовується у всіх типах виробництва.

Типовий – характеризується єдністю змісту і послідовністю операцій і переходів для групи виробів із загальними конструктивними ознаками.

Груповий – характеризується спільністю устаткування й оснащення при виготовленні окремих деталей чи при виготовленні групи виробів.

1.7.1. ТИПІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Типізація передбачає розробку типових технологічних процесів для групи деталей, що мають подібність: службового призначення; конструктивних форм і розмірів; використовуваних матеріалів і в послідовності обробки основних поверхонь. В основі її лежить загальне розуміння про те, що витрати на проектування можуть бути тим більші, ніж більша кількість деталей буде виготовлятися по даному типовому технологічному процесу. Уперше цю ідею запропонував професор А. П. Соколовський.

В основу побудови технологічної класифікації заготовок А. П. Соколовський приймав класи, що, у свою чергу підрозділяють-

ся на підкласи і групи.

В основу класифікації закладені ознаки:

- 1) форма і розміри деталей;
- 2) шорсткість оброблюваної поверхні;
- 3) оброблюваний матеріал.

Згідно класифікації А. П. Соколовського передбачено 14 класів: вали, втулки, диски, ексцентрикові заготовки, хрестовини, важелі, плити, кутники, бабки, зубчасті колеса, фасонні кулачки, ходові гвинти, черв'яки і кріпильні деталі.

Поділ класів на групи і підгрупи закінчується типом. Під типом мається на увазі сукупність заготовок одного класу типових операцій, що мають однаковий маршрут.

Типові технологічні процеси розробляються в двох варіантах: у вигляді робочого, складеного на підставі наявного устаткування в умовах заводу, і перспективного, що враховує всі можливості сучасних видів обробки, включаючи верстати з ЧПК, гнучкі виробничі системи і прогресивні методи організації виробництва.

Типізація технологічних процесів може виконуватися по трьох напрямках:

- 1) обробка окремих поверхонь;
- 2) обробка окремих (типових) сполучень поверхонь;
- 3) обробка заготовок.

Під типовим сполученням поверхонь розуміється таке сполучення, при якому в різних заготовках поверхні обробляються від постійної технологічної бази на одних верстатах, однаковими інструментами з визначеною послідовністю операцій, встановлень і переходів.

Ознаками для класифікації типових сполучень поверхонь є: взаємне розташування поверхонь; точність взаємного їхнього розташування; форми і розміри окремих поверхонь і матеріал оброблюваної заготовки.

Документація типових технологічних процесів містить у собі класифікатор заготовок і типові процеси обробки. Для кожного типу заготовок складаються карти. Вони мають два різновиди: звичайні типові карти, що включають перелік операцій і устаткування і послідовність виконання робіт і карти, які мають форму сліпшів. У цих картах розміри не проставляються. Синьки зняті з цих кальок служать бланками для оформлення операційних карт. У них здійснюють простановку конкретних розмірів.

1.7.2. ГРУПОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС

Груповим технологічним процесом називається сукупність групових операцій, що забезпечують обробку групи заготовок по загальному технологічному маршруту.

Сутність групової технології полягає в тому, що устаткування, оснащення, питання організації виробництва розглядаються не окремо для якоїсь конкретної деталі, а для сукупності деталей названих групою.

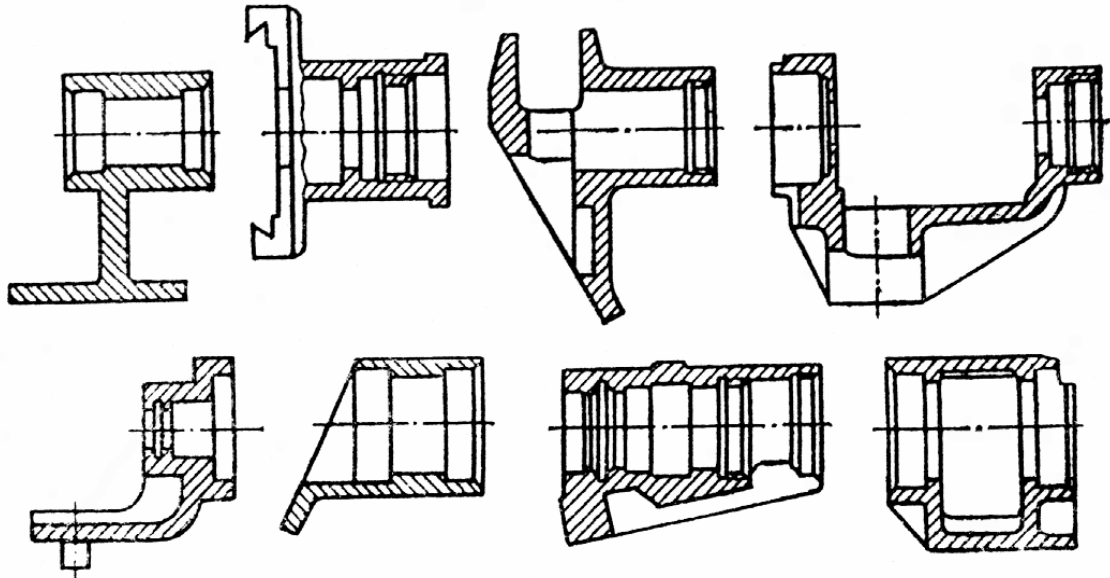


Рис. 1.7. Група заготовок, оброблюваних з одного налагодження.

Основною ознакою для об'єднання заготовок у групи по окремих технологічних операціях є спільність оброблюваних поверхонь чи їх сполучень. Наприклад, деталі з різною конфігурацією (рис. 1.7), які мають циліндричні зовнішні, внутрішні і конічні, різьбові, торцеві поверхні, фаски, канавки, і т.д., що обробляються на тому самому устаткуванні, в однотипних групових переналагоджуваних пристосуваннях складають групу.

Дана група деталей допускає при переході від однієї заготовки до іншої незначне переналагодження верстата, наприклад, заміна свердла, переустановлення лінійних і діаметральних упорів, заміна змінних установочних чи затискних деталей групового пристосування при збереженні на верстаті основного корпуса пристосування. Груповий технологічний процес здійснюється в наступній послідовності:

1. Виконується добір заготовок, що можуть бути оброблені на однотипному устаткуванні і переналагоджуваних пристосуваннях.
2. Після уточнення складу групи створюють комплексну де-

таль, встановлюють послідовність і зміст переходів групової операції і розробляють схему групового налагодження верстату.

Схему групового налагодження верстата розробляють на комплексну деталь, що містить у собі всі поверхні, що зустрічаються в інших заготовках.

3. Визначається фактична трудомісткість обробки заготовок у кількості, що забезпечує повне виконання місячної програми, з врахуванням періодичності запуску заготовок у виробництво.

4. Встановлюється остаточний склад групи заготовок виходячи з необхідності завантаження устаткування на протязі місяця при мінімальній кількості переналагоджень для інших груп заготовок.

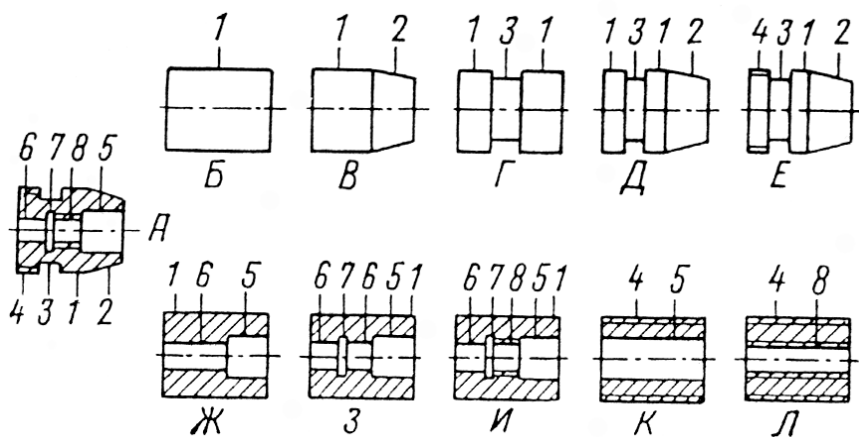


Рис. 1.8. Схема, що пояснює роль комплексної деталі.

Переваги групової обробки виявляються повною мірою тільки в тому випадку, якщо між переналагодженнями верстата для обробки різних груп заготовок проходить досить великий проміжок часу (три - чотири дні і більше).

Групові операції з успіхом застосовують для заготовок, цикл виготовлення яких обмежується однією операцією. Наприклад, обробка на пруткових автоматах чи на револьверних верстатах.

На рис. 1.8 приведена схема створення комплексної деталі шляхом штучного об'єднання окремих поверхонь більш простих заготовок групи.

Кожна з 10 зображених деталей може бути виготовлена з прутка в одну операцію на револьверному верстаті. Якщо задана точність усіх поверхонь, позначених цифрами однакова, то план обробки комплексної деталі може служити планом обробки для кожної з інших 10 деталей (із пропуском непотрібних переходів).

1.7.3. МОДУЛЬНИЙ ПРИНЦИП У МАШИНОБУДІВНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Модульний принцип давно і широко застосовується в різних галузях промисловості, однак дотепер не розроблені його наукові основи. Практично відсутній строгий понятійний апарат, у літературі можна зустріти найрізноманітніші, нерідко суперечні один одному поняття модуля, модульного принципу, відсутня класифікація модулів. Усе це утрудняє впровадження модульного принципу в машинобудівне виробництво і вимагає проведення наукових досліджень у цій області [94].

Найбільше повно і широко питання про модульний принцип у машинобудуванні освітлений у роботі А. Л. Васильєва [95], де зроблена спроба систематизувати й узагальнити результати робіт з його застосування в різних галузях промисловості.

Модульний принцип широко й успішно застосовується в будівельній індустрії, де будинки будуються зі стандартних елементів, а також у судо-, машино-, приладобудуванні й інших галузях промисловості. При реалізації модульного принципу часто використовується метод базового виробу, коли при одній і тій же основі виробу міняються деякі його елементи, що приєднуються, (модулі). Наприклад, на одній базовій моделі випускається ціле сімейство автомобіля "Жигулі". Аналогічний метод застосовується й у верстатобудуванні при створенні на одній базовій моделі верстата кілька різних верстатів.

Реалізація модульного принципу в машинобудівному виробництві з позицій системного підходу вимагає розробки:

- методів еквівалентного заміщення об'єкта машинобудівного виробництва безліччю модулів;
- загальних принципів побудови з модулів виробів і засобів технологічного забезпечення (технологічних процесів, устаткування, оснащення);
- термінологічного забезпечення;
- методів уніфікації модулів виробів і засобів їхнього технологічного забезпечення;
- методів оцінки ефективності модульної побудови виробів і засобів їхнього технологічного забезпечення.

Упровадження модульного принципу в машинобудівне виробництво повинне починатися з модульної побудови виробу шляхом його заміщення сукупністю модулів. При цьому варто виходити з того, що діючим і ефективним застосування модульного принципу буде

тільки в тому випадку, якщо модулі будуть являти собою об'єктивно існуючі елементи. У цьому випадку модулі здобувають загальний характер для машинобудування і можуть застосовуватися при побудові будь-якого виробу.

Усе різноманіття модулів машинобудівних виробів можна звести до двох категорій: модуль-міра і чи виріб відповідно до їх застосування: проектний модуль і фізичний модуль [95]. Як проектний модуль виступає міра, відповідно до якої цей модуль може бути лінійним, площинним, чи об'ємним, тобто проектний модуль не є матеріальним тілом.

Модуль-виріб у відмінності від проектного модуля, являє собою матеріальне тіло. Це цілком зібрана самостійна частина виробу, що має документацію на виготовлення, що пройшло функціональну перевірку і готова до монтажу. Такі модулі можуть легко з'єднуватися, утворити різні системи, роз'єднуватися і замінюватися. Модуль-виріб характеризується конструктивною і технологічною завершеністю, не потребує додаткових робіт з технічної підготовки, і має строго фіксовані параметри [95]. У свою чергу, розрізняють два різновиди модуля-виробу: конструктивний модуль і функціональний модуль.

Під конструктивним модулем розуміється частина конструкції виробу, розглянутого як сукупності деталей і складальних одиниць, а під функціональним модулем - частина самого виробу як функціонального об'єкту.

Будь-яка деталь, створювана конструктором, призначена виконувати відповідне службове призначення за допомогою її поверхонь. Отже, кожна її поверхня призначена виконувати визначену службову функцію. Щоб визначити характер функцій, виконуваних поверхнями деталей, треба, виявити різновид службового призначення деталей. Аналіз деталей різних виробів показує, що незалежно від того, у які вироби входить деталь, вона призначена чи безпосередньо брати участь у робочому процесі (здійснюваному виробом) і (чи) виконувати роль базової деталі для монтажу на ній інших деталей. Звідси саме службове призначення деталі визначає її конструктивні форми, розміри, матеріал, вимоги до точності і т.д. Наприклад, якщо деталь призначена передавати крутний момент, то вона повинна обертатися. Отже, конструктивно вона буде виконана у виді тіла обертання. У залежності від величини переданого моменту, що крутить, буде обраний відповідний матеріал деталі і т.д.

Своє службове призначення деталь виконує за допомогою спеці-

ально для цього призначених поверхонь, що прийнято називати виконавчими. Конструктор, створюючи деталь, насамперед формує в неї виконавчі поверхні. У відповідності зі службовим призначенням деталей виконавчі поверхні підрозділяються на два підкласи: робочі і поверхні, що базують.

За допомогою робочих поверхонь деталь здійснює робочий процес. Наприклад, якщо деталь є інструментом (ріжучим, видавлюючим), то в залежності від його типу в нього повинні бути поверхні для різання чи матеріалу видавлювання. Якщо деталь, наприклад, зубчасте колесо, призначена передавати крутний момент, то в неї буде набір зубів, бічні поверхні яких будуть робочими поверхнями.

Для того щоб деталь могла виконувати функції базової деталі для інших деталей, вона повинна містити відповідні бази. Наприклад, щоб на вал змонтувати зубчасте колесо, вал повинний мати комплект баз у вигляді торця, зовнішньої циліндричної поверхні і площини, утвореною бічною поверхнею шпонки. Для цього в зубчастому колесі повинний бути набір поверхонь, що утворюють відповідний комплект баз у вигляді торця, внутрішньої циліндричної поверхні і шпонкового пазу. Отже, щоб деталь могла виконувати своє службове призначення, вона повинна мати відповідний набір робочих і базуючих поверхонь. При цьому необхідно, щоб робочі і базуючі поверхні, зберігали необхідне відносне положення в процесі роботи деталі. Наприклад, для зубчастого колеса, виходячи з його службового призначення, необхідний тільки набір бічних поверхонь зубів евольвентної форми і комплект баз (торець, отвір, шпонковий паз). І ніякі інші поверхні зубчастому колесу не потрібні. Але при цьому необхідно забезпечити точне і постійне відносне положення зазначених поверхонь. Варто тільки порушити їхнє відносне положення, як відразу знизиться якість роботи передачі, може відбутися заклинювання, з'явиться нерівномірність обертання і т.п., тому потрібно зв'язати ці два види поверхонь в одну тверду систему. Сьогодні ця задача зважується за допомогою створення деталі з одного шматка матеріалу. У цьому випадку з'являється новий клас поверхонь деталей - сполучні поверхні. Сполучні поверхні, як правило, самі безпосередньо не беруть участь у виконанні деталлю її службового призначення. Їхня задача полягає в об'єднанні усіх виконавчих поверхонь у єдине просторове тіло - деталь і додання їй необхідних форм і розмірів. У теж час, незважаючи на те, що сполучні поверхні не беруть участь у виконанні деталлю її службових функцій, вони можуть впливати на роботу деталі. У зв'яз-

ку з цим у ряді випадків до сполучного поверхням можуть пред'являтися досить високі вимоги до їхньої якості. Наприклад, для деталі типу тіла обертання погрішності форми і розташування сполучних поверхонь можуть викликати дисбаланс. Аналіз виконання деталями їхніх службових функцій дозволяє зробити важливий висновок про те, що деталь виконує своє службове призначення, в основному, сполученнями поверхонь і тільки в ряді випадків окремими поверхнями. Тому будь-яку деталь можна представити як сукупність сполучень поверхонь, рідше окремих поверхонь, що відповідає службового призначення. Вони і є тими цеглинками, з яких можна створити будь-як деталь незалежно від того, до якого виробу вона належить. У зв'язку з цим введені поняття модуля поверхонь, під яким розуміється сполучення поверхонь (чи окрема поверхня), призначених виконувати відповідну службову функцію деталі і додавати деталі конструктивну форму, обумовлену вимогами експлуатації і виготовлення.

Поклавши в основу класифікацію модулів поверхонь їхні службові ознаки, можна всі модулі поверхонь розділити на три класи: базуючі, робочі, зв'язуючі.

Машинобудівний виріб - це структурована безліч складальних одиниць і деталей, монтаж яких у виробі здійснюється за допомогою їхнього з'єднання за допомогою модулів поверхонь, що базують. З'єднання деталей відбувається шляхом сполучення модуля поверхонь, що базує, виступаючого як комплект допоміжних баз базової деталі з однойменним модулем, що виступає як комплект основних баз деталі, що приєднується.

Таким чином, під модулем з'єднання будемо розуміти пари сполучених модулів поверхні, що базують, приналежним деталям, що з'єднуються, один із яких виступає як комплект допоміжних баз, а іншої - як комплект основних баз.

Машинобудівні вироби відрізняються колосальною розмаїтістю і у той же час в кожному з них виявляється визначена єдність, оскільки усі вони складаються зі складальних одиниць і деталей.

Задача науки полягає в тім, щоб серед цієї розмаїтості установити загальні риси і закономірності будівлі виробів, що є загальними незалежно від їхнього призначення і конструктивного оформлення. Іншими словами, завдання полягає в побудові такої системи модулів, що дозволила б абстрагуватися від подробиць конкретних конструктивних рішень, відбиваючи їхні основні риси. Як таку систему логічно запропонувати структуровану безліч модулів поверхонь і модулів з'єднання.

Щоб представити виріб безліччю зазначених модулів, його варто розглядати як конструкцію, що представляє собою, у загальному випадку, сукупність складальних одиниць і деталей, знеособлених по своєму функціональному призначенню, де кожна деталь - це підмножина модулів поверхонь, а положення будь-якої складальної одиниці, деталі досягається за допомогою відповідних модулів з'єднання.

До складу технологічного забезпечення виробів входять технологічні процеси, устаткування, оснащення. Як показує практика, при розробці технологічного забезпечення модульний принцип системно практично не застосовується. Лише останнім часом у зв'язку з розвитком гнучких виробництв, застосуванням устаткування з ЧПУ з'явилися технологічні модулі, модульні системи деяких видів інструменту.

У цілому можна констатувати, що модульний принцип при розробці технологічного забезпечення здійснюється стихійно, фрагментарно, безсистемно. У той же час, якщо їм охопити всі складові технологічного забезпечення, за умови наявності тісних зв'язків між модулями, те його застосування обіцяє дуже великий ефект. Труднощі такого рішення задачі порозуміваються величезною розмаїтістю засобів технологічного забезпечення. Тому в першу чергу треба установити зв'язки між ними.

Зв'язку між модулями треба шукати в аналізі виробничого ланцюжка: виріб - технологічний процес - технологічна система - організаційна форма виробничого процесу.

Представлення виробу безліччю модулів поверхонь і модулів з'єднань відкриває перспективи створення технологічного оснащення виробів на модульному рівні, що не залежить від їхнього функціонального призначення і конструкцій, де об'єктами технологічного забезпечення повинні виступати зазначені модулі.

До складу технологічного забезпечення модулів поверхонь входять модулі технологічного процесу виготовлення, технологічних баз, технологічного устаткування, інструментального налагодження, пристосування і контрольно-вимірювального пристрою.

До складу технологічного забезпечення одержання модулів з'єднань входять модулі технологічного процесу зборки, технологічних баз, технологічного устаткування, інструментального налагодження, пристосування і контрольно-вимірювального пристрою.

Найвищий ефект від застосування модульного принципу в машинобудівному виробництві буде тільки в тому випадку, якщо він буде пронизувати усі ланки виробничого ланцюжка, починаючи з ви-

робу і закінчуючи організацією виробничого процесу і процесу ремонту при експлуатації.

Представлення виробу сукупністю модулів поверхонь і модулів з'єднань, розробка модулів технологічних процесів і засобів їхнього здійснення дає можливість створити елементну базу технологічного забезпечення на модульному рівні і з її допомогою реалізувати системний метод при впровадженні модульного принципу у виробництві. Треба відзначити, що ефективність виробництва багато в чому визначається системною єдністю виробничого ланцюжка: виріб - технологічний процес - технологічна система - організаційна форма виробничого процесу. При цьому на ефективність виробництва впливає не тільки рівень розвитку кожної ланки, але й у не меншому ступені рівномірність їхнього розвитку. Як показує практика, розвиток кожної ланки часто відбувається багато в чому незалежно друг від друга. Це породжує великі складності в здійсненні виробничого ланцюжка. Варто особливо підкреслити те, що нерівномірність розвитку ланок виробничого ланцюжка зводить практично на немає ефект від ланок з більш високим рівнем розвитку. У цьому випадку виникають труднощі в стикуванні ланок. Нестиківка ланок один з одним вимагає компромісних коректувань між ними, що обертається великими матеріальними і трудовими витратами й у підсумку істотним збільшенням термінів технологічної підготовки виробництва. Наприклад, розвиток верстатного устаткування відбувається практично поза зв'язком з технологічними процесами (за винятком верстатів для крупносерійного і масового виробництва).

Як уже відзначалося, верстати створюються під здійснення методів обробки, наприклад, верстати шліфувальні чи фрезерно-свердлильно-розточувальні і т.п. У результаті до розробленого конкретного технологічного процесу буває складно підібрати відповідне йому верстатне устаткування. Як правило, обрані верстати виявляються, з одного боку, з надлишковими можливостями (що здорожує собівартість виготовлення деталей і експлуатації верстатів), а з іншого боку, невисокої продуктивності. Такі приклади можна привести і по інших ланках виробничого ланцюжка. У силу зазначених причин нестиківка ланок приводить при переході на випуск нового виробу до того, що 60 - 80 % наявного технологічного оснащення виявляється непридатної і від її приходиться відмовлятися. У підсумку ростуть у великому обсязі роботи з проектування і виготовлення технологічного оснащення, а в ряді випадків і технологічного устаткування. Усе це істотно збільшує

обсяг і терміни технологічної підготовки і здорожує виготовлення виробів, збільшує терміни переходу на випуск нових виробів.

Якщо скористатися модульним принципом у створенні технологічного забезпечення, то стає можливим звести до мінімуму зазначені недоліки. Наскрізне застосування модульного принципу повинне починатися з представлення виробничої програми на модульному рівні. Це означає, що виробнича програма в підсумку представляється безліччями модулів поверхонь і модулів з'єднань, з яких складають виробу. Таке представлення виробничої програми (при наявності елементної бази технологічного забезпечення на модульному рівні) дозволяє розраховувати з високою точністю очікувану трудомісткість виготовлення виробів і потреби в технологічних засобах. Застосування модульного принципу дозволяє по-новому підійти до організації виробничого процесу. Тепер робочі місця будуть спеціалізуватися під виготовлення заданої номенклатури МП чи здійснення МС по заздалегідь відомій технології. Рівень спеціалізації робочих місць, їхнє планування залежать від рівня серійності виробництва. Чим вище серійність, тим вище рівень спеціалізації робочих місць. Така організація робочих місць сприяє застосуванню потокової форми організації виробничого процесу і високоефективних методів виготовлення масового і крупносерійного виробництва в середньо і дрібносерійному виробництві.

1.8. РОЗМІРНІ, КІНЕМАТИЧНІ І ДИНАМІЧНІ ЗВ'ЯЗКИ У ВИРОБНИЧОМУ ПРОЦЕСІ

Розгляду зв'язків в природі і суспільстві присвячені спеціальні розділи філософії, кібернетики, механіки і інших наук. Тільки завдяки зв'язкам проходить функціонування систем. Це положення відноситься до таких же систем як конструювання і виробництво машин.

Машина – це механічне з'єднання різних деталей, при забезпеченні розмірних, кінематичних і динамічних зв'язків між виконавчими поверхнями. З допомогою цих зв'язків, наприклад, верстат виконує своє службове призначення. Розмірні зв'язки необхідні для забезпечення потрібного відносного положення поверхонь у просторі.

Кінематичні зв'язки необхідні для забезпечення потрібного їх відносного руху.

Динамічні зв'язки необхідні для забезпечення процесу різання.

В кожній операції обробки діють розмірні зв'язки, які забезпечують при їх правильній побудові отримання потрібних розмірів.

Проектування машини чи технологічного процесу – це по суті справа, вибір і цілеспрямована побудова строго визначених систем елементів і зв'язків, дія яких дає бажаний результат, тобто отримання якісної продукції.

Математичний вираз, який відображає кількісну сторону зв'язків називають рівнянням зв'язку. В загальному вигляді рівняння зв'язку може бути представлено як

$$y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n),$$

де y – функція, наприклад, похибка обробки діаметра вала; $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ – аргументи – причини, які викликають похибку обробки, наприклад, від податливості пружної системи, температурних деформацій, зміщення задньої бабки і т. д.

При проектуванні машин необхідно вирішувати пряму і зворотну задачі.

В прямій задачі значення функції у рівнянні зв'язку невідоме. Воно задане умовами задачі. Розв'язок задачі зводиться до знаходження значень аргументів, які задовольняють значення функції.

Пряму задачу називають проектною. Вона має багатоваріантний розв'язок. Дійсне відоме значення функції можна забезпечити шляхом різноманітного поєднання значень аргументів.

Зворотна задача має протилежний напрямок розв'язку. Мета її – визначити значення функції по відомим, із умов задачі, значенням аргументів. Зворотну задачу називають перевіркою.

Конструкція машин являє собою складну систему елементів і двох множин зв'язків – властивостей матеріалів і розмірних зв'язків. Тому при проектуванні машин повинен забезпечуватися органічний зв'язок механічних властивостей матеріалів деталей, форм, розмірів, відносного положення їх поверхонь з показниками службового призначення машини.

Проектування, наприклад, верстату починається з вибору такого поєднання зв'язків, яке дозволяє йому здійснити найбільш економічний технологічний процес обробки.

Наприклад, токарний верстат призначений для обробки заготовок типу тіл обертання. Отже, для того щоб обробити заготовку необхідно перемістити ріжучий інструмент відносно оброблюваної заготовки, створити умови для сприйняття сил різання, необхідних для здійснення процесу різання. Таким чином, в токарному верстаті повинні бути створені розмірні, кінематичні і динамічні зв'язки.

При конструюванні машин велику роль відіграє наступність, під

якою розуміється використання попереднього досвіду конструювання машин. Вивчаючи накопичений досвід і віддаючи йому належне, не потрібно відмовлятися від спроб знайти принципово нове, більш вдале рішення чи відродити по яким-небудь причинам відкинуті старі рішення, які можуть виявитися корисними в даному випадку.

Процес складання – це заключний етап у виготовленні машини. На ньому закінчується формування зв'язків, запропонованих конструкцією машини і визначаючих її якість. Процес складання не можна розглядати як чисто механічне поєднання деталей, так як при його виконанні на складальні одиниці здійснюють вплив силові, теплові і інші види впливів, а точність машини досягається за допомогою технологічних розмірних ланцюгів, які виникають в процесі складання. Таким чином, технологічний процес складання здійснює безпосередній вплив на формування якості машини.

Для того, щоб отримати деталі потрібної якості, необхідно розв'язати дві важливі задачі:

- забезпечити потрібні властивості матеріалу деталі;
- забезпечити необхідну точність розмірів, відстаней, відносних поворотів і форми поверхонь деталей.

Матеріал деталі конструктор вибирає виходячи із службового призначення машини. Конструктор визначає потрібні механічні, фізичні, хімічні і технологічні властивості, які повинна виконувати деталь в умовах її роботи.

До основних механічних властивостей матеріалу відносять границю міцності, границю текучості, твердість, відносні видовження, границя витривалості та інше.

До фізичних властивостей відносять питому вагу, густину, модуль об'ємного стиску, модуль Юнга, температуру плавлення і кристалізації, теплопровідність, коефіцієнт лінійного розширення, електричний опір і інше.

До хімічних властивостей відносять корозійну стійкість.

До технологічних властивостей матеріалу відносять оброблення різанням і тиском, зварюваність, зміцнюваність і інше.

В табл. 1.3 приведені дані, які показують вплив способів обробки на границю витривалості [93].

Приведені в табл. 1.3 дані переконливо показують важливість вибору раціонального способу обробки заготовки з точки зору фізико-механічних властивостей матеріалу деталі.

Якщо процес механічної обробки переривається термічною і хі-

міко-термічною обробкою, то формування властивостей матеріалу заготовки буде піддано закономірностям, властивим цим процесам.

Направляючи заготовку в термічний цех, технолог-виробник деталі повинен чітко поставити перед термістами задачу по забезпеченню потрібних фізико-механічних властивостей деталі.

Таблиця 1.3. Вплив способів оздоблювальної обробки на границю витривалості σ_{-1} , МПа (за даними Б. В. Бойцова).

Способи обробки поверхонь зразків	Границя витривалості σ_{-1} , МПа
Тонке точіння	800
Шліфування	530
Шліфування + хромування	150
Тонке точіння + алмазне вигладжування	930
Шліфування, суперфінішування	680
Тонке точіння + суперфінішування	830
Тонке точіння, суперфінішування + хромування	500
Шліфування + суперфінішування + хромування	280

Зв'язки в машині і виробничому процесі її виготовлення різноманітні, але органічно пов'язані між собою. Переплетення, розгалуження, перетинання зв'язків дуже складні. Тому зрозумілі труднощі, які виникають при побудові систем зв'язків і керування ними. І тим не менше системи зв'язків, які складають машину і виробничий процес, створюються людиною, його знаннями і досвідом. Якість цих систем, економічна доцільність їх структури і вибору реалізуючих засобів залежить насамперед від кваліфікації творців.

1.9. ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИРОБНИЧОГО ПРОЦЕСУ

Інформація у виробничому процесі – це засіб підтримуючий і направляючий його дії. Технологічна інформація є наказ про те, що і коли, за допомогою чого потрібно робити, або це відомості про результати ідеальної дії чи про зміну первинних умов і т. д.

Процес виготовлення машин підрозділяють на етапи підготовки виробництва, здійснення виробничого процесу. Кожному типу процесу виготовлення машин притаманні свої інформаційні процеси, цілі і зміст яких обумовлені специфікою розв'язаних задач.

На будь-якому етапі, при розв'язку конкретних технологічних за-

дач, проводять збір інформації, пошук нових розв'язків, збереження, переробку, перетворення і передачу інформації.

Наприклад, на етапі підготовки виробництва розробляють технологічну документацію, в якій встановлюють порядок виконання операцій, їх технічне оснащення, затрати часу на обробку і інше.

В процесі розробки цієї документації вивчають креслення деталей, оцінюють можливість виробництва, використовують довідкові матеріали, проводять необхідні розрахунки і т. д. В підсумку велика інформація, якою володіє технолог, використовується для розробки технологічного процесу.

Технологічна інформація, що надходить на робоче місце є вихідною в інформаційному процесі, чиненому при виконанні операції.

Виконання будь-якої операції потребує розв'язку багатьох технологічних задач пов'язаних, наприклад, з встановленням заготовки, налагодженням верстата, спостереженням за ходом виробничого процесу і т. д. Розв'язок кожної з них повинен бути підтверджений відповідним повідомленням про те на скільки вдало розв'язана задача.

Таким чином, етапи технологічного процесу – постановка задачі, її розв'язок, повідомлення про те, що задача розв'язана, і дана оцінка правильності розв'язку - пов'язують замкнутий інформаційний контур, який може бути названий інформаційним зв'язком.

Інформаційний зв'язок – це замкнутий контур, створений прямим і зворотнім потоками інформації, що охоплює всі дії над інформацією, необхідні для розв'язку виробничої і технологічної задачі.

Виконання виробничого процесу пов'язане із розв'язком багатьох виробничих і технологічних задач. Люба з них забезпечується власним інформаційним процесом.

Якщо задача розв'язується безпосередньо людиною, то інформаційний процес виявляється прихованим. Пояснюється це тим, що інформаційний процес людина здійснює в результаті розумової діяльності і з допомогою всіх органів відчуття, багато дій виконуються підсвідомо, але цілеспрямовано.

Якщо виконання задачі покладено на технічні засоби, то потрібна глибока і детальне розшифрування змісту як самої задачі, так і пророблення інформаційного процесу, забезпечуючого його розв'язок. Технічні засоби повинні заповнити не тільки механічну, але й і розумову діяльність людини.

Для пояснення викладеного проаналізуємо розв'язок однієї із технологічних задач, наприклад, встановлення втулки в самоцентру-

ючий патрон токарного верстату.

Якщо втулку буде встановлювати робітник, то йому необхідно взяти втулку із тари, підвести до самоцентруючого патрону, ввести в простір між кулачками і включити пневматичний привід патрону.

Встановлення втулки автоматично з застосуванням промислового робота, потребує розв'язку наступних задач:

- 1) надати заготовкам втулок певного положення в лотку;
- 2) забезпечити необхідне положення лотка із заготовками в системі координат технологічної системи;
- 3) провести програмування рухів робота;
- 4) ввести в пристрій програмного керування робота і верстата керуючої програми;
- 5) захватний пристрій встановити у вихідне положення в системі координат технологічної системи;
- 6) перемістити захватний пристрій до наступної заготовки;
- 7) здійснити захват заготовки;
- 8) перемістити заготовку до патрона верстату;
- 9) ввести заготовку в кулачковий патрон;
- 10) закріпити заготовку кулачками патрона;
- 11) розтиснути захватний пристрій робота;
- 12) відвести захватний пристрій від зони обробки;
- 13) перевірити правильність встановлення заготовки.

Таким чином, задача встановлення заготовки в патрон розклалася на декілька дій, кожне з яких являє собою часткову технологічну задачу. Інформаційне забезпечення розв'язку часткових задач буде здійснюватись по різному. Розглянувши наведений приклад, можна зробити наступний висновок.

Розв'язок технологічної задачі, незалежно від того розв'язується вона людиною вручну чи автоматично, забезпечує інформаційний процес. При розв'язку задачі людиною вручну інформаційний процес реалізується розумовою діяльністю людини за участю його органів відчуттів. Автоматичний розв'язок задачі потребує детального вивчення змісту інформаційного процесу, так як тільки таким шляхом можна виявити засоби, необхідні для його здійснення і заміни інформаційної діяльності людини.

Інформаційний процес може бути розподілений на дві частини. Одна із них пов'язана з розробкою керуючих програм, а інша з керуванням процесом реалізації розв'язку задачі. Обидві частини інформаційного процесу органічно пов'язані одна з одною. Тільки їх спіль-

на узгодженість може служити гарантією успіху у розв'язку задачі.

В розробці інформаційного процесу і засобів, які забезпечують його виконання, приймають участь люди різних професій. Узгодженість їх дій і розв'язків в більшості залежить від чіткості формулювання технологічних задач, повноти вихідних даних і викладу змісту окремих етапів інформаційного процесу.

Таким чином в результаті технологічних розробок стає зрозумілим облік виробництва, яке проектується, склад технологічного обладнання, його планування, організація виробничого процесу. З'ясовується склад і зміст технологічних задач і послідовність їх розв'язку.

Все це дозволяє побудувати схему інформаційних зв'язків і представити її у вигляді послідовності виконання основних етапів технологічного процесу виготовлення деталей. Наприклад, для розробки типового технологічного процесу рекомендується наступна послідовність виконання технологічних задач:

- 1) вивчити службове призначення деталі і проаналізувати відповідність її технічним вимогам і нормам точності заданих кресленням;
- 2) виявити число деталей, які підлягають виготовленню в одиницю часу і намітити форму організації виробничого процесу;
- 3) вибрати заготовку, із якої повинна бути виготовлена деталь;
- 4) обґрунтувати технологічний процес отримання заготовки;
- 5) обґрунтувати вибір технологічних баз і встановити послідовність обробки поверхонь заготовки;
- 6) обґрунтувати способи обробки поверхонь заготовки і встановити число переходів виходячи із вимог до якості деталі;
- 7) провести розмірний аналіз, визначити міжопераційні розміри, припуски і допуски;
- 8) оформити креслення заготовки;
- 9) розрахувати режими обробки, які забезпечують потрібну якість деталі і продуктивність;
- 10) провести аналіз розробленого технологічного процесу;
- 11) оформити структуру операцій і вибрати обладнання;
- 12) спроектувати необхідне оснащення для виконання операцій;
- 13) розробити інші варіанти технологічного процесу, розрахувати їх собівартість і вибрати найбільш економічний;
- 14) оформити технологічну документацію;
- 15) розробити технічні завдання на конструювання нестандартного обладнання, пристроїв і ріжучого інструменту.

Розробляючи технологічний процес, технолог повинен прагнути до забезпечення потрібної якості деталей, максимальної продуктивності процесу і мінімальної собівартості виготовлення деталей.

РОЗДІЛ 2

ТОЧНІСТЬ ОБРОБКИ

2.1. ЗАГАЛЬНИЙ ПІДХІД ДО АНАЛІЗУ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ

Сучасні машини являють собою складні механічні системи, що складаються з великої кількості вузлів і деталей. Для нормального функціонування машини кожна деталь повинна бути виготовлена відповідно до вимог креслення. Повинна бути забезпечена необхідна точність розмірів, геометричної форми, взаємного розташування поверхонь і необхідна шорсткість і фізико-механічні властивості поверхневого шару.

При невиконанні вимог креслення виникають проблеми при складанні машини і при її експлуатації. Виникає підвищене спрацювання поверхонь тертя і передчасне руйнування деталей.

Забезпечення точності обробки є надзвичайно важливою задачею. Абсолютну точність обробки забезпечити не можна. Потрібну точність розмірів можна одержати лише з визначеним ступенем наближення в межах заданого поля допуску.

Для вирішення проблеми точності в машинобудуванні технолог повинен забезпечити задану конструктором точність деталей при одночасному досягненні високої продуктивності й економічності їхнього виготовлення. Тому виникає необхідність дослідити можливість одержання необхідної точності, проаналізувати причини виникнення похибок, обґрунтувати і підібрати засоби вимірювання фактичної точності обробки й складання, встановити допуски технологічних міжопераційних розмірів.

Під точністю деталі розуміють її відповідність вимогам креслення за розмірами, геометричною формою, правильністю взаємного розташування оброблюваних поверхонь і ступенем їхньої шорсткості. Величина наближення розмірів, отриманих при обробці, до розмірів, зазначених на кресленні, характеризує похибку обробки. Похибки обробки обумовлені дією великого числа різних незалежних факто-

рів: податливістю елементів технологічної пружної системи, спрацюванням ріжучого інструменту, температурними деформаціями вузлів верстата й інструменту, похибками кінематичного ланцюга, відхиленням траєкторії руху інструмента від заданої й ін. Результиуюча похибка від дії незалежних факторів дорівнює сумі складових похибок. У процесі обробки партії деталей на налагоджених верстатах їхні розміри змінюються в межах заданого допуску. Розсіювання розмірів викликається сукупністю дії багатьох випадкових факторів, що не піддаються точному попередньому визначенню і проявляють своїй дії одночасно й незалежно один від одного.

Похибки обробки, що для різних заготовок розглянутого ланцюга мають різне значення, причому їхня поява не підкоряється видимій закономірності, називаються випадковими похибками. Варто відмітити, що при різних умовах обробки заготовок розсіювання випадкових величин розмірів може бути описано математичними законами теорії ймовірності.

У технології машинобудування практичне застосування одержали наступні закони: нормального розподілу (закон Гауса), рівнобедреного трикутника (закон Сімпсона), ексцентриситету (закон Релея), закон рівної ймовірності й функції розподілу, що являють композицію цих законів.

Відоме положення теорії ймовірності говорить про те, що розподіл суми великого числа незалежних випадкових складених величин (при невеликій відмінності впливу кожної з них на загальну суму і при відсутності впливу домінуючих факторів) підкоряється закону нормального розподілу Гауса.

Результиуюча похибка обробки звичайно формується в результаті одночасної дії великого числа факторів, що викликають появу похибок, які залежать від верстата, пристрою, інструмента, заготовки, вплив кожного з яких на результиуючу похибку має один порядок. Отже, ґрунтуючись на відомому положенні теорії ймовірності, можна стверджувати, що розподіл дійсних розмірів оброблюваних заготовок підкоряється нормальному закону розподілу. Крім випадкових похибок у процесі виготовлення деталей виникають систематичні похибки. Систематичні похибки для всіх заготовок розглянутої партії залишаються постійними. Причинами виникнення систематичних похибок обробки заготовок є: спрацювання і деформація елементів верстатів, пристроїв і інструментів; деформація заготовок, які виготовляються; теплові похибки, а також похибки базування заготовок.

2.2. ВПЛИВ СПРАЦЮВАННЯ РІЗУЧОГО ІНСТРУМЕНТА НА ТОЧНІСТЬ ОБРОБКИ

Спрацювання ріжучого інструмента типу розверток, зенкерів, протяжок, кільцевих шпонкових фрез, свердел і фасонного інструмента безпосередньо переноситься на оброблювану заготовку у вигляді систематичної похибки форми і діаметральних оброблених поверхонь. Спрацювання ріжучого інструмента при роботі на верстатах, налагоджених на розмір, приводить до виникнення змінної систематичної похибки обробки.

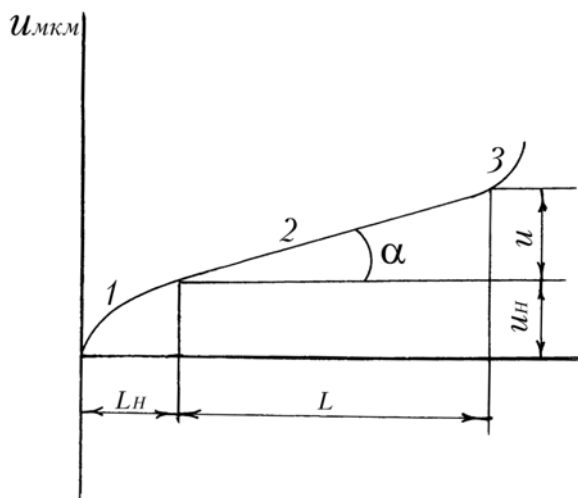


Рис. 2.1. Залежність зносу інструмента U від довжини шляху різання.

Відповідно до загальних закономірностей спрацювання при терті ковзання в початковий період спрацювання леза ріжучого інструмента (рис. 2.1) відбувається приробка. Тривалість початкового спрацювання L_n і його величина U залежать від матеріалу ріжучого інструмента і оброблюваної деталі, якості заточування і доведення інструменту, а також режимів різання. Звичайно, тривалість початкового спрацю-

вання, виражена довжиною шляху різання L_n , знаходиться в межах 500 – 2000 м. Перше число відповідає ретельно доведеним ріжучим інструментам, друге – заточеним інструментам.

Другий період спрацювання (ділянка 2) характеризує період нормального спрацювання інструмента, що змінюється пропорційно шляху різання.

Інтенсивність спрацювання за цей період обробки прийнято оцінювати відносним (питомим) спрацюванням U_0 (мкм/км) $U_0 = U/L$, де U – розмірне спрацювання у мікрометрах; L – шлях різання в період нормального спрацювання, км.

Третій період спрацювання (ділянка 3) відповідає найбільш інтенсивному катастрофічному спрацюванню, що супроводжується викришуванням і поломкою інструменту.

Розрахунок спрацювання ріжучого інструмента стосовно до умов періоду нормального спрацювання проводиться за формулою

$$U = \frac{U_0 L}{1000}, \quad (2.1)$$

де U – розмірне спрацювання ріжучого інструмента, мкм; L – довжина шляху різання, м.

Стосовно до точіння довжина шляху різання

$$L = \frac{\pi D \cdot l}{1000 \cdot S}, \quad (2.2)$$

де D – діаметр оброблюваної заготовки, мм; l – довжина оброблюваної заготовки (довжина обробки) мм; S – подача, мм/об.

У табл. 2.1 представлене відносьней спрацювання U_0 різців і режими чистового точіння з глибиною $t = 0,1 \div 0,3$ мм при досягненні шорсткості $R_z = 10$ мкм [7].

Вплив податливості технологічної пружної системи на точність обробки.

Податливістю ω технологічної системи називається здатність цієї системи пружно деформуватися під дією зовнішніх сил.

$$\omega = y / F_y; \quad \omega = 1 / k, \quad (2.3)$$

де F_y – нормальна складова зусилля різання; y – величина переміщення вузла в напрямку дії сили F_y ; k – жорсткість пружної системи.

Таблиця 2.1

Оброблюваний матеріал	Марка інструменту	Режими різання		відносьне спрацювання U_0 , мкм/км
		швидкість V , м/хв	Подача, мм/об	
Сталі вуглецеві конструкційні	Т30К4 ельбор	100–180	0,04–0,08	6,5
		550–600	0,04–0,06	3,0
Сталі леговані	Т30К4 ельбор	120–130	0,04–0,08	4,7
		450–500	0,04–0,06	
Сталі високолеговані	Т30К4 ельбор		80–120	6,5
			200–220	3,0
Чавун сірий	ВКЗМ	100–160	0,04–0,08	6,0
	ЦМ 332 ельбор	200–300	0,03–0,06	3,5
		300–350	0,04–0,06	2,5
Чавун високоміцний	ВКЗМ	120–160	0,04–0,08	7,0
	ЦМ 332 ельбор	300–350	0,03–0,06	4,5
		500–550	0,04–0,06	3,5

Приймаючи сумарну деформацію пружної системи

$$y = y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_n \quad (2.4)$$

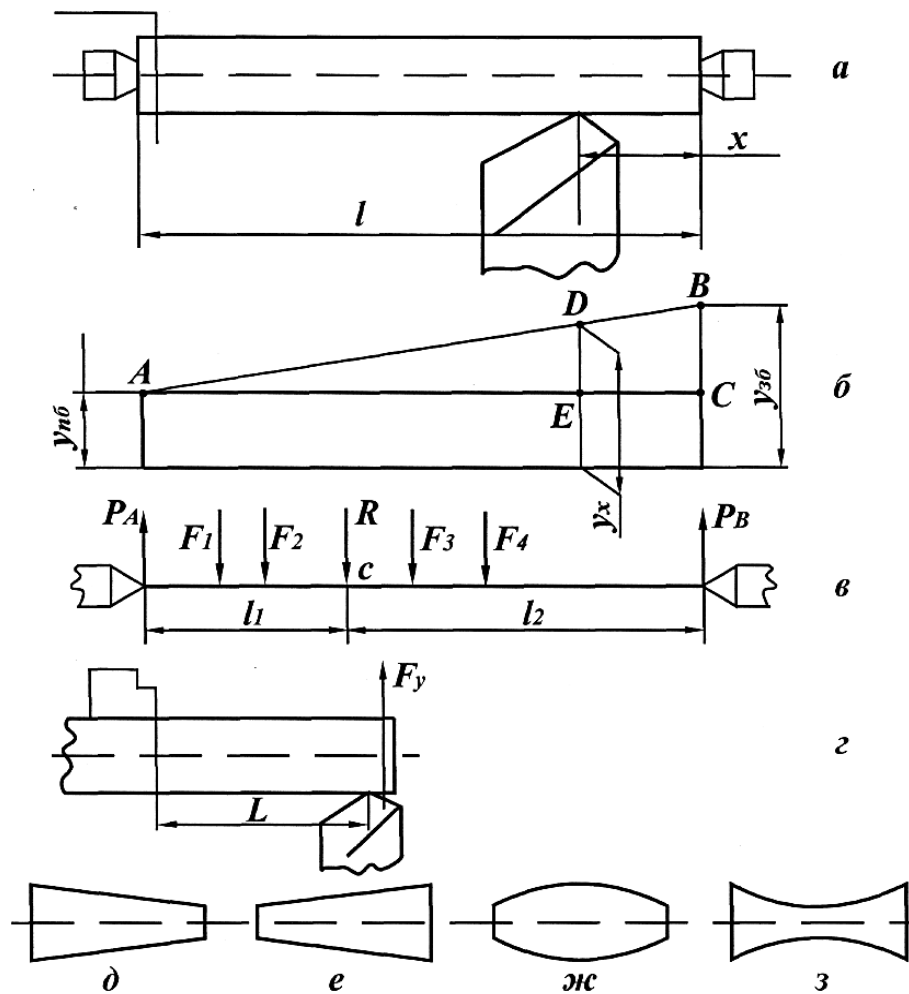


Рис. 2.2. Схеми для розрахунку деформацій вузлів верстата і різних форм деталей.

можна обчислити сумарну податливість системи

$$\omega = \omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + \dots + \omega_n \quad (2.5)$$

і сумарну жорсткість системи k по формулі

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3} + \dots + \frac{1}{k_n}. \quad (2.6)$$

При обробці вала на токарному верстаті при розташуванні різця на відстані x від задньої бабки деформація передньої і задньої бабок буде визначатися формулами (рис. 2.2, а):

$$y_{n.б} = \frac{x}{l} \cdot \frac{F_y}{k_{n.б}} ; \quad y_{з.б} = \frac{(l-x)}{l} \cdot \frac{F_y}{k_{з.б}}, \quad (2.7)$$

де $k_{n.б}$, $k_{з.б}$ – жорсткість передньої і задньої бабок.

Поточна величина деформації y_x визначається з розрахункової схеми (рис. 2.2, б).

Трикутники ADE і ACB подібні. Отже $\frac{AE}{ED} = \frac{AC}{CB}$ чи

$$\frac{l-x}{y_x - y_{n.\bar{b}}} = \frac{l}{y_{3.\bar{b}} - y_{n.\bar{b}}}.$$

Звідки $y_x l - y_{n.\bar{b}} l = y_{3.\bar{b}} (l-x) - y_{n.\bar{b}} (l-x)$.

Розділивши всі члени на l , одержимо

$$y_x = y_{3.\bar{b}} \frac{l-x}{l} - y_{n.\bar{b}} \frac{l-x}{l} + y_{n.\bar{b}},$$

чи

$$y_x = \frac{x}{l} y_{n.\bar{b}} + \frac{l-x}{l} y_{3.\bar{b}}. \quad (2.8)$$

Після підстановки виразів (2.7) у (2.8) одержимо

$$y_x = \left(\frac{x}{l}\right)^2 \frac{F_y}{k_{n.\bar{b}}} + \left(\frac{l-x}{l}\right)^2 \frac{F_y}{k_{3.\bar{b}}}.$$

Форма деталі після обробки змінюється за параболічним законом.

Сумарну величину деформації системи з врахуванням податливості вузлів верстату і деформації деталі можна знайти з виразу

$$y = \frac{F_y}{k_{cyn}} + \left(\frac{x}{l}\right)^2 \frac{F_y}{k_{n.\bar{b}}} + \left(\frac{l-x}{l}\right)^2 \frac{F_y}{k_{3.\bar{b}}} + \frac{F_y l^3}{48EJ}. \quad (2.9)$$

При обробці вала на токарному верстаті при положенні різця на середині заготовки жорсткість верстата можна знайти з виразу

$$\frac{1}{k_{ep}} = \frac{1}{k_{cyn}} + \frac{1}{4} \left(\frac{1}{k_{n.\bar{b}}} + \frac{1}{k_{3.\bar{b}}} \right).$$

При багаторізцевій обробці відбувається пружне віджаття деталі на опорах. Знаючи координати розташування різців і сили різання F_{y1} ,

F_{y_2} , F_{y_3} і т.д., можна визначити рівнодіючу силу R (рис. 2.2, в). Величини деформацій передньої і задньої бабок визначаються з виразів

$$y_{n.б} = \frac{l_2}{l} \frac{R}{k_{n.б}} ; \quad y_{з.б} = \frac{l_1}{l} \frac{R}{k_{з.б}}.$$

Величина зсуву точки прикладання рівнодіючої сили визначається з виразу

$$y_c = \left(\frac{l_2}{l} \right)^2 \frac{R}{k_{n.б}} + \left(\frac{l_1}{l} \right)^2 \frac{R}{k_{з.б}} = \frac{R}{l^2} \left(\frac{l_2^2}{k_{n.б}} + \frac{l_1^2}{k_{з.б}} \right). \quad (2.10)$$

Сумарна величина деформації

$$y_0 = \frac{R}{k_{суп}} + \frac{R}{l^2} \left(\frac{l_2^2}{k_{n.б}} + \frac{l_1^2}{k_{з.б}} \right).$$

При консольному закріпленні деталі в патроні (рис. 2.2, г) сумарна величина деформації в точці прикладання ріжучої кромки визначається з виразу

$$y = F_y \left(\frac{1}{k_{суп}} + \frac{1}{k_{n.б}} \right) + \frac{F_y l^3}{3EJ}, \quad (2.11)$$

де $J = \frac{\pi d^4}{64}$; E – модуль пружності матеріалу.

З врахуванням податливості пружної системи верстату похибка форми оброблюваного вала залежить від стану величин жорсткості $k_{суп}$, $k_{n.б}$, $k_{з.б}$ і жорсткості деталі.

1. Якщо жорсткість передньої бабки менша жорсткості задньої бабки – форма вала буде мати конусоподібну форму згідно рис. 2.2, д.

2. Якщо жорсткість передньої бабки більша жорсткості задньої бабки – форма вала буде мати зворотню конусність (рис. 2.2, е).

3. Якщо оброблювана деталь має значно меншу жорсткість у порівнянні з жорсткістю передньої і задньої бабок, то форма деталі буде мати бочкоподібну форму (рис. 2.2, ж).

4. Якщо жорсткість передньої і задньої бабок значно менша жорсткості оброблюваного вала, то вал буде мати сідлоподібну форму (рис. 2.2, з).

Наведені залежності свідчать про те, що при прогнозуванні точності обробки на стадії проектування технологічних процесів необхідно знати фактичну жорсткість технологічної пружної системи. Проф. Маталін А.А. [7] у результаті обстеження 150 однакових тока-

рних верстатів з висотою центрів 200 мм, що працюють у механічних цехах, показав, що жорсткість верстатів змінюється від $K=10000$ Н/мм до 50000 Н/мм.

Жорсткість Н/мм	Кількість верстатів у %
До 10000	16
10000–20000	42
20000–30000	22
30000–40000	10
40000–50000	7
понад 50000	3

Різноманіття факторів, що впливають на жорсткість технологічної системи, не дозволяє при сучасному рівні знань встановлювати її розрахунково-аналітичним методом. Дотепер методи визначення жорсткості верстатів носять експериментальний характер.

2.3. МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ЖОРСТКОСТІ ВЕРСТАТІВ

На машинобудівних заводах для визначення жорсткості верстатів застосовуються статичний і виробничий методи.

Статичний метод визначення жорсткості. Досліджуваний вузол верстата за допомогою спеціального динамометра навантажується

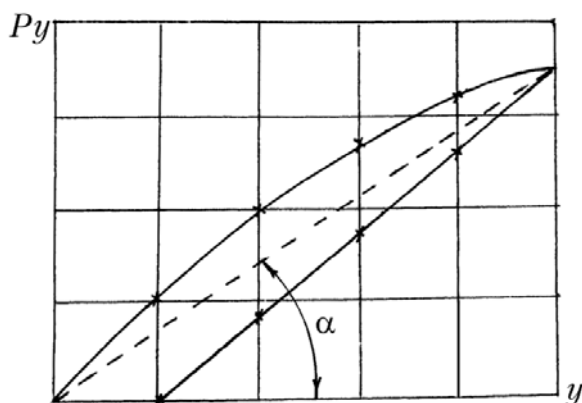


Рис. 2.3. Навантажувальна характеристика.

дискретно змінною силою F_y . Виконуються виміри величини деформації цього вузла в напрямку прикладеного навантаження. За результатами вимірів величин деформацій будується залежність $y = f(F_y)$ (рис. 2.3). За тангенсом

кута нахилу прямої судять про жорсткість вузла чи пружної системи верстата. Даний метод дозволяє судити про жорсткість окремих вузлів верстата в процесі виготовлення, ремонту й експлуатації.

Цей метод досить простий, доступний, однак, він недостатньо точний, тому що не враховує вібраційні процеси, які збільшують деформацію системи, занижуючи тим самим фактичну жорсткість верстату.

Виробничі методи визначення жорсткості верстатів

1. Метод обточування східчастої чи ексцентричної заготовки.

Після проточки східчастої чи ексцентричної заготовки за один

прохід на обробленій поверхні копіюється такий же уступ, тільки в зменшеному масштабі, що представляє собою похибку обробленої заготовки $\Delta_{обр.заг} = d_1 - d_2$ (рис. 2.4,б).

По величині уточнення $E = \Delta_{вих.заг} / \Delta_{обр.заг}$ розраховують жорсткість в умовах працюючого верстату за формулою

$$k = \lambda C_{\rho} S^{0,75} \frac{\Delta_{вих.заг}}{\Delta_{обр.заг}}, \quad (2.12)$$

де $\lambda = F_y / F_z$; C_{ρ} – коефіцієнт, що характеризує оброблюваний матеріал; S – подача, мм/об.

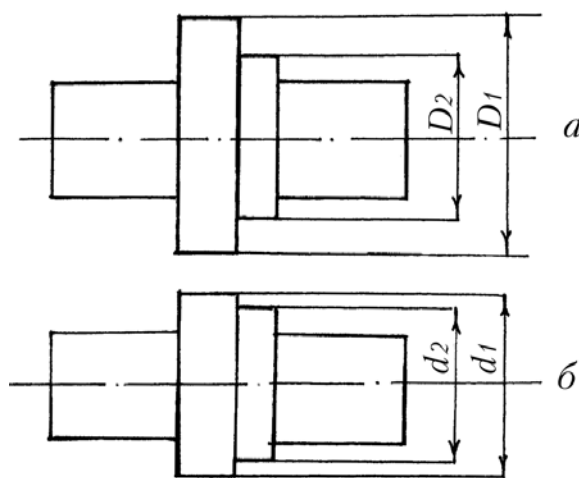


Рис. 2.4. Східчасті заготовки: до обробки (а), після обробки (б).

Величина C_{ρ} залежить від фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу. Наприклад, для машиновуглецевої сталі $C_{\rho} = 144 \div 205$; хромованої і хромонікелевої сталі $C_{\rho} = 182 \div 251$; для чавунів $C_{\rho} = 100 \div 150$. Величина відношення складових зусилля різання F_y / F_z залежить від геометричних параметрів ріжучої частини інструмента і умов обробки. Цей параметр

змінюється від 0,3 до 0,65.

Наведені коливання величин, що входять у формулу (2.12), свідчать про те, що точність розрахунків залежить від того, наскільки правильно зроблений вибір параметрів, що входять у дану формулу. Варто помітити, що в технічній літературі відсутні які-небудь конкретні рекомендації з вибору зазначених параметрів (C_{ρ} і λ). Якщо прийняти в розрахунках граничні значення відношення складових сил різання F_y / F_z , то результати розрахунку по формулі (2.12) будуть дуже суперечливі. Наприклад, припустимо, що вимірювання перепаду діаметрів до обробки $(D_1 - D_2) = \Delta D$ і після обробки $(d_1 - d_2) = \Delta d$ виконано досить точно, а значення C_{ρ} обрано правильно, але допущена помилка у виборі параметра F_y / F_z .

При $F_y / F_z = 0,3$ і $C_{\rho} = 200$, $k = 200 \cdot 0,3 A = 60 A$,

при $F_y / F_z = 0,65$ і $C_{\rho} = 200$, $k = 200 \cdot 0,65 A = 120 A$,

$$\text{де } A = S^{0,75} \frac{\Delta_{\text{вих.заг}}}{\Delta_{\text{обр.заг}}}$$

Приймаючи умовно $A=250$, одержимо $k_1=15000$ Н/мм; $k_2=32500$ Н/мм.

З наведеного прикладу видно, що допущена неточність у виборі тільки одного параметра λ спотворює розрахункову величину показів жорсткості пружної системи більш ніж у 2 рази.

Якщо врахувати, що у виробничих умовах, поряд з неточністю вибору параметра λ , можлива помилка й у виборі C_ρ , то отримані результати з розрахунку жорсткості будуть зовсім неприпустимі. Наприклад,

$$\text{при } C_\rho=144; \quad \lambda=0,3 \quad k_1=144 \cdot 0,3 \cdot 250=10800 \text{ Н/мм};$$

$$\text{при } C_\rho=205; \quad \lambda=0,65 \quad k_2=205 \cdot 0,65 \cdot 250=33250 \text{ Н/мм}.$$

Наведені дані свідчать про те, що помилки при виборі параметрів C_ρ і λ викликають розкид показів жорсткості більш ніж у 3 рази.

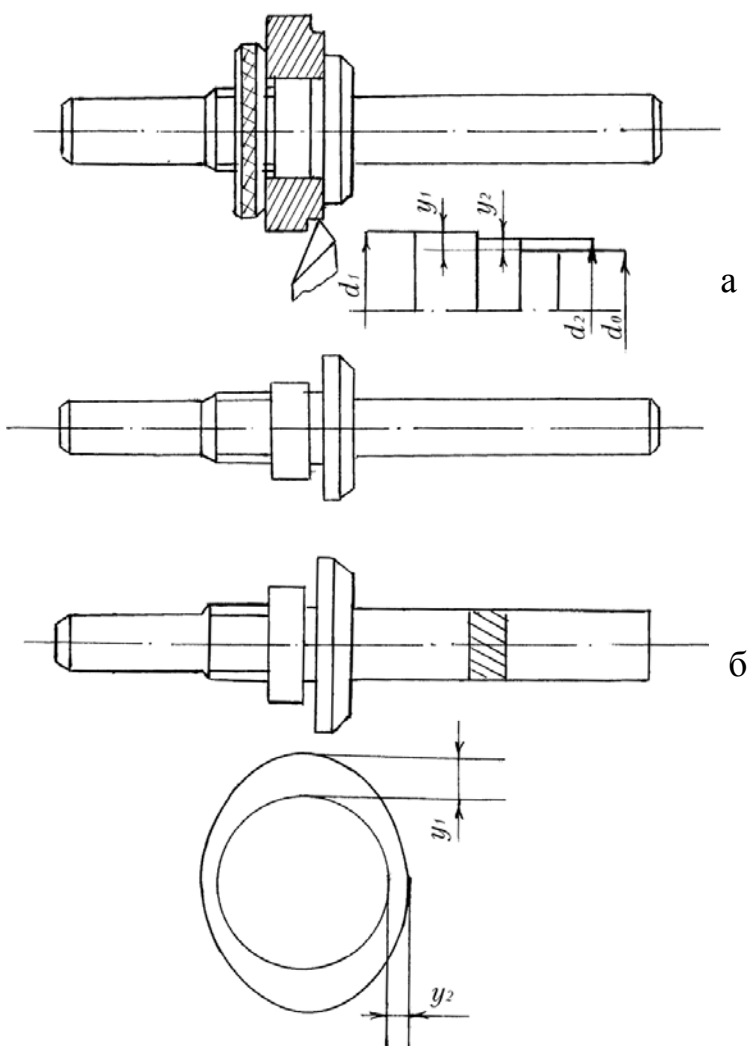


Рис. 2.5. Розрахункова схема (а) і оправка різної жорсткості (б).

З огляду на недоліки розглянутого методу, авторами запропоновано метод визначення жорсткості верстатів, позбавлений зазначених недоліків [2].

2. Метод обточування східчастої заготовки на двох оправках різної жорсткості.

Даний метод передбачає процес обточування того самого східчастого зразка (рис. 2.5, а) на двох оправках різної жорсткості чи на оправці, що має різну жорсткість у двох взаємно перпендикулярних напрямках (рис. 2.5, б). Перепад діаметрів d_1 і d_2 східчастого зразка повинен бути рівним 3,0 – 4,0 мм.

При обточуванні припуску на сторону $z = 1,5...2,0$ мм за прохід спочатку на одній оправці, а потім на другій за рахунок податливості пружної системи (елементи верстату: супорт, передня і задня бабки й оправка) на зразку виникнуть дві ступіні

$$y_1 = \frac{d_1 - d_0}{2} \approx 0,06 \text{ мм} \quad \text{і} \quad y_2 = \frac{d_2 - d_0}{2} \approx 0,03 \text{ мм.}$$

При використанні формули для визначення жорсткості верстата можна зробити припущення, що нормальні складові зусилля різання, незважаючи на різну величину прогину оправок, будуть рівні

$$F_{y_1} = F_{y_2},$$

де F_{y_1} і F_{y_2} – складові зусилля різання при обробці східчастого зразка на першій і другій оправках.

Зсув ріжучої кромки інструмента щодо оброблюваної деталі за рахунок податливості вузлів верстату й оправки визначається з виразу

$$y = F_y \left(\frac{1}{k_{\text{суп}}} + \frac{1}{4} \left(\frac{1}{k_{\text{н.б}}} + \frac{1}{k_{\text{з.б}}} \right) + \frac{1}{k_{\text{опр}}} \right).$$

Податливість пружної системи вузлів токарного верстата

$$\frac{1}{k_{\text{вр}}} = \frac{1}{k_{\text{суп}}} + \frac{1}{4} \left(\frac{1}{k_{\text{н.б}}} + \frac{1}{k_{\text{з.б}}} \right).$$

З рівності зусиль різання маємо

$$\frac{y_1}{\frac{1}{k_{\text{вр}}} + \frac{1}{k_{\text{опр}_1}}} = \frac{y_2}{\frac{1}{k_{\text{вр}}} + \frac{1}{k_{\text{опр}_2}}}.$$

Після перетворення одержимо формулу для визначення жорсткості пружної системи верстата

$$K_{\text{ст}} = \frac{(y_1 - y_2) \cdot K_{\text{опр}_1} \cdot K_{\text{опр}_2}}{K_{\text{опр}_2} \cdot y_2 - K_{\text{опр}_1} \cdot y_1}. \quad (2.13)$$

Для перевірки стабільності результатів розглянутого методу проводилися досліди на токарно-гвинторізальному верстаті ІК62. На зразку $\varnothing 150$ мм $l = 50$ мм проточувалася ступінь $\frac{d_1 - d_2}{2} = 1,5$ мм.

Східчастий зразок обточувався на оправці, що мала різну жорсткість у двох взаємно перпендикулярних напрямках [3] (рис. 2.5, б). Попередньо визначалася жорсткість оправки в напрямку осей x і y . Сумарна деформація вимірювалася голівкою мініметра з ціною поді-

лки 0,002 мм, встановленої в різцетримачі верстату.

Досліди проводилися в наступній послідовності:

1. Східчастий зразок встановлювали на оправку з жорсткістю $K_1 = 9200$ Н/мм, $K_2 = 21000$ Н/мм.

2. Зразок проточувався різцями $\varphi_1 = 45^\circ$ і $\varphi_2 = 60^\circ$ з наступним виміром величини віджаття y_1 і y_2 .

По формулі (2.13) визначалася жорсткість верстата. В табл. 2.2 представлені розрахункові значення жорсткості верстата

Таблиця 2.2

№ досліду	φ^0	y_1 , мм	y_2 , мм	$K_{опр1}$, Н/мм	$K_{опр2}$, Н/мм	$K_{вр}$, Н/мм
1	45	0,071	0,02	5306	10000	6682
2	60	0,06	0,018	5306	10000	6684

2.4. РОЗРАХУНОК ПРУЖНИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ В ТЕХНОЛОГІЧНІЙ СИСТЕМІ

Визначальний вплив на точність обробки робить силовий фактор, що викликає пружні переміщення в системі, y_0

$$y_0 = \frac{F_y}{k}, \quad (2.14)$$

де F_y – радіальна складова сили різання; k – приведена жорсткість системи.

Радіальну складову сили різання можна представити у виді

$$F_y = \frac{F_z}{k_{риз}},$$

де $F_z = \sigma \cdot S$ – тангенціальна сила різання; σ – умовне напруження різання; S – площа поперечного перерізу зрізу; $k_{риз}$ – коефіцієнт різання.

У свою чергу $S = \frac{Q_0}{V_{риз}}$, де $Q_0 = t \cdot S_{прод} \cdot V_{риз}$ – номінальна продук-

тивність обробки; $V_{риз}$ – швидкість різання; t – глибина різання; $S_{пр}$ – повздовжня подача на оборот деталі.

При однопрохідному шліфуванні

$$y_0 = \frac{\sigma}{k_{риз}} \cdot \frac{t \cdot S_{прод}}{k} \quad (2.15)$$

чи

$$y_0 = \frac{\sigma}{k_{piz}} \cdot \frac{Q_0}{V_{piz}} \cdot \frac{1}{k}. \quad (2.16)$$

Пружне переміщення y_0 тим менше, чим менше відношення σ / K_{piz} і продуктивність Q_0 , і чим більша швидкість різання V_{piz} і жорсткість k . Як видно, величина y_0 залежить від трьох груп параметрів: σ / k_{piz} – характеризує процес різання, Q_0 / V_{piz} – характеризує режим різання, k – жорсткість системи.

Для забезпечення точності при однопрохідній обробці необхідно враховувати величину пружного віджаття. Глибину різання t варто встановлювати з врахуванням припуску на обробку Π і величини деформації пружної системи y_0 $t = \Pi + y_0$. З врахуванням $y_0 = t - \Pi$ і виразу (2.15) глибину різання t , що забезпечує необхідну точність, можна знайти з виразу

$$t = \frac{n}{\left(1 - \frac{\sigma}{k_{piz}} \cdot \frac{S_{prod}}{k}\right)}. \quad (2.17)$$

Поточні значення Q і y визначаються з виразів

$$Q = Q_0 \left(1 - \ell \frac{V_{piz} k_{piz} k \tau}{\pi D_{dem} l_{dem} \sigma}\right), \quad (2.18)$$

$$t = \frac{\sigma \cdot Q_0}{V_{piz} \cdot k_{piz} \cdot k} \cdot \left(1 - \ell \frac{V_{piz} \cdot k_{piz} \cdot k \cdot \tau}{\pi \cdot D_{dem} \cdot l_{dem} \cdot \sigma}\right). \quad (2.19)$$

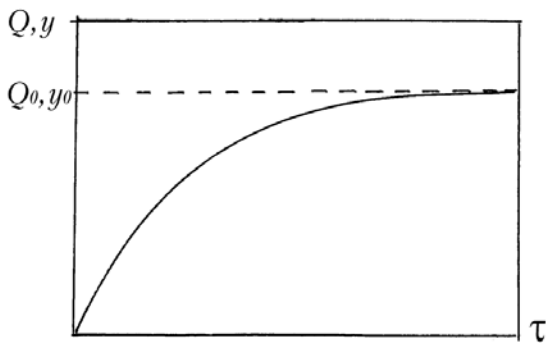


Рис. 2.6. Залежність продуктивності Q і величини пружних переміщень y_0 від часу.

У виразах (2.18), (2.19) є присутнім часовий фактор τ .

Отже, продуктивність Q і величина пружних переміщень y асимптотично збільшуючись, наближаються до номінальних значень Q_0 і y_0 (рис. 2.6).

Створення попереднього натягу в системі виключає перехідний період, при якому фактичні показники Q і y істотно відрізняються від номі-

нального.

Створення попереднього натягу в системі досягається за рахунок збільшення добутку параметрів $\frac{k_{piz}}{\sigma} \cdot k \cdot V_{piz}$. Якщо виключити експоненту (перехідний період), то залежності (2.18), (2.19) приймуть вид

$$Q = Q_0, \quad (2.20)$$

$$y = \frac{\sigma \cdot Q_0}{V_{piz} \cdot k_{piz} \cdot k}. \quad (2.21)$$

На величину пружних переміщень, як видно з виразу (2.21), впливає відношення σ / k_{piz} .

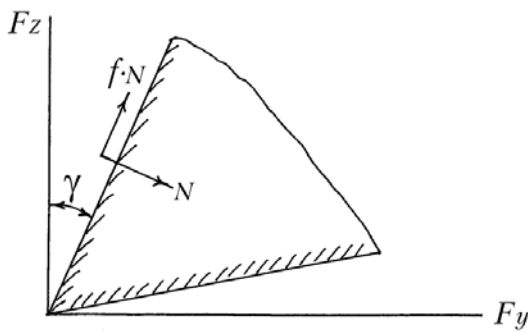


Рис. 2.7. Схема сил, що діють на передній поверхні інструмента.

Коефіцієнт різання k_{piz} визначається із системи рівнянь, що описують сили різання N і fN , що виникають на передній поверхні різця (рис. 2.7), де f – середній коефіцієнт тертя.

$$\begin{cases} F_z = N \cos \gamma + f N \sin \gamma \\ F_y = -N \sin \gamma + N \cos \gamma \end{cases}, \quad (2.22)$$

де γ – передній кут інструмента.

Звідки

$$k_{piz} = \frac{1 + f \operatorname{tg} \gamma}{f - \operatorname{tg} \gamma}. \quad (2.23)$$

Зі збільшенням кута γ коефіцієнт різання k_{piz} зростає. При $\operatorname{tg} \gamma \rightarrow f$ параметр k_{piz} прагне до нескінченності. Чим менший коефіцієнт тертя f , тим більше параметр k_{piz} .

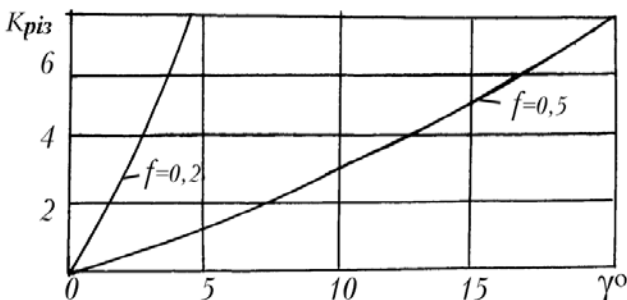


Рис. 2.8. Залежність коефіцієнта різання від переднього кута γ .

На рис. 2.8 представлена залежність коефіцієнта різання від переднього кута γ , що підтверджує висновки, які випливають із залежності (2.23).

При русі ріжучого інструмента в оброблюваному матеріалі виникають дотичні напруження в площині, розташованій під кутом

β (рис. 2.9), які викликають деформації зсуву й утворення стружки.

Дотичні напруження τ можна визначити з виразу [1]

$$\tau = \frac{F_y}{ab} \left(k_{\text{різ}} 0,5 \sin 2\beta - \sin^2 \beta \right). \quad (2.24)$$

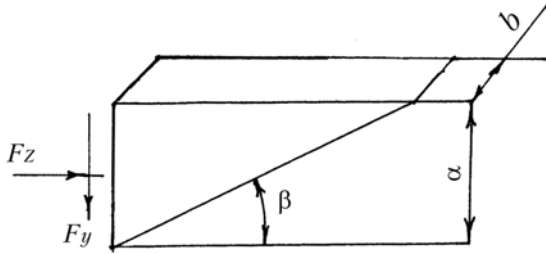


Рис. 2.9. Розрахункова схема параметрів стружкоутворення.

$\tau_{\text{зсув}}$ – границя міцності оброблюваного матеріалу на зсув) із залежності (2.24) з врахуванням (2.25) визначається умовне напруження різання σ [1]

Прирівнюючи першу похідну $\tau'(\beta)$ до нуля, можна знайти екстремальне значення кута β , при якому дотичне напруження досягає максимального значення

$$\text{tg} 2\beta = k_{\text{різ}}. \quad (2.25)$$

Приймаючи умову $\tau = \tau_{\text{зсув}}$ (де

$$\sigma = \frac{\tau_{\text{зсув}}}{k_{\text{різ}} \left[\frac{1}{2\sqrt{1-k_{\text{різ}}^2}} - \frac{1}{(4+k_{\text{різ}}^2)} \right]}. \quad (2.26)$$

При $k_{\delta^3 \zeta} < 1$ залежність (2.26) спрощується

$$\sigma = \frac{4}{k_{\text{різ}}} \tau_{\text{зсув}}. \quad (2.27)$$

При обробці крихких матеріалів, наприклад чавуну, при досягненні в площині зсуву граничних напружень $\tau_{\text{зсув}}$ відбувається руйнування з виділенням елементарного обсягу від основного матеріалу.

При обробці пластичних матеріалів виділення елементарних обсягів не відбувається. Тут має місце пластичний плин матеріалу по площині зсуву при постійному граничному навантаженні $\tau_{\text{зсув}}$.

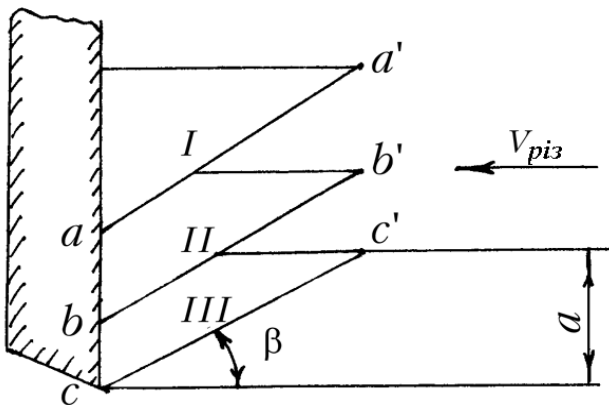


Рис. 2.10. Схема пластичного плину матеріалу.

Пластичний зсув по площині $a - a'$ буде продовжуватися доти, поки в перетині $b - b'$ (рис. 2.10) (умовної площини зсуву) напруження зсуву не досягне граничних дотичних напружень $\tau = \tau_{\text{зсув}}$.

З появою пластичного плинину матеріалу в площині $b - b'$ зсув металу в площині $a - a'$ припиниться. Елементарні обсяги I і II, маючи твердий зв'язок, будуть переміщатися по дискретно змінюючим знову утвореним площинам зсуву, утворюючи суцільну стружку.

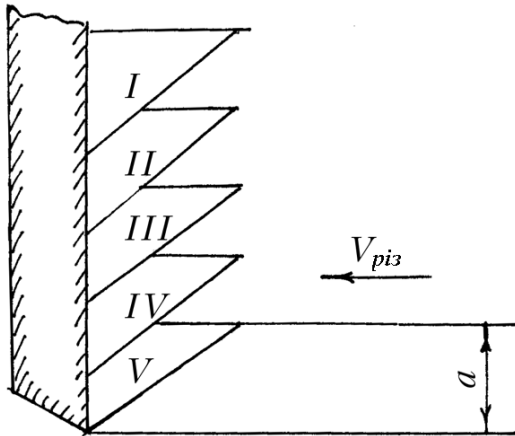


Рис. 2.11. Схема пластичного плинину матеріалу при обробці з малими глибинами різання.

Складові сили різання F_z і F_y дорівнюють сумі сил, що виникають від контакту елементарних обсягів металу I і II з передньою поверхнею різця. При різанні з малими товщинами зрізу від величини радіуса округлення вершини різця залежить кількість контактів елементарних обсягів стружки III, IV, V - (рис. 2.11) з передньою поверхнею різця. Складові сили різання можна представити у виді

$$F_z = nF'_z, \quad F_y = nF'_y,$$

де n – кількість площин зсуву, в яких відбувається плин матеріалу.

Відповідно залежність (2.26) прийме вигляд

$$\sigma = \frac{n\tau_{зсв}}{k_{різ} \left[\frac{1}{2\sqrt{1+k_{різ}^2}} - \frac{1}{(4+k_{різ}^2)} \right]}. \quad (2.28)$$

При малих товщинах зрізу $k_{різ} < 1$ вираз (2.28) можна предста-

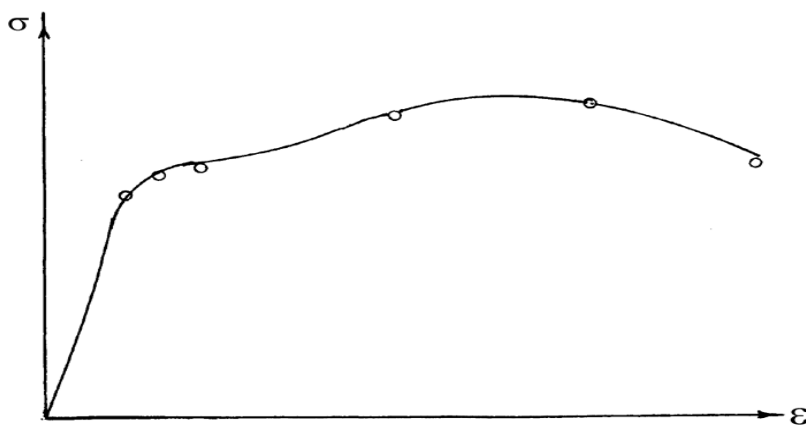


Рис. 2.12. Діаграма напруження σ від деформації ε .

вити у виді

$$\sigma = \frac{4n\tau_{зсв}}{k_{різ}}. \quad (2.29)$$

Отримані залежності дозволяють пояснити істотну розбіжність (до 5 і більш раз) розрахункових і експериментальних даних

при алмазному тонкому точінні пластичних матеріалів: міді, латуні й інших [1]. Параметр σ у загальному випадку залежить від відношення a_z/ρ , де a_z – товщина зрізу; ρ – радіус округлення вершини різця. Чим менше відношення a_z/ρ , тим більше

число n і тим більше умовне напруження різання.

З діаграми “напруження – деформація” можна судити про параметр n (рис. 2.12). Чим більша ступінь деформації металу до моменту його руйнування, тим більша кількість площин зсуву n . Для крихких матеріалів $n = 1$, для пластичних $n \geq 2$.

Пластичні матеріали в порівнянні з крихкими мають значно менше граничне дотичне напруження на зсув $\tau_{зсв}$, але значно більше умовне напруження різання σ .

У технічній літературі відсутні дані, що дозволяють встановити функціональний зв'язок між міцністю матеріалу і виникаючими силами різання. Цим можна пояснити відсутність аналітичних залежностей, що дозволяють розраховувати сили різання, а використовуються, як правило, емпіричні залежності. Отримані залежності створюють основу для розрахунку параметрів силової напруженості, не звертаючись до експериментально отриманих залежностей. При точінні різцем з радіусом округлення вершини ρ дотичне напруження τ в площині зсуву визначається [1]

$$\tau = \frac{p\rho}{a_z} \sin \beta \left[\sin(90^\circ + \beta) - \sin(\varphi_0 + \beta) \right], \quad (2.30)$$

де p – твердість оброблюваного матеріалу; $(90^\circ - \varphi_0)$ – кут контакту кромки ріжучого різця з матеріалом.

Екстремальне значення кута β , що відповідає максимуму функції τ , отримане з умови $\tau'(\beta)$, після перетворень прийме вигляд

$$\beta = 22,5 - \frac{\varphi_0}{4}. \quad (2.31)$$

Отже, кут зсуву β змінюється в межах $0 \dots 22,5^\circ$. При $\tau = \tau_{зсв}$ з врахуванням (2.31) кут зсуву визначається з виразу [1]

$$\beta = 3 \sqrt[3]{\frac{\tau_{зсв} a_z}{4 p \rho}}. \quad (2.32)$$

Відповідно параметри σ і $k_{риз}$ будуть [3]:

$$\sigma = 3 \sqrt[3]{\frac{32 \tau_{зсв}^2 p \rho}{a_z}}; \quad (2.33)$$

$$k_{риз} = \sqrt{\frac{2 \tau_{зсв} a_z}{p \rho}}. \quad (2.34)$$

З залежностей (2.33) і (2.34) випливає, що добуток параметрів σ

і k_{piz} має постійне значення і дорівнює $4\tau_{зсв} \approx 2\sigma_{см}$, а відношення σ/k_{piz} дорівнює

$$\frac{\sigma}{k_{piz}} = \sqrt{\frac{16\tau_{зсв} p^2 \rho^2}{a_z}}. \quad (2.35)$$

З наведеної залежності випливає, що зменшення досягається за рахунок збільшення співвідношення a_z/ρ . Фізико-механічні характеристики оброблюваного матеріалу ($\tau_{зсв}$ і p) чинять також великий вплив на відношення параметрів σ/k_{piz} .

За умови обробки, коли $k_{piz} > 1$, а умовне напруження різання $\sigma = 2\sigma_{см}$ ($\sigma_{см}$ – границя міцності матеріалу на стиск) параметр y_0 , виходячи з залежності (2.15), буде представлений у вигляді

$$y_0 = \frac{2\sigma_{см}}{k_{piz}} \cdot \frac{Q_0}{V_{piz}} \cdot \frac{1}{k}. \quad (2.36)$$

Величина деформації системи, як видно з виразу (2.36), обернено пропорційна жорсткості пружної системи k , швидкості різання V_{piz} і параметру k_{piz} .

2.5. ПРУЖНІ ПЕРЕМІЩЕННЯ ПРИ АБРАЗИВНІЙ ОБРОБЦІ

При абразивній обробці параметри $k_{ш} = F_z/F_y$ і σ виражаються через безрозмірний параметр η , що враховує ступінь затуплення зерна. Цей параметр змінюється в межах 0...1 (для гострого зерна $\eta \rightarrow 0$, для затупленого зерна $\eta \rightarrow 1$)

$$k_{ш} = \sqrt{\frac{4\sigma_{см}}{\pi \operatorname{tg} \gamma p} (1 - \eta)}, \quad (2.37)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\pi \operatorname{tg} \gamma \sigma_{сж} p}{1 - \mu}}. \quad (2.38)$$

З фізичної точки зору параметр η дорівнює відношенню величини зношеної частини зерна x на висоту виступання із зв'язку незношеного зерна H (рис. 2.13). Отже, зменшити параметр η можна шляхом вишукування способів, що зменшують величину лінійного зносу зерен x . Для підтримки на шліфувальному колі гострого різую-

чого рельєфу ($\eta \rightarrow 0$) необхідно забезпечити самозагострювання шляхом застосування алмазних кіл на маломіцних органічних зв'язках чи здійснення в процесі обробки безупинного виправлення. Висока ефективність досягається при використанні електрохімічних методів безупинного виправлення алмазних кіл на металевих зв'язках (електроерозійного й електрохімічного виправлення).

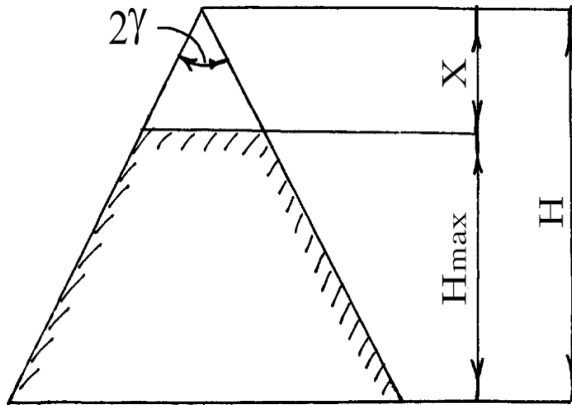


Рис. 2.13. Розрахункова схема для визначення зносу зерен.

Збільшення параметра H досягається шляхом застосування грубозернистих високопористих шліфувальних кіл.

При роботі кола в режимі затуплення параметр η із часом обробки збільшується ($\eta \rightarrow 1$), а відношення $\sigma/k_{ш}$ прагне до нескінченності.

Остаточна точність обробки формується на виходжуючих проходах. Для процесу виходжування

продуктивність Q і пружне переміщення y визначаються з виразів

$$Q = \frac{y_i \cdot V_{кр} \cdot k_{\sigma} \cdot k}{\sigma} \ell^{-\frac{V_{кр} k_{\sigma} k}{\pi D_{дет} l_{дет} \sigma \tau}}, \quad (2.39)$$

$$y = y_i \cdot \ell^{-\frac{V_{кр} k_{\sigma} k}{\pi D_{дет} l_{дет} \sigma \tau}}, \quad (2.40)$$

де $V_{кр}$ – швидкість кола; $k_{ш}$ – коефіцієнт шліфування; k – жорсткість; $D_{дет}$ – діаметр деталі; $l_{дет}$ – довжина оброблюваної деталі; σ – умовне напруження шліфування; y_n – величина попереднього натягу в системі.

Параметри Q і y залежать від величини попереднього натягу в системі y_n . Чим більший натяг, тим більша тривалість виходжування τ . Чим більша швидкість кола $V_{кр}$, жорсткість системи s і відношення $k_{ш}/\sigma$, тим швидше досягається необхідна точність при виходжуванні.

Роблячи заміну у виразі (2.19) параметрів $V_{різ}$ на швидкість кола $V_{кр}$, $k_{різ}$ на $k_{ш}$ і приймаючи $Q_0 = \pi D_{дет} \cdot l_{дет} \cdot S_{рад}$ (для круглого врізного шліфування) і час $\tau = \Pi/S_{різ}$ (де Π – припуск на сторону),

одержимо вираз для розрахунку поточного значення величини деформації системи при шліфуванні y

$$y = \frac{\sigma Q_0}{V_{кр} k_{ш} k} \left(1 - \ell \frac{V_{кр} k_{ш} k \tau}{\pi D_{дет} l_{дет} \sigma} \right). \quad (2.41)$$

З отриманого виразу видно, що в міру збільшення часу шліфування τ поточне значення y прагне до постійного сталого значення

$$y_{нст} = \frac{\sigma \cdot Q_0}{V_{кр} \cdot k_{ш} \cdot k}. \quad (2.42)$$

З врахуванням похибки форми циліндричної заготовки величина деформації системи визначається з виразу

$$y = y_{нст} \left(1 - \ell \frac{\Pi}{y_{нст}} \right), \quad (2.43)$$

де Π – припуск на обробку.

Похибка зацентрування циліндричної деталі зміщає вісь обертання заготовки, викликаючи нерівномірність знімаючого припуску у межах від Π_{max} до Π_{min} .

Нерівномірність знімаючого припуску викликає зміну податливості пружної системи за період одного обороту заготовки і, як наслідок, поява похибки оброблюваної деталі

$$\Delta y = y_{max} - y_{min}, \quad (2.44)$$

$$y_{max} = y_{нст} \left(1 - \ell \frac{\Pi_{max}}{y_{нст}} \right), \quad (2.45)$$

$$y_{min} = y_{нст} \left(1 - \ell \frac{\Pi_{min}}{y_{нст}} \right), \quad (2.46)$$

звідки

$$\Delta y = y_{нст} \left(\ell \frac{\Pi_{max}}{y_{нст}} - \ell \frac{\Pi_{min}}{y_{нст}} \right).$$

Чим більша похибка вихідної заготовки деталі $\Delta \Pi$, тим більша

похибка Δy .

При виходжуванні невідомі параметри – максимальний припуск Π_{max} і необхідний час для виправлення похибки форми τ – визначаються із системи рівнянь

$$\begin{cases} y_{max} = \Pi_{max} \ell^{-\frac{V_{кр} c k_{ш} \tau}{\pi D_{дет} l_{дет} \sigma}} \\ \Delta y = \Delta \Pi \ell^{-\frac{V_{кр} c k \tau}{\pi D_{дет} l_{дет} \sigma}} \end{cases} \quad (2.47)$$

Для визначення часу виходжування τ систему рівнянь (2.47) представимо у виді

$$\begin{cases} y_{max} = \Pi_{max} \ell^{-x_1} \\ \Delta y = \Delta \Pi \ell^{-x_1} \end{cases}, \quad (2.48)$$

де $x_1 = \frac{V_{кр} \cdot k_{ш} \cdot k}{\pi \cdot D_{дет} \cdot l_{дет} \cdot \omega}$.

Із системи рівнянь (2.48) одержимо

$$\begin{cases} \Pi_{max} = y_{max} \frac{\Delta \Pi}{\Delta y} \\ x_1 = \ln \frac{\Delta \Pi}{\Delta y} \end{cases}. \quad (2.49)$$

$$x_1 = \frac{\lambda \cdot \tau}{\pi \cdot D_{дет} \cdot l_{дет}},$$

де λ визначається по формулі [1]

$$\lambda = \frac{2V_{кр} \cdot (1 - \eta)}{\pi \cdot \text{tg} \gamma \cdot p}, \quad (2.50)$$

де p – твердість оброблюваного матеріалу.

Параметр η визначається із залежності [1]

$$H = \sqrt[3]{\frac{630 \pi \cdot \bar{x}^3 \cdot V_{дет} \sqrt{t \cdot \rho}}{m \cdot V_{кр} \cdot (1 - \eta^2)}}. \quad (2.51)$$

Приймаючи $H = x/\eta$, одержимо

$$\frac{(1 - \eta^2)}{\eta^3} = \frac{630 \pi \cdot \bar{x}^3 \cdot V_{дет} \cdot \sqrt{t \cdot \rho}}{n \cdot V_{кр} \cdot \bar{x}^3}, \quad (2.52)$$

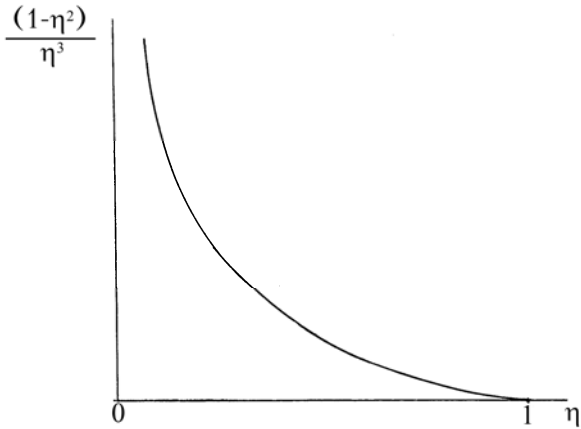


Рис. 2.14. Залежність $(1-\eta^2)/\eta^3$ від параметра η .

де x – величина лінійного зносу зерна; \bar{x} – зернистість кола; m – об’ємна концентрація кола; $V_{дет}$ – швидкість деталі; t – глибина шліфування; $\rho = \frac{1}{R_{кр}} + \frac{1}{R_{дет}}$.

Функція $(1-\eta^2)/\eta^3$ при зміні η від 0 до 1 змінюється від ∞ до 0. Умова $(1-\eta^2)/\eta^3 \rightarrow \infty$ реалізується при $x \rightarrow 0$.

На рис. 2.14 представлена залежність $(1-\eta^2)/\eta^3 = f(\eta)$.

Зменшити параметр η можна за рахунок збільшення параметрів \bar{x} , $V_{дет}$, t і зменшення m , $V_{кр}$, x .

Глибину шліфування t можна представити у вигляді

$$t = \frac{Q}{B \cdot V_{дет}}, \quad (2.53)$$

де Q – поточна продуктивність; B – ширина шліфування.

Після підстановки в (2.53) поточної продуктивності

$$Q = \lambda \cdot k \cdot \Pi_{max} \cdot \ell \frac{\lambda \cdot \tau}{\pi \cdot D_{дет} \cdot l_{дет}}$$

вираз для глибини шліфування t буде мати наступний вид

$$t = \frac{\lambda \cdot k \cdot \Pi_{max} \cdot \ell}{B \cdot V_{дет}} \frac{\lambda \cdot \tau}{\pi \cdot D_{дет} \cdot l_{дет}}. \quad (2.54)$$

З часом τ глибина шліфування t буде зменшуватися. Збільшити Q і t можна шляхом стабілізації в часі параметра λ . Це досягається, як видно з (2.50), стабільною підтримкою в часі параметра η .

Проведений теоретичний аналіз точності виготовлення деталей дозволив встановити зв’язок величини пружних переміщень y_0 і продуктивності Q_0 з умовним напруженням різання σ , коефіцієнтом різання $k_{різ}$, режимами обробки t , $S_{пр}$, $V_{різ}$ і жорсткістю пружної системи k .

Для забезпечення точності при однопрохідній обробці треба враховувати величину пружних деформацій. Глибину різання варто

встановлювати з врахуванням податливості пружної системи і відношення σ/k_{piz} з (2.17).

При обробці крихких матеріалів, наприклад чавуну, у площині зсуву відбувається руйнування з виділенням стружки. При обробці пластичних матеріалів при досягненні граничних значень $\sigma_{зсв}$ відбувається плин матеріалу по площині зсуву. Пластичний зсув по площині $a - a'$ (рис. 2.10) продовжується доти, поки в площині $b - b'$ напруження зсуву не досягнуть граничних дотичних напружень $\tau = \tau_{зсв}$.

Встановлено, що чим більший ступінь деформації металу до моменту його руйнування, тим більша кількість площин зсуву n (рис. 2.11). Для крихких матеріалів $n = 1$, для пластичних (грузлих) $n \geq 2$.

Відношення σ/k_{piz} зменшується зі збільшенням a_z/ρ . Встановлено зв'язок відношення $\sigma/k_{ш}$ з параметром $\eta = x/H$. Зі збільшенням η від 0 до 1 відношення $\sigma/k_{ш}$ змінюється від нуля до нескінченності.

Для підтримки на шліфувальному колі гострого ріжучого рельєфу ($x \rightarrow 0$) необхідно забезпечити його самозагострювання шляхом застосування перервних кіл чи робити в процесі шліфування безупинне виправлення (електроерозійне чи електрохімічне).

2.6. ВПЛИВ ДИНАМІКИ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ НА ТОЧНІСТЬ ОБРОБКИ

Нерівномірність припуску, що знімається, по діаметру, невідношеність обертових мас верстата й інші фактори викликають коливання сил різання і виникнення вимушених коливань. При цих умовах знижується точність обробки.

Для керування точністю обробки необхідно встановити функціональний зв'язок динамічних параметрів процесу різання з амплітудою коливань кромки ріжучого інструмента.

Для визначення статичних і динамічних характеристик пружної системи верстата представимо деталь у виді одномасової динамічної моделі (рис. 2.15, а) із силою різання F_y , яка змінюється за синусоїдальним законом (рис. 2.15, б).

Гармонічні коливання одномасової динамічної моделі можна описати диференціальним рівнянням виду

$$m\ddot{y} + ky = F_{y0} + \Delta F_{y0} \sin \omega \tau, \quad (2.55)$$

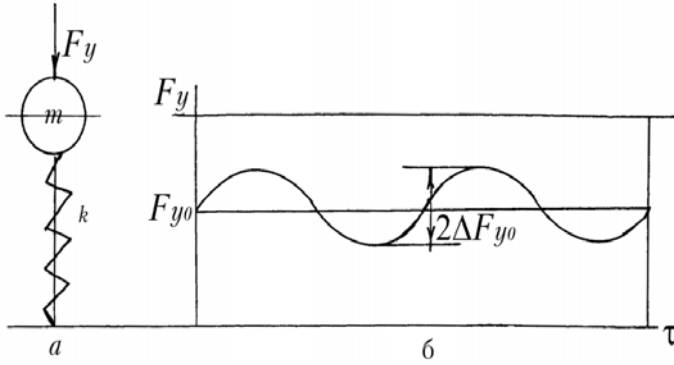


Рис. 2.15. Схема одномасової динамічної моделі і її гармонійні коливання.

де m і k – приведені маса і жорсткість системи; \ddot{y} – прискорення руху маси; F_{y0} – статична складова сили F_y ; ΔF_{y0} – амплітуда коливань сили F_y ; ω – частота коливань.

Рішення диференціального рівняння (2.55) має вид

$$y = \frac{F_{y0}}{k} + \frac{\Delta F_{y0}}{(p_1^2 - \omega^2) \cdot m} \sin \omega \tau, \quad (2.56)$$

де $p_1 = \sqrt{\frac{k}{m}}$ – власна частота коливань системи.

Встановлено, що при $p_1 > \omega$ роль динаміки несуттєва; при $p_1 \rightarrow \omega$ амплітуда коливань необмежено зростає за рахунок другого доданкового виразу (2.56), який можна представити у виді

$$\frac{y_{cm}}{\left(1 - \frac{\omega^2}{p^2}\right)} \sin \omega \tau,$$

де $y_{cm} = \Delta F_{y0} / k$ (рис. 2.16).

У роботі [13] показано, що резонансні явища виявляються не відразу, а через визначений проміжок часу. Це впливає з узагальненого інтегралу при $\omega = p_1$ (для другого доданкового виразу (2.56))

$$y = \frac{\Delta F_y}{m \cdot p_1} \int_0^\tau \sin p_1 t_1 \cdot \sin p_1 (\tau - t_1) dt_1. \quad (2.57)$$

Після його обчислення

$$y = y_{cm} (\sin p_1 \tau - p_1 \tau \cos p_1 \tau), \quad (2.58)$$

де t_1 – нова змінна ($0 < t_1 < \tau$).

Переміщення y з часом зростає по лінійному закону і через визначений час перетворюється в нескінченність. Тому при нетривалій обробці в резонансному режимі можна уникнути виникнення похибок.

При $\omega > p_1$ в зарезонансній області амплітуда коливань зменшу-

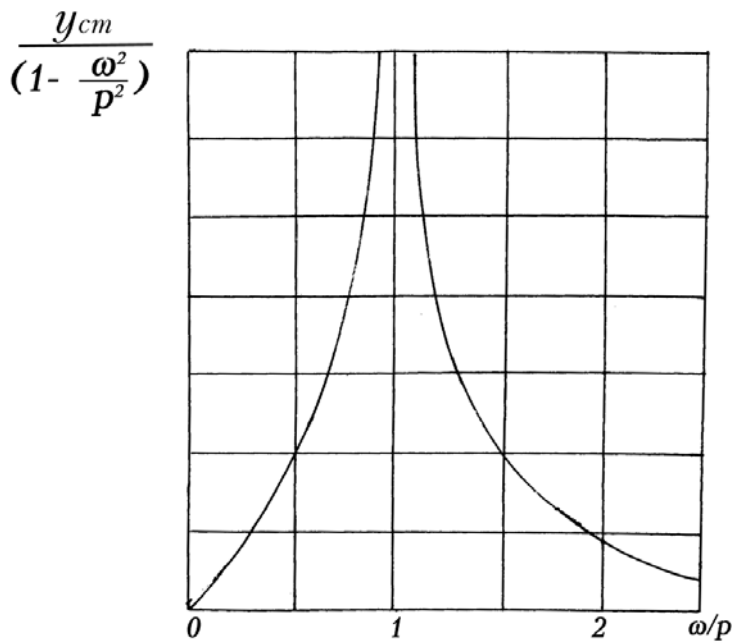


Рис. 2.16. Залежність $\frac{y_{cm}}{(1 - \omega^2/p^2)}$ від параметра ω/p .

ється і при $\omega > \sqrt{2}p_1$ другий доданок у виразі (2.56) стає менше одиниці. У цьому випадку пружна система не встигає зреагувати на високочастотні зміни сили ΔF_y і викликати переміщення системи, рівне статичному y_{cm} .

При перервному шліфуванні на масу m діє імпульс сили F_{y0} протягом короткого проміжку часу τ .

Амплітуда коливань визначається з рівняння

(2.59) з врахуванням сили F_y

$$y = 2y_{cm} \sin \frac{p_1 \tau_1}{2} \sin p_1 \left(\tau - \frac{\tau_1}{2} \right), \quad (2.59)$$

де $y_{cm} = \Delta F_{y0} / k$.

Максимальне значення y_{max} дорівнює

$$y_{max} = 2y_{cm} \sin \frac{p_1 \tau_1}{2}. \quad (2.60)$$

Відношення y_{max} / y_{cm} носить назву коефіцієнта динамічності μ і за даними [1] приймає наступні значення (табл. 2.3).

Таблиця 2.3

τ_1/T	0	0,01	0,02	0,03	0,05	0,1	0,15	0,25	0,5
μ	0	0,062	0,126	0,188	0,313	0,618	0,708	1,413	2,0

При малих значеннях τ_1/T (менше 0,15) коефіцієнт динамічності менше одиниці. Динамічні переміщення в цій області менше статичних. Із збільшенням τ_1/T коефіцієнт динамічності зростає і при $\tau_1/T = 0,5$, $\mu = 2,0$.

Відповідно до залежності (2.59) підвищити точність можна за рахунок збільшення власної частоти коливань p_1 , зменшуючи зна-

чення $\sin \frac{p_1 \tau_1}{2}$. З іншого боку, зменшити τ_1 можна за рахунок збільшення швидкостей руху деталі чи інструмента (у залежності від виду обробки). Ефект зниження амплітуди коливань (нижче статичного значення) при $\tau_1/T < 0,15$ аналогічний ефекту зниження амплітуди коливань у зарезонансній області $\omega > \sqrt{2}p_1$. Розв'язок

$$y = \frac{S}{2m p_1} \left[\sin p_1 \tau + \operatorname{ctg} \left(\frac{\pi p_1}{\omega} \right) \cos p_1 \tau \right], \quad (2.61)$$

де $S = \int_0^{\tau_1} F_{y_0} d\tau = F_{y_0} \tau_1$ – імпульс сили, ω – частота імпульсів.

Залежність (2.61) справедлива в інтервалі від $\tau_1 = 0$ до $\tau_1 = 2\pi/\omega$.

В інших інтервалах закономірність зміни y повторюється. Амплітуда коливань визначається формулою

$$A = \frac{S}{m p_1} \sqrt{1 + \operatorname{ctg}^2 \left(\frac{\pi p_1}{\omega} \right)} = \frac{S}{2m p_1 \left| \sin \frac{\pi p_1}{\omega} \right|}. \quad (2.62)$$

Дріб $\frac{S}{m p_1}$ характеризує величину максимального відхилення,

викликаного однократним впливом імпульсу сили. Коефіцієнт β відбиває вплив багаторазового впливу імпульсів сили:

$$\beta = \frac{1}{2 \left| \sin \frac{\pi p_1}{\omega} \right|}. \quad (2.63)$$

З виразу (2.63) випливає, що при $\beta_{min} = 0,5$ й $\sin \frac{\pi p_1}{\omega} = 1$ амплітуда коливань A_{min} має мінімальне значення:

$$A_{min} = 0,5 A_{cm} \tau_1 p_1, \quad (2.64)$$

де $y_{cm} = \Delta F_{y_0} / k$ – переміщення маси m , що відповідає статичному додатку сили F_{y_0} .

З врахуванням $p_1 = \frac{2\pi}{T}$ залежність (2.64) прийме вигляд

$$A_{min} = A_{cm} \frac{\pi \tau_1}{T}, \quad (2.65)$$

де T – період власних коливань.

Період власних коливань залежить від жорсткості пружної системи. Із зменшенням жорсткості пружної системи період власних коливань зростає. Із зменшенням τ_1 можна істотно зменшити амплітуду коливань A_{min} . Це зменшення еквівалентне підвищенню динамічної жорсткості пружної системи. Отже, при короткочасній дії імпульсів (тривалістю τ_1) можна практично виключити пружні переміщення системи, підвищуючи тим самим точність обробки.

Даний ефект реалізується при перервному шліфуванні.

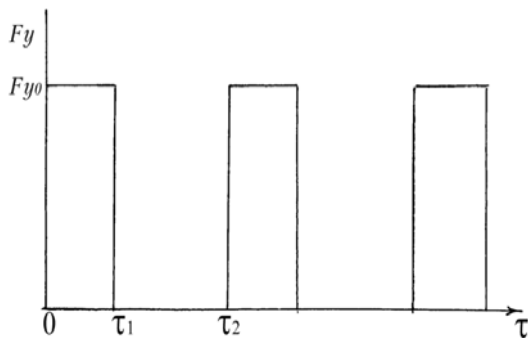


Рис. 2.17. Зміна сили $F(\tau)$.

У роботі [8] приведені аналітичні рішення, що дозволяють визначити коливання при перервному шліфуванні. Рух маси m оброблюваної деталі на ділянці дії імпульсу сили $(0, \tau_1)$ (рис. 2.17) описується диференціальним рівнянням:

$$m\ddot{y} + ky = F_{y0}, \quad (2.66)$$

а на ділянці $(\tau_1; \tau_2)$, де $\tau_2 = T_1$ описується

рівнянням:

$$m\ddot{y} + ky = 0. \quad (2.67)$$

Розв'язок цих рівнянь має вигляд

$$y_1 = A \sin p_1 \tau + B \cos p_1 \tau + y_{cm}, \quad (2.68)$$

$$y_2 = C \sin p_1 \tau + D \cos p_1 \tau, \quad (2.69)$$

де $y_{cm} = \Delta F_{y0} / k$; $p_1 = \sqrt{\frac{k}{m}}$ – власна частота системи.

Невідомі A, B, C, D визначаються з початкових умов

$$y_1(0) = y(\tau_2); \quad (2.70)$$

$$\dot{y}_1(0) = \dot{y}(\tau_2),$$

$$y_1(\tau_1) = y(\tau_2); \quad (2.71)$$

$$\dot{y}_1(\tau_1) = \dot{y}(\tau_2).$$

Задовольнивши розв'язок (2.68) і (2.69) умовам (2.70), (2.71), визначені невідомі постійні

$$C = y_{cm} \frac{\sin p_1 \frac{\tau_1}{2} \sin p_1 \frac{(\tau_1 + \tau_2)}{2}}{\sin p_1 \frac{\tau_2}{2}}, \quad (2.72)$$

$$D = \frac{y_{cm} \sin p \frac{\tau_1}{2}}{\cos p_1 \frac{(\tau_2 + 2\tau_1)}{2} \sin p_1 \frac{\tau_2}{2}} \cdot \left(\cos \frac{\tau_1}{2} - \sin p_1 \frac{(\tau_1 + \tau_2)}{2} \sin p_1 \frac{(\tau_2 + 2\tau_1)}{2} \right), \quad (2.73)$$

$$A = C \cos p_1 \tau_2 + D \sin p_1 \tau_2, \quad (2.74)$$

$$B = C \sin p_1 \tau_2 + D \cos p_1 \tau_2 - y_{cm}. \quad (2.75)$$

З (2.73) і (2.74) випливає, що при $\sin p_1 \frac{\tau_2}{2} = 0$ і $\cos p_1 \frac{(\tau_2 + 2\tau_1)}{2} = 0$ постійні A, B, C, D прагнуть до нескінченності. Це означає, що при цих умовах у системі настає резонанс (параметри $y_1, y_2 \rightarrow \infty$).

Умови резонансу:

1. $\sin p_1 \frac{\tau_2}{2} = 0$, звідки $p_1 \frac{\tau_2}{2} = \pi n$, де $n = 1, 2, \dots, \infty$ і $\tau_2 = \frac{2\pi n}{p_1}$.

2. $\cos p_1 \frac{(\tau_2 + 2\tau_1)}{2} = 0$, звідки $p_1 \frac{(\tau_2 + 2\tau_1)}{2} = \frac{\pi}{2} + \pi n$, $n = 1, 2, \dots, \infty$ і $\tau_2 + 2\tau_1 = \frac{2\pi(1 + 2n)}{p_1}$.

З умов (2.74) і (2.75) випливає, що існує нескінченна безліч резонансних станів системи, що залежать від параметрів τ_1 і τ_2 (тривалість контакту ріжучого виступу і часу переривання процесу шліфування).

Це вказує на те, що процес перервного шліфування має безліч нестійких областей і вимагає правильного вибору параметрів τ_1 і τ_2 , обумовлених виходячи з умови забезпечення оптимальної амплітуди коливань.

Регулювати стійкість процесу перервного шліфування можна також за рахунок параметра $p_1 = \sqrt{\frac{k}{m}}$ шляхом зміни конструкції шпиндельного вузла. Слід зазначити, що розглянуте рішення отримане без обліку дисипативних сил.

2.7. ФОРМУВАННЯ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ

При виготовленні деталей після кожного проходу різця похибка заготовки зменшується пропорційно уточненню

$$\xi = \frac{\Delta_{вих.заг}}{\Delta_{обр.заг}}, \quad (2.76)$$

де $\Delta_{вих.заг}$ – похибка вихідної заготовки; $\Delta_{обр.заг}$ – похибка заготовки після видалення чергового припуску.

Величина, зворотня уточненню k_y , називається коефіцієнтом зменшення похибки

$$k_y = \frac{\Delta_{обр.заг}}{\Delta_{вих.заг}} = \frac{1}{\xi}.$$

У процесі виготовлення деталі уточнення завжди більше одиниці $\xi > 1$. Винятком з даної умови є операція хіміко-термічної обробки, при виконанні якої за рахунок виникаючих деформацій точність обробки погіршується $\xi < 1$.

Наприклад, сумарне уточнення

$$\xi = \frac{\Delta_{заг}}{\Delta_{дет}} = 27.$$

З даного виразу випливає, що деталь повинна бути точніша заготовки в 27 разів.

Забезпечити підвищення точності в 27 разів за один прохід практично не можливо. Тому при розробці технологічного процесу загальний припуск видаляється за кілька операцій: чорнова, напівчистова, чистова, оздоблювальна. Загальне уточнення дорівнює добутку уточнень на окремих операціях:

$$\xi = \xi_1 \cdot \xi_2 \cdot \xi_3 = \frac{\Delta_1}{\Delta_2} \cdot \frac{\Delta_2}{\Delta_3} \cdot \frac{\Delta_3}{\Delta_4} = 3^3.$$

Похибку вихідної заготовки можна представити у вигляді

$$\Delta_{вих.заг} = 2(t_{max} - t_{min}), \quad (2.77)$$

де t_{max}, t_{min} – граничні коливання глибин різання при обробці.

Похибка оброблюваної заготовки визначається з виразу:

$$\Delta_{обр.заг} = 2 \frac{(F_{y max} - F_{y min})}{k}, \quad (2.78)$$

де k – жорсткість пружної системи верстата.

$$F_{y max} = C_y S^{y_p} t_{max}^{x_p} V^n; \quad (2.79)$$

$$F_{y min} = C_y S^{y_p} t_{min}^{x_p} V^n.$$

Після підстановки (2.77), (2.78) і (2.79) у вираз (2.76) одержимо

$$\xi = \frac{(t_{max} - t_{min})k}{C_y S^{y_n} V^n \left(t_{max}^{x_p} - t_{min}^{x_p} \right)}.$$

При $x_p = 1$

$$\xi = \frac{k}{C_y S^{y_p} V^n} = \frac{\Delta_{вих.заг}}{\Delta_{обр.заг}}. \quad (2.80)$$

Звідки $\Delta_{обр.заг} = \frac{C_y S^{y_p} V^n \Delta_{вих.заг}}{k}$.

Після першого проходу $\Delta_{обр.заг_1} = \frac{\Delta_{вих.заг}}{\xi} = \frac{\Delta_{вих.заг} C_y S^{y_p} V^n}{k}$,

після другого проходу $\Delta_{обр.заг_2} = \frac{\Delta_{вих.заг}}{\xi^2} = \frac{\Delta_{вих.заг} \left(C_y S^{y_p} V^n \right)^2}{k^2}$, пі-

сля i -го проходу

$$\Delta_{обр.заг_i} = \frac{\Delta_{вих.заг}}{\xi^i} = \frac{\Delta_{вих.заг} \left(C_y S^{y_p} V^n \right)^i}{k^i}. \quad (2.81)$$

З отриманого виразу (2.81) випливає, що після кожного проходу похибка заготовки зменшується назад пропорційно уточненню ξ і жорсткості k . При обробці заготовок при $\xi > 1$ із збільшенням числа ходів інструмента підвищується точність обробки. Однак, у тих випадках, коли $\xi < 1$ (наприклад, при малій жорсткості технологічної системи), кожен новий хід буде не тільки підвищувати точність оброблюваної заготовки, але навіть знижувати її [7]. Як приклад можна навести обточування довгого вала малого діаметру на верстаті малої жорсткості. У цьому випадку при кожному новому ході обточування вала похибка форми заготовки, що дорівнює подвоєному прогину (тобто $\Delta D = 2Y_{max}$), не тільки не зменшується, але навіть зростає. Зсув вала в точці, розташованій на відстані x від передньої бабки, визначається за формулою:

$$y = F_y \left[\frac{1}{k_{сун}} + \left(1 - \frac{x}{l} \right)^2 \frac{1}{k_{н.б}} + \left(\frac{x}{l} \right)^2 \frac{1}{k_{з.б}} \right]. \quad (2.82)$$

Найбільший прогин самого вала при положенні різця на його се-

редині дорівнює

$$y_{заг} = \frac{F_y l^3}{48Ej}, \quad (2.83)$$

де l – довжина вала; E – модуль пружності; j – момент інерції перетину заготовки (для круглого вала $j = 0,05D^4$).

Жорсткість вала при положенні різця на його середині дорівнює

$$k_{заг} = \frac{48Ej}{l^3}, \quad (2.84)$$

а жорсткість вала при положенні різця на відстані x від передньої бабки верстату

$$k_{заг} = \frac{3Ejl}{[x^2(l-x)^2]}. \quad (2.85)$$

На основі формул (2.82) і (2.83) віджаття вала, встановленого в центрах шліфувального чи токарного верстата при перебуванні шліфувального кола чи різця на відстані x від переднього центра, визначається формулою:

$$y_{заг} = C_y S^{y_p} t^{x_p} V^n \left[\left(\frac{l-x}{l} \right)^2 \frac{1}{k_{н.б}} + \frac{x^2}{l^2} \frac{1}{k_{з.б}} + \frac{x^2(l-x)^2}{3Ejl} + \frac{1}{k_{сун}} \right]. \quad (2.86)$$

З формули (2.86) випливає, що при обробці вала в центрах жорсткість технологічної системи по довжині оброблюваного вала не залишається постійною. Це викликає зміну величини віджаття технологічної системи, а отже, і форми заготовки. При постійній глибині шліфування, встановленій за лімбом верстата ($t_l = const$), фактична глибина t_q на другому проході буде більшою на величину віджаття y' в порівнянні з першим проходом. Отже, при кожному новому проході при шліфуванні з однаковою подачею на глибину відбувається наростання віджаття заготовки, а отже, і збільшення похибки форми заготовки.

Оскільки віджаття пружної технологічної системи чисельно дорівнює збільшенню розміру оброблюваної заготовки, а добуток $t^{x_p} S^{y_p} V^n$ характеризує продуктивність обробки, то можна зробити висновок, що жорсткість технологічної системи визначає зв'язок між точністю і продуктивністю обробки

$$y = \frac{1}{k} c_p t^{x_p} S^{y_p} V^n. \quad (2.87)$$

У формулі (2.87) податливість $1/k = \omega$ виступає як коефіцієнт

пропорційності між продуктивністю і похибкою обробки.

Професор А. П. Соколовський показав, що при токарній обробці заготовок швидкорізальними різцями машинний час обернено пропорційний кореню квадратному від жорсткості пружної системи \sqrt{k} . Із збільшенням жорсткості в чотири рази машинний час обробки зменшується в два рази.

Отже, для підвищення точності обробки потрібно зменшувати величину пружного віджаття технологічної системи за допомогою підвищення її жорсткості.

Жорсткість технологічної системи підвищують:

1. Створенням більш жорстких конструкцій, пристроїв і інструментів.
2. Шляхом скорочення загального числа ланок технологічної системи.
3. Підвищенням контактної жорсткості окремих дотичних поверхонь елементів пружної системи.

2.8. ВПЛИВ ХІМІКО-ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА ТОЧНІСТЬ ДЕТАЛЕЙ

Для збільшення твердості матеріалу деталей застосовується термічна обробка, основними видами якої є нормалізація, гартування, відпуск й обробка холодом.

Нормалізація призначається для поліпшення обробленості, зняття напруження. Гартування служить для одержання високої твердості поверхонь деталей і поліпшення фізико-механічних властивостей сталі. Низький відпуск до температур 150 – 200°С зменшує внутрішні залишкові напруження і збільшує в'язкість матеріалу. Обробка холодом служить для стабілізації властивостей і розмірів, підвищує твердість і стійкість проти спрацьовування.

Хіміко-термічна обробка деталей має на меті підвищити твердість і стійкість проти спрацьовування поверхонь деталей. Найбільш поширеним видом хіміко-термічної обробки є цементація (у твердому чи рідкому карбидзаторі чи газова). Процес характеризується насиченням поверхневого шару деталі вуглецем на глибину 1 - 1,8 мм. Наступна термічна обробка (гартування) підвищує твердість, стійкість проти спрацьовування і контактну витривалість.

Вплив хіміко-термічної обробки на точність розглянемо на прикладі технології виготовлення зубчастих коліс.

Розглянемо кінетику формування точності зубчастих коліс ($m_n = 3$ мм, $z = 49$, $\beta = 20^\circ 21' 50''$, $b = 36$ мм), виготовлених зі сталі 12Х2Н4А.

Нарізування зубчастого вінця проводилося на зубофрезерному верстаті 5Е32 стандартною однопрохідною черв'ячною фрезою ($m_n = 3$, $\alpha = 20^\circ$, $D_{fp} = 80$ мм, $Z_{fp} = 13$, $\beta' = 2^\circ 22'$) із сталі Р18 на режимах: швидкість різання 26,9 м/мм, повздовжня подача 0,8 мм/об. столу.

Режими хіміко-термічної обробки наведені в табл. 2.4.

Твердість цементованих поверхонь HRC 60 – 62, твердість серцевини HRC 32 – 42.

Після хіміко-термічної обробки шліфувалися зовнішній діаметр і торці колеса з розгортанням отвору. При обробці отвору базування проводилося по окружності виступів.

Таблиця 2.4

Вид обробки	Температура °С	Витримка, год.
1. Нормалізація	900 ± 10	2
2. Гартування	870 ± 10	2
3. Відпуск	500 ± 50	2
4. Цементация у твердому карбиді		
рюзаторі	900 ± 10	13
5. Високий відпуск	650 ± 10	2
6. Гартування	790 ± 20	1,5
7. Обробка холодом	-70	2
8. Відпуск	160 ± 10	2,5

Після фрезерування зубців, хіміко-термічного зміцнення й кінцевої обробки комплекту основних конструкторських баз контролювалися нормалеміром довжина загальної нормалі W_m на зубовимірному приладі фірми Цейс – радіальне биття зубчастого вінця F_{rr} , на ходомірі фірми Мічиган Тул – похибка направлення зуба. Контролювалися також граничне відхилення кроку f_{ptr} , найбільша різниця сусідніх кроків V'_{pr} , найбільша різниця кроків V_{pr} і накопичена похибка кроку F_{pr} .

Від операції до операції спостерігається збільшення середньої похибки, що свідчить про зниження точності зубчастих коліс і збільшення розсіювання, що характеризує точність виконання операції.

У табл. 2.5 представлені значення показників точності зубчато-

го вінця, обчислені за результатами вимірів похибок.

З табл. 2.5 видно, що в міру наближення до завершальної стадії обробки точність зубчастих коліс знижується.

Нагрівання зубчастих коліс до високих температур, різкі охолодження, виникнення структурних перетворень викликають появу теплових і структурних напружень і, як наслідок, деформацію в радіальному напрямку зубчастого вінця, перекручування профілів зубів, порушення площинності базового торця.

Після хіміко-термічної обробки необхідно робити відновлення настановчих баз. При відновленні настановчих баз, як показано в табл. 2.5, не завжди вдається підвищити точність взаємного розташування основної конструкторської настановчої бази і діаметра ділильного кола зубчастого вінця.

Таблиця 2.5

Показники точності зубчастого вінця	Стадії обробки	Розмах R	Середнє значення мкм $\bar{x} \pm \Delta x$	Поле розсіювання 6σ	Ступінь точності за ГОСТ 1643-72
1	2	3	4	5	6
Радіальне биття F_{rr}	зубофрезер.	58	42,7 ± 6,2	89,5	9,2
	цементация	66	44,6 ± 7,9	112,5	9,8
	загартування	60	62,3 ± 6,8	96,0	10,2
	відновлення баз	83	75,8 ± 9,8	143,4	11,4
Коливання довжини осей нормалі, V_{wr}	зубофрезер.	25	16,0 ± 5,8	42,4	7,3
	цементация	25	20,4 ± 5,6	37,5	7,2
	загартування	35	31,7 ± 6,2	54,3	9,0
Накопичена похибка кроку F_{pr}	зубофрезер.	85	58,6 ± 8,3	119,1	9,0
	цементация	100	54,0 ± 10,6	154,7	9,3
	загартування	87	71,4 ± 9,2	133,8	9,5
	відновлення баз	126	95,3 ± 14,3	211,2	10,3
Похибка напрямку зуба $F_{\beta r}$	зубофрезер.	32	29,5 ± 3,9	4,87	9,6
	цементация	50	55,7 ± 5,8	81,4	10,8
	загартування	66	67,3 ± 8,2	118,9	11,4
	відновлення баз	118	79,2 ± 15,0	220,9	12,3
Граничне відхилення кроку f_{ptr}	зубофрезер.	13	10,8 ± 2,4	20,9	7,4
	цементация	11	10,3 ± 2,2	14,5	7,1
	загартування	14	15,9 ± 2,4	20,8	8,1
	відновлення баз	18	17,3 ± 2,8	27,5	8,6

На операцію зубошліфування часто надходять колеса, які мають 10 - 11-ю ступінь точності. При цих умовах на операцію зубошліфування, крім основної функції - забезпечення необхідної точності, покладається невласлива їй функція - видалення збільшеного припуску, що компенсує похибки хіміко-термічної обробки. Збільшені припуски, нерівномірно розподілені на робочих бічних поверхнях зубів, викликають появу різних по величині залишкових напружень і появу шліфувальних припиків. Величина розтягуючих напружень у ряді випадків перевищує границю міцності матеріалу. За цих умов на поверхні з'являються шліфувальні тріщини. Наявність припиків на бічних поверхнях зубів знижує довговічність коліс у 5 – 8 разів [65].

2.9. КЕРУВАННЯ ТОЧНІСТЮ ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ

Точність і надійність металорізальних верстатів тісно пов'язані з тепловими процесами, що протікають в них. Нагрівання вузлів верстата неминує приводить до температурних деформацій, при яких змінюються не тільки лінійні розміри деталей, але і форма поверхонь і їхнє розташування. Слід зазначити, що навіть незначна надлишкова температура викликає дуже істотні деформації. Наприклад, ходовий гвинт довжиною 1000 мм при нагріванні на 1 градус подовжується на 11,5 мкм [9].

Нестабільний тепловий режим металорізального верстата несприятливо відбивається, по-перше, на точності оброблюваних деталей, по-друге, на працездатності вузлів. Наприклад, температурні деформації колони плоскошліфувального верстата з вертикальним розташуванням шпинделя приводять до відхилення від перпендикулярності осі шпинделя до площини столу. При перепаді температур $\Delta\theta = 4 \div 5^\circ\text{C}$ зміна кутового положення осі шпинделя складає приблизно 0,1 мм на 1000 мм довжини. Внаслідок цього відхилення від паралельності торців оброблюваної деталі досягає 0,012 мм на довжину, рівну 300 мм [10]. Особливо чуттєві до температурних деформацій верстати з ЧПК, які у порівнянні з універсальними більш енергоємні, а частка машинного часу в них досягає 70 - 90%. У цих верстатах до 50% підведеної енергії внаслідок технічних і електричних втрат перетворюється в теплову.

Встановлено, що внесок теплових деформацій у загальний баланс похибок обробки у верстатах з ЧПК може досягати до 30 - 70%. Крім того температурні деформації впливають на довговічність вузлів верс-

тата. Температурні зсуви вузлів верстата викликають похибки розмірів форми і розташування оброблюваних поверхонь (табл. 2.6) [10].

Таблиця 2.6

Деталі і вузли верстата	Лінійні і кутові зсуви	Відхилення оброблюваних поверхонь	Величина похибки
Шпиндель токарно-револьверного верстата 1А 425 Станина і передня бабка токарного верстата	$\Delta_y = 90$ мкм $\Delta_x = 108$ мкм —	Похибка діаметрального розміру Сідлоподібність Зменшення діаметру	— 0,15 мм/м 0,008...0,05 мм
Колона і шпиндельна головка фрезерного верстата 6А75В	$\beta = 54,3$ мкррад	Конусоподібність відхилення від паралельності	<u>0,006...0,036</u> 300 9,5 мкм
Шпиндель вертикально-фрезерного верстата 6520Ф3	$\Delta_y = 59...$...96 і ϵ_i	—	—
Колона розточувального верстата	$\Delta_x = 123$ мкм $\Delta_y = 138$ мкм $\beta = 1,23 \cdot 10^{-4}$ град	Відхилення від паралельності осей отворів	0,12 мм/м
Шпиндель оброблювально-розточних верстатів 2706В, 2714В	$\Delta_y = 35$ мкм $\Delta_x = 25$ мкм	Відхилення від співвісності і паралельності	—
Шпиндельний вузол координатно-розточувального верстата	$\Delta_y = 75$ мкм $\Delta_x = 35$ мкм	Відхилення від співвісності отворів	14 мкм
Шпиндель торцево-шліфувального верстата	$\Delta_y = 30$ мкм $\Delta_x = 10$ мкм	Відхилення від площини	0,12 мкм 0,63 мкм

Відхилення шпинделя верстата від температурних деформацій є величиною змінною, залежною від частоти обертання шпинделя, часу роботи й умов експлуатації. Наприклад, при безупинній роботі токарно-револьверного верстата протягом 6 годин при частоті обертання 100 об/хв відхилення шпинделя складає $\Delta_y = 80$ мкм, а при частоті обертання 630 об/хв — $\Delta_y = 96$ мкм.

Температурні деформації швидко зростають на початковому етапі обробки. Потім темп наростання деформацій сповільнюється.

Настає сталий режим роботи. Після зупинки температурні деформації зменшуються і верстат повертається у вихідний стан.

Таким чином, температурні деформації верстатів зворотні.

Встановлено, що температурні деформації складають одну з основних часток у загальному балансі похибок. Тому технологічну надійність верстатів із ЧПК визначають саме з врахуванням цих похибок. Під технологічною надійністю розуміють здатність верстатів виконувати обумовлені його призначенням операції, забезпечуючи при цьому задану точність розмірів, форми і розташування поверхонь. Рівень технологічної надійності оцінюють запасом верстата по точності обробки δ_m , що розраховується по формулі

$$\delta_m = TL - \Delta_{np} - \Delta_{ep} ,$$

де TL – поле допуску; Δ_{np} – похибка програмування; Δ_{ep} – загальна похибка обробки на верстаті в період між налагодженням верстата на розмір.

Для забезпечення необхідної точності обробки недостатньо здійснити правильний розрахунок і налагодження верстата. Під впливом змінних похибок, пов'язаних із спрацьовуванням і затупленням інструменту і нагріванням елементів пружної системи відбувається зсув поля розсіювання розмірів оброблюваних заготовок всередині поля допуску з положення “а” у положення “б” (рис. 2.18) і через деякий проміжок часу τ_2 обробки виникає небезпека виходу частини заготовок за межі поля допуску. Для запобігання появи браку необхідно через визначений проміжок часу τ_2 зробити піднастройку верстата.

Піднастройкою (підналагодженням) верстата називається процес

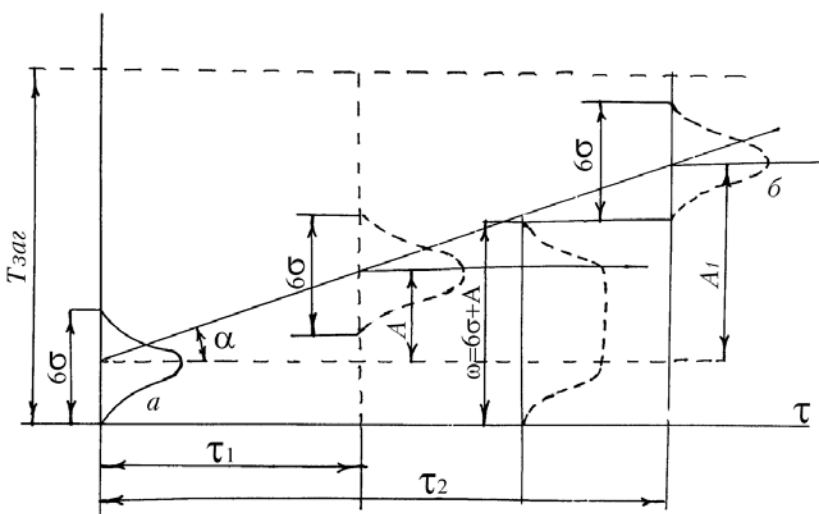


Рис. 2.18. Вплив змінних систематичних похибок на форму і положення кривої розсіювання (Б. С. Балакшин).

відновлення початкової точності взаємного розташування інструмента й оброблюваної заготовки, порушеної в процесі обробки партій заготовок.

При обробці валів для компенсації впливу спрацьовування різця, внаслідок його затуплення і збільшення пружного віджаття у

технологічній системі, роблять переміщення різця на величину, рівну половині зсуву вершини кривої розсіювання ($A \approx A_1 / 2$) [2], викликаного впливом змінних похибок (рис. 2.18). У результаті такої піднастройки поле розсіювання розмірів заготовок повертається з положення “б” у положення “а” і небезпека появи браку усувається.

Але піднастройка верстата, здійснювана робітником-настройщиком вручну, вимагає зупинки верстата і припинення обробки на весь період піднастройки, тривалість якого досить велика.

Підвищення продуктивності обробки досягається зменшенням простоїв при налагодженні і піднастройці, а також збільшенням тривалості роботи верстату між піднастройками.

Існує протиріччя між вимогами підвищення точності і продуктивності обробки. Забезпечення точності досягається скороченням тривалості роботи верстата між підналагоджуваннями, а збільшення продуктивності, навпаки, вимагає зменшення пристроїв верстата і збільшення тривалості їхньої роботи між піднастройками. Усунення зазначеного протиріччя досягається шляхом автоматизації контролю розмірів оброблюваних заготовок і автоматизації самого процесу обробки.

Адаптивне керування точністю обробки засновано на принципі компенсації пружного віджаття у технологічній системі, викликаного коливаннями припуску і твердістю матеріалу заготовки.

Віджаття шпинделя в пружній технологічній системі визначається відношенням нормальної складової зусилля різання до жорсткості k технологічної системи $y = F_y / k$. Похибка обробки залежить від коливань величини деформації від змінної сили різання. Для одержання необхідної точності необхідно забезпечити сталість величини віджаття y . Ця умова забезпечується при сталості сили F_y .

У роботах проф. Б. С. Балакшина [11] вказується, що для підтримання постійності сили F_y варто використовувати як параметр керування повздовжню подачу верстату. Керування подачею робітник може здійснювати вручну чи за допомогою системи автоматичного регулювання. подача може змінюватися дискретно чи безупинно й автоматично. При ручній зміні подачі робітник спостерігає за відключенням стрілки приладу і вносить необхідні зміни у величину подачі доти, поки стрілка приладу не повернеться у вихідне положення. При автоматичному регулюванні подачі ці функції виконує САР (система автоматичного регулювання). У цих умовах при обробці заготовки з величиною припуску, що перевищує гранично припустиму

величину, автоматично зменшується величина повздовжньої подачі, а при обробці заготовок з малими припусками, навпаки, подача збільшується.

На рис. 2.19 приведені результати обробки сталевих заготовок із твердістю 145 – 165 НВ на токарно-гвинторізальному верстаті ІА62.

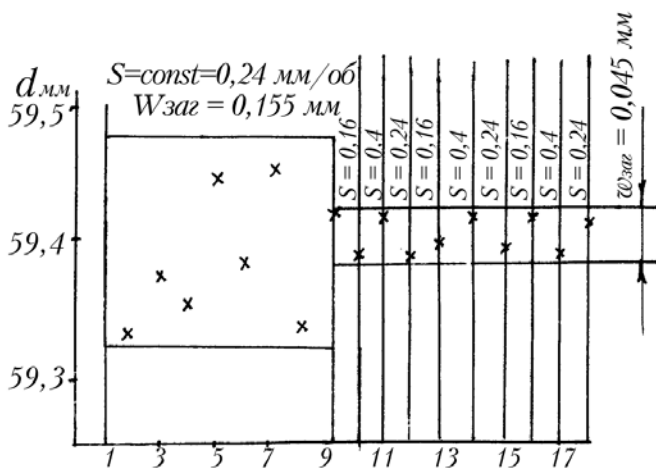


Рис. 2.19. Стабілізація точності розміру заготовки, оброблюваної на токарному верстаті шляхом зміни подачі (Б. С. Балакшин).

мірів заготовок, оброблених з постійною подачею $S=0,24$ мм/об, як встановлено в роботі [7], складає $w_{заг}=0,155$ мм, а після обробки з дискретно регульованою подачею – $w_{заг}=0,045$ мм. Поле розсіювання розмірів зменшилося в 3,445 рази.

Приведені дані показують, що керування пружними переміщеннями шляхом зміни повздовжньої подачі дозволяє:

1. Істотно підвищити точність оброблених деталей за рахунок зменшення поля розсіювання розмірів, породжуваного сукупною дією різних випадкових факторів.
2. Збільшити продуктивність обробки за рахунок застосування більш форсованих режимів різання.

До недоліків методу керування податливістю пружної системи варто віднести зміну в широких межах шорсткості поверхні.

Відомо, що при збільшенні повздовжньої подачі шорсткість оброблюваної поверхні зростає, отже, стабілізація зусиль різання за рахунок зміни подовжньої подачі викликає неоднорідність шорсткості поверхні.

Потрібно, однак, відмітити, що цей недолік у ряді випадків не є істотним, тому що відповідальні деталі після чорнових і чистових операцій проходять більш тонку доводочну обробку. Системи авто-

Прохідним різцем з кутом $\varphi = 45^\circ$ С із пластинкою ТІ5К6 при швидкості різання 45 м/хв оброблялися вали $\varnothing 59,5 - 0,2$ мм. Припуск на сторону вала змінювався в межах 2 мм. Перші дев'ять заготовок (1 – 9) оброблялися з постійною подачею $S = const = 0,244$ мм/об (ділянка 1), а наступні дев'ять – (10–18) з подачею, встановленою з врахуванням фактичного припуску на обробку. Поле розсіювання роз-

матичного керування точності обробки знайшли застосування в ряді конструкцій верстатів.

Наприклад, системою автоматичного керування САК оснащені зубошліфувальні верстати типу 5М851 [32]. У якості регулюємого параметра на цих верстатах використовується потужність, що затрачається на різання. Як регулюючий параметр використовується повздовжня подача столу верстата.

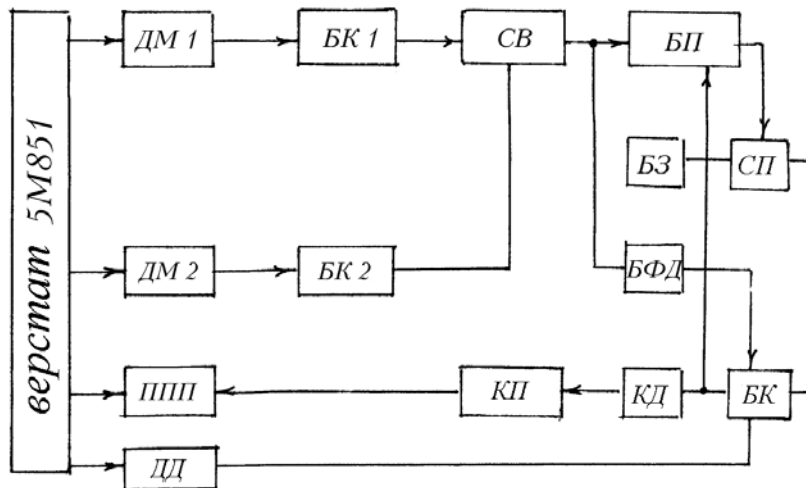


Рис. 2.20. Блок-схема САК.

Блок-схема САК представлена на рис. 2.20.

Система містить датчі активної потужності електродвигуна привода шліфувальних кіл ДМ1 і ДМ2 і відповідні їм блоки компенсації рівня потужності холостого ходу БК1 і БК2, схему вибору

найбільш навантаженого електродвигуна привода шліфувального кола СВ, блок пам'яті БП, блок завдання БЗ, схему порівняння СП, блок фіксації різання БФР, блок керування БК, кроковий двигун КД, коректуючий пристрій КП, датч дотикання ДД і привод повздовжньої подачі ППП.

Інформаційний сигнал надходить з датча потужності найбільш навантаженого електродвигуна привода шліфувального кола. У систему вибору найбільшого сигналу входить логічний елемент ЛЕ. Блок пам'яті містить реверсивний лічильник імпульсів, схему керування і цифровий аналоговий перетворювач. Система працює у такий спосіб. При врізанні кола в деталь з'являється сигнал на виході блоку фіксації різання БФР. По команді від блоку керування БК повздовжня подача різко зменшується до мінімальної величини 150 мм/хв, а потім починає плавно збільшуватися доти, поки потужність, затрачувана на різання, не досягає рівня, заданого в блоці завдання БЗ. Регулюючі впливи в системі здійснюються в дискретні моменти часу з частотою слідкування імпульсів від датча ДД.

Для оцінки ефективності роботи зубошліфувальних верстатів, оснащених САК, зубчасті колеса з $m=4$ мм, числом зубів $z=60$ шліфувалися з автоматичним регулюванням потужності, яка затрачається на різання, і без нього. Залежність накопиченої похибки окружного

кроку зубчастих коліс від числа проходів зубошліфування на верстаті 5851 без САК і з САК представлені на рис. 2.21.

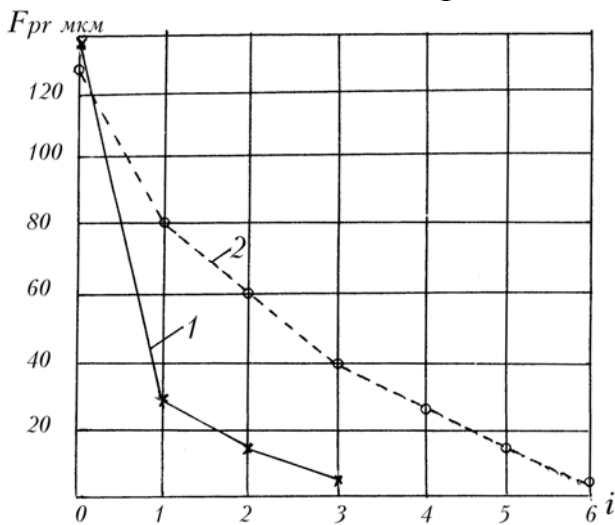


Рис. 2.21. Залежність накопиченої похибки колового кроку F_{pr} від числа проходів. Контурна лінія шліфування із САК, пунктирна – шліфування без САК.

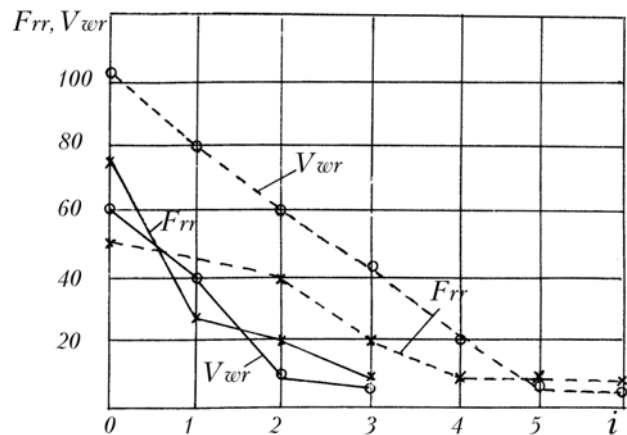


Рис. 2.22. Залежність радіального биття F_{rr} і коливання довжини загальної нормалі V_{wr} від числа проходів. Контурна лінія шліфування із САК, пунктирна - шліфування без САК.

Вихідне до обробки відхилення найбільшої накопиченої похибки колового кроку F_{pr} змінювалося в межах 128 – 140 мкм. При обробці з САК після першого проходів на режимі: $t=0,07$ мм, подача S – регульована, похибка F_{pr} зменшилася з 128 мкм до 28 мкм. Після третього проходів похибка F_{pr} зменшилась до 3 – 4 мкм. При обробці зубчастих коліс без САК для зменшення похибки з 125 мкм до 3 – 4 мкм потрібно шість проходів.

Вимірювання радіального биття F_{rr} і коливань довжини загальної нормалі V_{wr} по проходах, представлене на рис. 2.22, наочно свідчить про позитивний вплив автоматичного регулювання на точність обробки зубчастих коліс.

Наприклад, відомо [9], що при шліфуванні зубчастих коліс четвертого ступеня точності з числом зубів 20, 30 і 60 на верстатах 5851, оснащених САК, машинний час зубошліфування, у порівнянні з обробкою на верстатах без системи, зменшився відповідно з 100, 200, 500 хв до 80, 110, 220 хв. Це пояснюється тим, що збільшення припуску на окремих зубцях, викликане коробленням і деформацією зубчастого вінця в процесі термічної обробки, вимагає значного зниження режимів шліфування при обробці без САК.

2.10. ВИЗНАЧЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧНОЇ СТАТИСТИКИ

Розрахунково-аналітичний метод оцінки точності обробки дозволяє встановити причини появи похибок обробки й встановити функціональні залежності точності виготовлення деталей від технологічний факторів.

Однак цей метод дозволяє оцінити точність у тому випадку, якщо технолог має необхідні відомості нормативного характеру (наприклад, твердість деталей верстата, геометрична точність верстату, похибки встановлення і закріплення і т.д.).

На верстатах, налагоджених на розмір у масовому і багатосерійному виробництвах, оцінку точності зручніше робити з використанням методів математичної статистики і теорії ймовірності. Метод математичної статистики враховує одночасно вплив усієї сукупності діючих факторів: нерівномірність припуску, що знімається, спрацювання інструмента, помилки виконавця, похибки базування і т.д. Оцінку точності з використанням методу математичної статистики варто робити в наступній послідовності:

1. З числа оброблених на верстаті заготовок здійснюється одночасна вибірка обсягом $n = 50 \dots 100$ штук деталей.

2. Проводиться вимір потрібного розміру, наприклад, діаметра вала $\varnothing 20_{-0,30}^{-0,1}$ мм. Ціна розподілу вимірювального приладу повинна бути $\Delta = \left(\frac{1}{6} - \frac{1}{10} \right) T$, де T – допуск на виготовлення деталі.

3. Отримані результати виміру представляються у виді зростаючого чи спадаючого ряду чисел із вказівкою частот чи частостей.

Частотою m називається число появи якої-небудь випадкової події в n іспитах. Наприклад, при вимірюванні розмірів деталей діаметром $20_{-0,30}^{-0,1}$ мм у партії $n=50$ частота появи розміру 19,85 дорівнює $m = 12$.

Частістю m/n називається відношення частоти m випадкової події до загального числа іспитів n . Наприклад, частота появи випадкового розміру 19,85 мм дорівнює 12, а частість $m/n=12/50=0,24$.

4. Визначається число інтервалів, на які необхідно розбити ряд чисел, отриманих при вимірюванні

$$f = \frac{\omega}{c},$$

де ω – розмах розмірів; c – ціна інтервалу.

Число інтервалів залежно від розміру вибірки змінюється від 5 до 15.

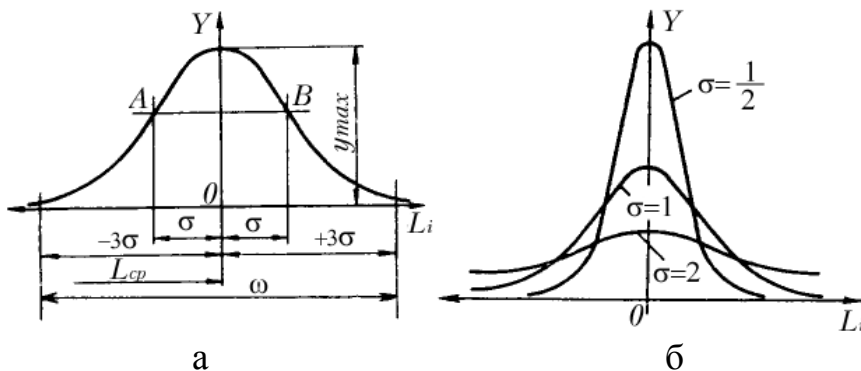
n	50	100	500	1000
f	5	10	13	15

1. Будують полігон і гістограму розсіювання розмірів. В міру зменшення інтервалів розсіювання розмірів ламана лінія (полігон розсіювання розмірів) наближається до плавної кривої (рис. 2.23).

2. Визначають характеристики розподілу. Вони розділяються на міри положення і міри розсіювання.

До мір положення відносяться: середнє арифметичне значення і мода. Середнє арифметичне значення \bar{x} – це стійка характеристика, що при багаторазовому її визначенні повторюється.

Вона виражається наступною залежністю:



$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

чи

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^f x_i m_i.$$

Моду називається значення випадкової величини, яке відповідає найбільшій частоті

Рис. 2.23. Крива нормального розподілу (крива Гауса) (а), вплив середнього квадратичного відхилення на форму кривої нормального розподілу (б).

чи частоті. До мір розсіювання відносять розмах ($x_{max} - x_{min}$) і дисперсію D .

Розмах – малопотужна характеристика, у статистиці вона не застосовується, тому що має мінімальну частотність.

Дисперсія – це квадрат середньоквадратичної величини

$$D_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^f (x_i - \bar{x})^2 m_i.$$

Дисперсія в технологічних розрахунках не застосовується, тому що має розмірність площі мм^2 . Для оцінки розсіювання розмірів використовують середньоквадратичне відхилення $\delta = +\sqrt{D_x}$.

Це надзвичайно стабільний критерій, що характеризує форму кривої розподілу випадкових величин.

При аналізі точності необхідно з загальної сукупності похибок оцінити поле розсіювання випадкових похибок, визначити систематичну похибку і вишукати шлях її усунення. Випадкові похибки оцінюються з позиції теорії ймовірності. ймовірність події (A) дорівнює відношенню числа випадків, сприятливих появі числа (A) до загального числа випадків n .

Наприклад, при киданні монети, ймовірність появи орла чи решки $P(A) = \frac{1}{2}$. При киданні шестигранного кубика ймовірність появи події A $P(A) = \frac{1}{6}$.

Варто відмітити, що в теорії ймовірності формула $P(A) = \frac{m}{n}$ справедлива при виконанні трьох умов: рівноможливість подій; незалежність подій; несумісність подій.

Однак у реальних умовах при наявності систематичних похибок зазначені умови не виконуються. Тому при аналізі точності обробки використовують не теоретичну ймовірність, а статистичну

$$P(k) = \frac{m}{N},$$

де N – число іспитів.

Наприклад, при свердлінні отвору $\varnothing 10_{+0,1}^{+0,2}$ з 30 оброблених отворів розмір 10,12 склав 6 разів. Отже, статистична ймовірність появи розміру 10,12 дорівнює $P(k) = 6/30$.

Закон великих чисел Бернуллі, що говорить про те, що статистична ймовірність прагне до теоретичної при $N \rightarrow \infty$, перекинув місток між теорією і практикою

$$\frac{m}{N} \xrightarrow{N \rightarrow \infty} \frac{m}{n}.$$

При обробці заготовок розсіювання їхніх дійсних розмірів підкоряється різним математичним законам. У технології машинобудування практичне застосування одержали наступні закони: нормального розподілу (закон Гауса); рівнобедреного трикутника (закон Сімпсона); ексцентриситету (закон Релея); закон рівної ймовірності і функції розподілу, що представляє собою композицію цих законів.

2.10.1. ЗАКОН НОРМАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ (ЗАКОН ГАУСА)

Дослідження професорів А. Б. Яхіна, А. А. Зикова й інших дослідників показали, що розподіл дійсних розмірів заготовок, оброблених на верстатах, часто підкоряється закону нормального розподілу (закону Гауса).

Результуюча похибка обробки звичайно формується в результаті одночасного впливу великого числа факторів, що викликають похибки, які залежать від верстата, пристрою, інструмента і заготовки, та власне кажучи, являють собою незалежні випадкові величини, які приблизно однаково впливають на загальну сумарну похибку. При цих умовах випадкова результуюча похибка підкоряється закону нормального розподілу.

Рівняння кривої нормального розподілу має наступний вид

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(L_i - L_{cp})^2}{2\sigma^2}}, \quad (2.88)$$

де σ – середнє квадратичне відхилення, яке визначається формулою

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^f (L_i - L_{cp})^2 \frac{m_i}{n}}{n}} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^f (L_i - L_{cp})^2 m_i};$$

L_i – поточний дійсний розмір; L_{cp} – середнє зважене арифметичне значення дійсних розмірів заготовок даної партії.

Значення L_{cp} визначається з виразу

$$L_{cp} = \sum_{i=1}^f L_i \frac{m_i}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^f L_i m_i,$$

де m_i – частота (кількість заготовок даного інтервалу розмірів); n – кількість заготовок у партії.

Крива, що характеризує закон нормального розподілу, показана на рис. 2.23, а.

Аналіз рівняння (2.88) показує, що крива нормального розподілу симетрична щодо осі ординат. При $L_i = L_{cp}$ крива має максимум, рівний

$$y_{max} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \approx \frac{0,4}{\sigma}.$$

На відстані $\pm \sigma$ від вершини крива має дві точки перегину (точки A і B). Ордината точок перегину

$$y_A = y_B = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}\ell} = \frac{y_{max}}{\sqrt{\ell}} \approx \frac{0,24}{\sigma}.$$

Крива асимптотична наближається до осі абсцис. На відстані $\pm 3\sigma$ від положення вершини кривої її гілки так близько підходять до осі абсцис, що в цих межах виявляється 99,73% площі, розташованої між усією кривою нормального розподілу і віссю абсцис.

При практичних розрахунках звичайно приймають, що на відстані $\pm 3\sigma$ від вершини кривої нормального розподілу її гілки перетинаються з віссю абсцис. Якщо прийняти площу, обмежену полем розсіювання розмірів $\pm 3\sigma$, за 100%, то виникаюча при цьому похибка складає 0,27%. При збільшенні σ ордината y_{max} зменшується, а поле розсіювання $\omega = 6\sigma$ зростає. У результаті крива стає більш пологою і низкою (рис. 2.23, б).

Середнє квадратичне відхилення σ є мірою точності.

2.10.2. ЗАКОН РІВНОБЕДРЕНОГО ТРИКУТНИКА (ЗАКОН СІМПСОНА)

При обробці заготовок 7 і 8 квалітетів точності, розподіл їхніх розмірів у більшості випадків підкоряється закону Сімпсона, що графічно виражається рівнобедреним трикутником з полем розсіювання

$$\omega = 2\sqrt{6}\sigma \approx 4,9\sigma.$$

2.10.3. ЗАКОН ЕКСЦЕНТРИСИТЕТУ (ЗАКОН РЕЛЕЯ)

Такі параметри точності, як ексцентриситет, биття, різностінність, непаралельність, неперпендикулярність, овальність, конусоподібність підкоряються закону розподілу ексцентриситету (закону Релея). Такий розподіл формується тоді, коли випадкова величина R є радіус-вектором при двовимірному розподілі координат проєкцій x і y (рис. 2.24, а). Результуюча погрішність являє собою геометричну суму двох величин $R = \sqrt{x^2 + y^2}$ кожна з яких підкоряється законові Гаусса з параметрами: $L_{xcp} = L_{ycp} = L_{Rcp}$; $\sigma_x = \sigma_y = \sigma_0$. Цей закон розподілу однопараметричний і рівняння його кривої розподілу має вид (рис. 2.24,б)

$$y = \frac{R^2}{\sigma_0^2} \ell^{-\frac{R^2}{2\sigma_0^2}}, \quad (2.89)$$

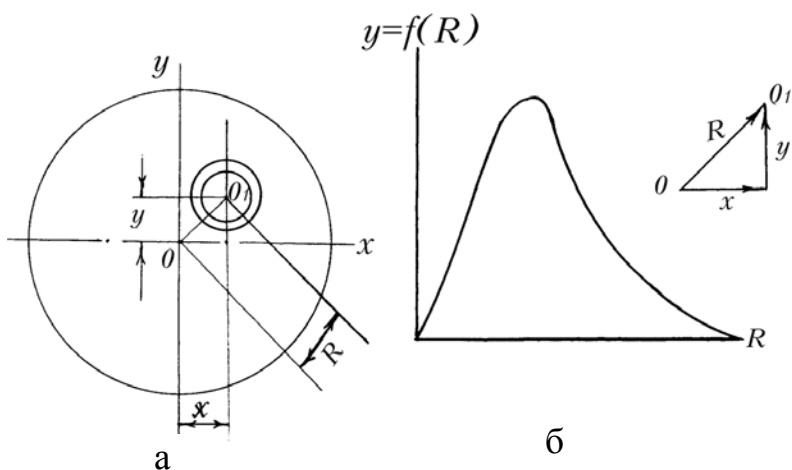


Рис. 2.24. Ексцентрична втулка (а) і функція $y=f(R)$ розподілу розмірів за законом Релея (б).

не квадратичне відхилення σ_0 значень координат x і y кінця радіуса вектора R пов'язані між собою наступними співвідношеннями:

$$\sigma_0 = \frac{\sigma_R}{0,655}, \quad \sigma_R = 1,253\sigma_0.$$

Фактичне поле розсіювання значень змінної величини радіус-вектора R (ексцентриситету, різностінності, непаралельності й ін.) знаходяться з виразів: $\omega = 5,252\sigma_R$; $\omega = 3,44\sigma_0$.

2.10.4. ЗАКОН РІВНОЇ ЙМОВІРНОСТІ

Якщо розсіювання розмірів залежить тільки від змінної систематичної похибки (наприклад, спрацювання ріжучого інструменту), то

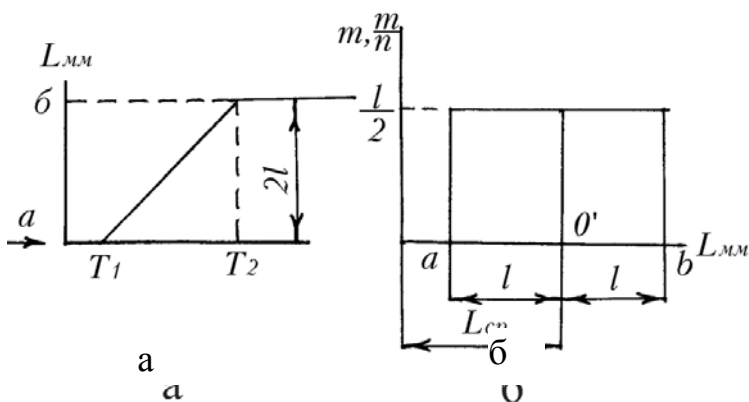


Рис. 2.25. Прямолінійний характер зміни розміру (а), закон рівної ймовірності (б).

ймовірності і виражається прямокутником з основою $2l$ і висотою

де σ_0 – середнє квадратичне відхилення значень координат x і y . З рівняння випливає, що при $R=0$ і $y=0$ початок розподілу ексцентриситету збігається з початком координат.

Середнє квадратичне відхилення σ_R змінної випадкової величини (ексцентриситету, різниці і т.д.) і середнє

0,5l (рис. 2.25, б). Площа прямокутника дорівнює одиниці, що означає 100-процентну ймовірність появи розміру заготовки в інтервалі від a до b . Середнє арифметичне і середнє квадратичне значення

$$L_{cp} = \frac{a+b}{2}, \quad \sigma = \frac{b-a}{2\sqrt{3}} = \frac{l}{\sqrt{3}} \approx 0,577 \cdot l. \quad (2.90)$$

.Фактичне поле розсіювання

$$\omega = 2\sigma\sqrt{3} \approx 3,46\sigma. \quad (2.91)$$

2.10.5. КОМПОЗИЦІЇ ЗАКОНІВ РОЗПОДІЛУ І ПІДСУМОВУВАННЯ ПОХИБОК

При обробці деталей на верстатах, налагоджених на розмір, на точність отриманих розмірів заготовок впливає велике число одночасне діючих випадкових похибок, що підкоряються різним законам розподілу і систематичних похибок. У результаті сумарного впливу великого числа факторів розподіл розмірів оброблених деталей буде представляти композицію декількох законів розподілу.

Наприклад, при обточуванні валиків, розсіювання розмірів діаметрів підкоряється закону нормального розподілу з полем розсіювання 6σ . При повторному налагодженні верстата на розмір, при встановленні різця після переточування виникає систематична похибка, що змінює центр групування розмірів на величину $\Delta_{сист.}$. У цьому випадку поле сумарного розсіювання розмірів деталей буде визначатися з виразу

$$\omega = 6\sigma + \Delta_{сист.} \quad (2.92)$$

При визначенні сумарної похибки варто мати на увазі, що систематичні постійні похибки складаються алгебраїчно, тобто з урахуванням їх знака. У результаті підсумовування може викликати не тільки збільшення, але і зменшення загальної похибки обробки.

Наприклад, подовження різця в результаті його нагрівання може компенсувати його похибку від зносу ріжучої крайки.

Систематичні перемінні похибки, що змінюють свою величину і напрямок у часі сумуються по своїх максимальних значеннях і з тим знаком, при якому сумарна похибка буде найбільшою.

Випадкові похибки сумуються через корінь квадратний із суми квадратів полів розсіювання випадкових похибок

$$\omega = \sqrt{(k_1\omega_1)^2 + (k_2\omega_2)^2 + \dots + (k_n\omega_n)^2}, \quad (2.93)$$

де $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$ – поля розсіювання випадкових похибок; k_1, k_2, \dots, k_n –

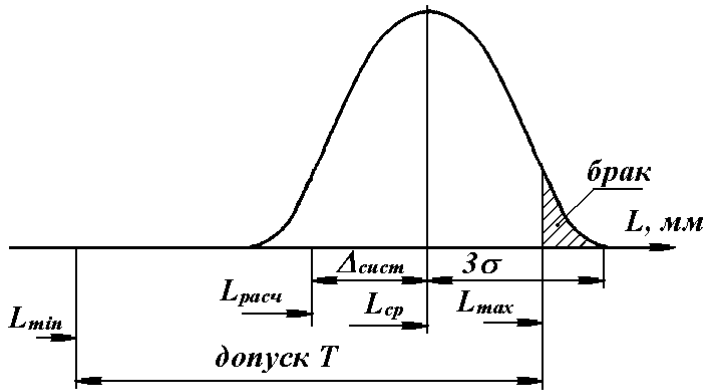


Рис. 2.26. Графічна інтерпретація підсумовування випадкових і систематичних похибок обробки.

Коли усі випадкові похибки підкоряються однаковому закону, наприклад, закону нормального розподілу ($k_1=k_2=k_3=\dots k_n=1$) поле розсіювання сумарної похибки визначається по формулі

$$\omega = k\sqrt{\omega_1^2 + \omega_2^2 + \dots + \omega_n^2}. \quad (2.94)$$

Однак, навіть якщо всі складові сумарної випадкової похибки підкоряються закону нормального розподілу, то у формулі (2.94) для створення деякої гарантії точності з урахуванням можливих відхилень від закону Гаусса приймають $k=1,2$. Тоді $\omega = 1,2\sqrt{\omega_1^2 + \omega_2^2 + \dots + \omega_n^2}$. Систематичні похибки з випадковими сумуються графо-аналітично (рис. 2.26). Систематичні похибки зрушують центр групування випадкових похибок $L_{ср}$ (фактичний налагоджений розмір) щодо рівня налагодження (розрахункового налагодженого розміру) $L_{расч}$, а випадкові похибки викликають розсіювання розмірів щодо зміщеного центра групування

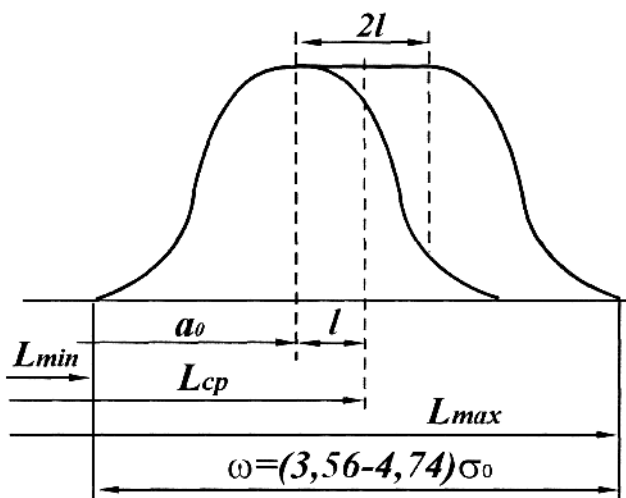


Рис. 2.27. Крива функції $a(t)$.

коефіцієнти відносного розсіювання випадкових величин, що показують у скільки разів фактичне розсіювання ω_i відрізняється від розсіювання похибок за законом нормального розподілу. Для закону нормального розподілу випадкових похибок $k=1,0$; для закону Сімпсона $k=1,2$; для закону рівної ймовірності $k=1,73$.

Аналіз графічно просумованих систематичних і випадкових похибок, сполучених на одній координатній осі з гранично припустимими розмірами деталі, дозволяє встановити факт наявності чи відсутності браку при обробці.

Композиція законів Гауса і рівної ймовірності створює функцію розподілу $a(\tau)$. Величина поля розсіювання композиційного закону залежить від інтенсив-

ності спрацьовування інструменту і тривалості різання Гауса. На рис. 2.27 показана крива функції $a(\tau)$

$$a(\tau) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \ell \frac{(x-a_0-c_\tau)^2}{2\sigma^2}, \quad (2.95)$$

де σ – середнє квадратичне відхилення закону нормального розподілу; a_0 – середнє арифметичне значення розміру в початковий момент часу τ ; c_τ – сума невідповідних доданків, що відповідає моменту часу τ .

Форма кривої функції $a(\tau)$ залежить від параметра λ_a ;

$$\lambda_a = \frac{l}{\sigma}. \quad (2.96)$$

Лінійну функцію $a(\tau)$ і середнє арифметичне значення функції $a(\tau)$ можна представити у вигляді

$$a(\tau) = a_0 + 2l\tau = a_0 + 2\lambda_a\sigma\tau, \quad L_{cp} = a_0 + l = a_0 + \lambda_a\sigma.$$

Середнє квадратичне відхилення σ_a функції $a(\tau)$

$$\sigma_a = \sqrt{\sigma^2 + \frac{l^2}{3}} = \sigma\sqrt{1 + \frac{1}{3}\lambda_a^2}. \quad (2.97)$$

Поле розсіювання розмірів ω при функції розподілу $a(\tau)$ залежить від параметра λ_a

λ_a	3	6	10	24
ω	$4,74\sigma_a$	$4,4\sigma_a$	$3,76\sigma_a$	$3,56\sigma_a$

2.11. ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ЗАКОНІВ РОЗПОДІЛУ РОЗМІРІВ ДЛЯ АНАЛІЗУ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ

Викладені закони розподілу розмірів використовуються в технології машинобудування для встановлення надійності технологічного процесу і забезпечення обробки заготовок без браку, визначення кількості заготовок, що вимагають додаткової обробки, розрахунку налагодження верстатів і зіставлення точності обробки заготовок при різному стані устаткування, інструментів, мастильно-охолоджуючих рідин і т.д.

2.11.1. ВСТАНОВЛЕННЯ НАДІЙНОСТІ ОБРОБКИ ЗАГОТОВОК БЕЗ БРАКУ

Надійність забезпечення необхідної точності обробки заготовок

характеризується запасом точності даної операції, що визначається по формулі $\psi = T/\omega$, де T – допуск на обробку заготовок; ω – фактичне поле розсіювання розмірів заготовок.

Величини поля розсіювання ω при різних законах розподілу розмірів оброблюваних заготовок приводяться нижче.

Нормальний розподіл (закон Гауса)..... $\omega = 6\sigma$.
 Рівнобедрений трикутник (закон Сімпсона) $\omega = 2\sigma\sqrt{6} = 4,9\sigma$.
 Рівна ймовірність $\omega = 2\sigma\sqrt{3} = 3,46\sigma$.
 Ексцентриситет (закон Релея)..... $\omega = 3,44\sigma_0 = 5,25\sigma_R$.

Обробка заготовок може бути здійснена без браку, коли запас точності $\psi > 1,0$ і за умови правильного налагодження верстата (поле кривої розсіювання збігається із серединою поля допуску).

При $\psi \geq 1,2$ процес обробки вважається надійним. Для всіх законів розподілу розмірів умовою обробки заготовок без браку є умова $\omega < T$, яка показує, що поле фактичного розсіювання розмірів менше допуску на виготовлення. Для закону нормального розподілу цей вираз здобуває вид $6\sigma < T$.

При наявності систематичної похибки $\Delta_{сист}$, що викликає зсув поля розсіювання розмірів, умова обробки заготовок без браку наступна

$$6\sigma + \Delta_{сист} < T. \quad (2.98)$$

2.11.2. ВИЗНАЧЕННЯ ЙМОВІРНОГО ВІДСОТКА БРАКОВАНИХ ДЕТАЛЕЙ

Тому що площа, обмежена кривою Гаусса і полем розсіювання 6σ прийнята за 100% оброблених заготовок (деталей), то задача зводиться до визначення площі під кривою, займаної придатними чи бракованими обробленими заготовками (деталлями). Для зручності технологічних розрахунків рівняння кривої нормального розподілу в цьому випадку представляється не у вихідному, а в нормованому виді. Нормування розподілу полягає в переході від випадкової величини

L до допоміжної величини $t = \frac{L - L_{cp}}{\sigma}$. Тоді величину площі, обмежену кривою нормального розподілу і перпендикулярами, відновленими з точок L і L_{cp} (наприклад, незаштриховані площі на рис .2.28

праворуч і ліворуч від L_{cp} до L_{max}^{don} , чи до L_{min}^{don}) можна визначити за допомогою функції Лапласа

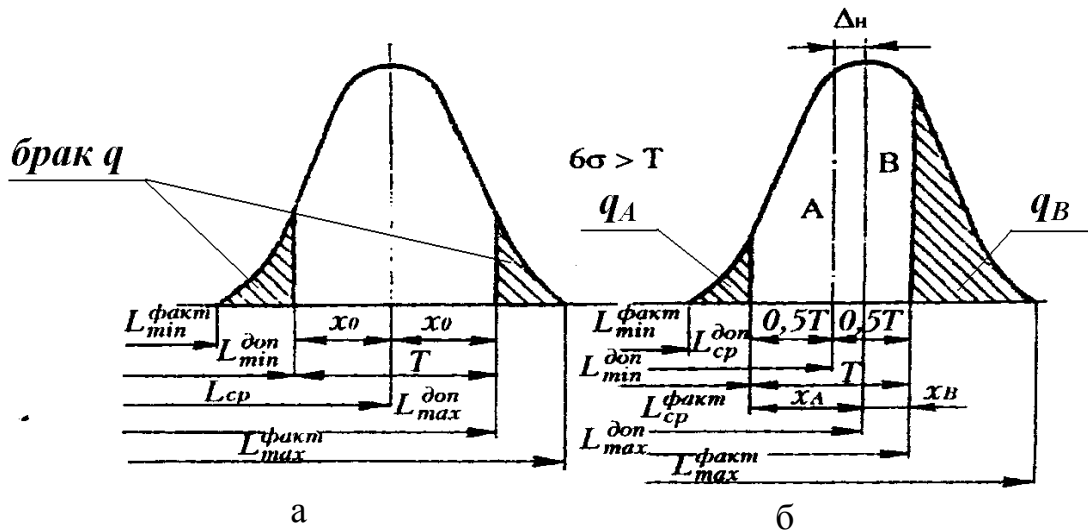


Рис. 2.28. Кількість ймовірного браку при симетричному (а) і асиметричному (б) розташуванні поля розсіювання розмірів відносно поля допуску.

$$\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt. \quad (2.99)$$

На рис. 2.28 приведені різні варіанти розташування кривої розсіювання розмірів стосовно середини поля допуску. Величина Δ_n являє собою похибку налагодження верстата на заданий розмір. Незаштриховані площі під кривими являють собою придатні оброблені заготовки (деталі), а заштриховані площі – брак. При цьому брак ліворуч від L_{cp} (q) є поправним для отворів і непоправним для валів, а брак праворуч (q) – поправним для валів і непоправним для отворів.

Для часткового випадку (рис 2.28, а) нормований параметр розподілу: $t = \frac{L_{max} - L_{cp}}{\sigma} = \frac{X_0}{\sigma}$; $t = \frac{|L_{min} - L_{cp}|}{\sigma} = \frac{X_0}{\sigma}$.

Для загального випадку (рис. 2.28, б) нормований параметр розподілу t може бути представлений у різних варіантах:

$$t = \frac{L_{max} - L_{cp}}{\sigma} = \frac{X_B}{\sigma}; \quad t = \frac{|L_{min} - L_{cp}|}{\sigma} = \frac{X_A}{\sigma}.$$

Тоді, відсоток придатних заготовок (деталей) ліворуч і праворуч від L_{cp} буде дорівнювати відповідно:

$$A = \Phi\left(\frac{|L_{min} - L_{cp}|}{\sigma}\right) \times 100\%, \quad \text{чи} \quad A = \Phi\left(\frac{X_A}{\sigma}\right) \times 100\%;$$

$$B = \Phi\left(\frac{L_{max} - L_{cp}}{\sigma}\right) \times 100\%, \text{ чи } B = \Phi\left(\frac{X_B}{\sigma}\right) \times 100\%. \quad (2.100)$$

Відсоток браку визначається як різниця 50% і відсотка придатних заготовок (деталей) з кожної сторони від L_{cp} :

$$q_A = \left(0,5 - \Phi\left(\frac{|L_{min} - L_{cp}|}{\sigma}\right)\right) \cdot 100\%, \text{ чи } q_A = \left(0,5 - \Phi\left(\frac{X_A}{\sigma}\right)\right) \times 100\%;$$

$$q_B = \left(0,5 - \Phi\left(\frac{L_{max} - L_{cp}}{\sigma}\right)\right) \cdot 100\%, \text{ чи } q_B = \left(0,5 - \Phi\left(\frac{X_B}{\sigma}\right)\right) \times 100\%. \quad (2.101)$$

У формулах (2.101): $X_A = 0,5T + \Delta_H$; $X_B = 0,5T - \Delta_H$.

Розв'язок функції Лапласа залежить не від конкретних значень x_0 і σ , а від відношення цих параметрів.

Інтервал зміни параметра $t = x_0/\sigma$ від 0 до 3 практично охоплює весь діапазон можливих коливань функції Лапласа від 0 до 0,49865. По величині функції Лапласа судять про кількість придатних деталей у відсотках, наприклад, $\Phi(t) = 0,49865$ відповідає 49,865% придатних деталей з 50%. У табл. додатку 1 приведені результати розрахунку функції Лапласа в інтервалі зміни аргументу $t = x_0/\sigma$ від 0 до 5.

Методику розрахунку кількості бракованих деталей, засновану на використанні табульованої функції Лапласа (табл. додаток 1), розглянемо на конкретному прикладі.

Приклад: на токарно-револьверному верстаті, налагодженому на розмір, оброблялася партія валів $\varnothing 100_{-0,8}$ мм у кількості 500 штук. За результатами виміряних 75 оброблених деталей визначена емпірична величина середньоквадратичного відхилення $S = 0,02$ мм. Приймаючи, що центр групування розмірів збігається із серединою поля допуску, визначимо кількість бракованих деталей. Розрахункова схема представлена на рис. 2.28, а.

Розв'язок.

1. Приймаємо, що розподіл розмірів підкоряється закону Гауса. Систематичні похибки відсутні.

2. Визначаємо розрахункове значення середнього квадратичного відхилення σ по формулі $\sigma = pS$. Величина поправочного коефіцієнта p визначається з табл. 2.7

$$\sigma = 1,25 \cdot 0,02 = 0,025 \text{ мм.}$$

3. Поле фактичного розсіювання розмірів $\omega = 6\sigma = 6 \cdot 0,025 = 0,15$

мм перевершує поле допуску $T = 0,08$ мм. Отже, умова роботи без браку $\omega < T$ не виконуватиметься і поява браку неминуча.

4. Відповідно до розрахунку

$$x_0 = \frac{T}{2} = \frac{0,08}{2} = 0,04 \text{ мм}, \quad t = \frac{x_0}{\sigma} = \frac{0,04}{0,025} = 1,6.$$

Таблиця 2.7

n шт.	ΔS %	p	n шт.	ΔS %	p
25	42,4	1,4	200	15,0	1,15
50	30,0	1,3	300	12,2	1,12
75	25,0	1,25	400	10,6	1,11
100	21,2	1,2	500	10,0	1,10

Отриманому аргументу відповідає функція $\Phi(t) = 0,4452$ (див. табл. додатку 1). Отже, кількість готових заготовок складає 44,52%. Для всієї партії від 500 штук кількість придатних деталей складе 89,04%, чи 445 штук, а число бракованих деталей буде дорівнює 55 штук, що складає 10,96% від 100%.

Приклад. На револьверному верстаті обробляється партія деталей $\varnothing 50_{-0,1}$ мм, яка складає 500 штук. Розрахункове значення середньоквадратичного відхилення дорівнює $\sigma = 0,025$ мм, $6\sigma > T$. Брак неминучий.

Потрібно визначити кількість придатних і бракованих деталей, якщо центр групування розмірів зміщений від середини поля допуску на величину $\Delta_n = 0,02$ мм.

Розв'язок.

1. По площі А (рис. 2.28, б) визначаються значення x_a і t_A :

$$x_a = \frac{T}{2} + \Delta_n = 0,05 + 0,02 = 0,07, \quad t_A = \frac{x_a}{\sigma} = \frac{0,07}{0,025} = 2,8.$$

З табл. додатку 1 визначаємо функцію Лапласа $\Phi(t_A) = 0,4974$. Кількість придатних деталей 49,74% від 50%.

2. Визначаються значення x_b і t_B :

$$x_b = \frac{T}{2} - \Delta_n = 0,05 - 0,02 = 0,03, \quad t_B = \frac{x_b}{\sigma} = \frac{0,03}{0,025} = 1,2.$$

$\Phi(t_B) = 0,3849$, тобто 38,49% придатних заготовок.

Загальна кількість придатних заготовок: $49,74 + 38,49 = 88,23$ % чи 441 шт. Загальна кількість бракованих деталей: $0,26 + 11,51 = 11,77$ %, що складає 59 шт.

2.11.3. ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКОСТІ ЗАГОТОВОК, ЩО ВИМАГАЮТЬ ДОДАТКОВОЇ ОБРОБКИ

У ряді випадків, при виконанні термінового завдання, обробку роблять на високопродуктивних автоматах, які не завжди забезпечують умову роботи без браку $6\sigma \leq T$. Тоді при налагодженні верстатів свідомо зміщують вершину кривої розподілу по відношенню середини поля допуску з таким розрахунком, щоб весь брак заготовок можна було виправити шляхом додаткової обробки заготовок.

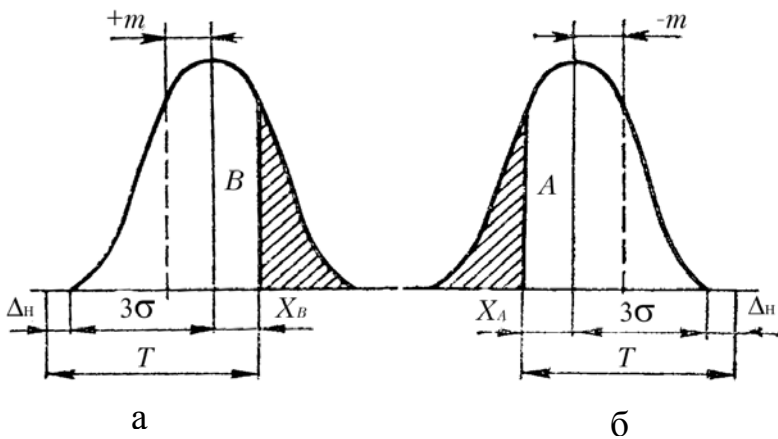


Рис. 2.29. Налаштування верстату для обробки вала (а) і отвору (б) з виправленням браку.

Кількість заготовок, що вимагають додаткової обробки (рис. 2.29, а, б), заштриховані зони аналогічно попередньому відповідають значенням X_A і X_B

$$X_A = X_B = T - 3\sigma - \Delta_n, \quad (2.102)$$

де Δ_n – допуск на налаштування верстату.

Кількість заготовок $Q_{\text{дод}}$, що вимагають доробки, визначається по формулі

$$Q_{\text{дод}} = [0,5 - \Phi(t)] \cdot 100. \quad (2.103)$$

Приклад. Визначити кількість заготовок, що вимагають додаткової обробки при $T = 0,1$ мм. $\sigma = 0,025$ мм; $\Delta_n = 0,02$ мм (рис. 2.29, а).

Розв'язок.

По формулі (2.102) $X_B = 0,1 - 3 \cdot 0,025 - 0,02 = 0,005$.

У відповідності з формулою (2.101) $t_B = 0,005/0,025 = 0,2$.

Отже $\Phi(t) = 0,0793$ (див. додаток. 1). Кількість валів, що вимагають додаткової обробки, визначається по формулі (2.103)

$$Q_{\text{дод}} = (0,5 - 0,0793) \cdot 100 = 42,07\%.$$

Наприклад, оброблювані вали повинні мати розмір діаметрів більше гранично допустимих, а діаметри отворів повинні бути менші номінального значення. При цих умовах після додаткової операції шліфування деталі можуть стати придатними.

2.11.4. СТАТИСТИЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

Під статистичним регулюванням розуміється коректування параметрів процесу в ході виробництва за допомогою вибіркового контролю продукції, що виготовляється, для забезпечення необхідної якості і попередження браку.

Для статистичного регулювання процесу застосовують метод середніх арифметичних значень і розмахів. З потоку продукції через визначений проміжок часу періодично здійснюють вибірку обсягом 3 – 10 деталей. Найчастіше обсяг вибірки приймають у 5 одиниць. Період часу між двома вибірками встановлюється дослідним шляхом. Він залежить від стабільності процесу і звичайно складає 1–2 години. Розміри деталей вибірки вимірюють, визначають середнє арифметичне значення \bar{x} і розмах варіювання R по формулах

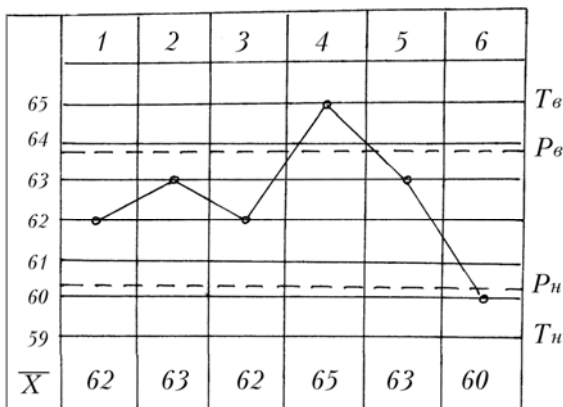


Рис. 2.30. Контрольна карта.

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i n, \quad (2.104)$$

$$R = x_{\text{найб}} - x_{\text{найм}}, \quad (2.105)$$

де x_i – результат виміру контрольованого параметра; n – число вимірів у вибірці; $x_{\text{найб}}$ і $x_{\text{найм}}$ – найбільше і найменше значення розміру деталей.

Отримані результати вимірів і розрахунків наносять на контрольну карту (рис. 2.30). Тут T_v і T_n – зовнішні границі поля чи допуску діаметра шийки під шліци $\Phi 38,65_{-0,06}$, а P_v і P_n – дві внутрішні границі, що обмежують поле попередження.

При задовільному протіканні процесу обробки середні значення \bar{x} вибірок не повинні виходити за границі регулювання P_v і P_n . Попереджувальні границі регулювання сигналізують про можливість виникнення браку.

Границі P_v і P_n визначаються за формулами

$$P_v = \bar{x} + u_p \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad P_n = \bar{x} - u_p \frac{\sigma}{\sqrt{n}}.$$

Параметр u_p залежить від величини довірчої ймовірності (табл. 2.8).

Таблиця 2.8

Довірча ймовірність	0,8	0,9	0,95	0,99	0,999
u_p	0,842	1,282	1,645	2,326	3,00

З рис. 2.30 видно, що вибірки 4 і 6 сигналізують про необхідність підналагодження верстату. Після отриманого сигналу продукція, виготовлена між двома вибірками, підлягає 100 процентному контролю.

2.12. МЕТОДИ НАЛАГОДЖЕННЯ ВЕРСТАТІВ І ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТОЧНОСТІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

Для здійснення технологічної операції необхідно здійснити налагодження верстата, тобто зробити підготовку металорізального устаткування і технологічного оснащення для забезпечення при обробці необхідної точності.

В умовах одиничного і дрібносерійного виробництва необхідна точність досягається методом спробних проходів і промірів.

У багатосерійному і масовому виробництвах необхідна точність досягається методами автоматичного отримання розмірів на верстатах, налагоджених на розмір.

Метод спробних проходів і промірів. Сутність методу полягає в тому, що до оброблюваної поверхні заготовки, встановленої на верстаті, підводять різальний інструмент і на короткій ділянці заготовки знімають спробну стружку. Після цього верстат зупиняють, роблять спробне вимірювання обробленої ділянки, визначають величину його відхилення від креслярського і вносять виправлення в положення інструмента, яке відраховують по розподілах лімба верстата. Потім знову роблять спробну обробку нової ділянки заготовки з наступним проміром отриманого розміру і при необхідності вносять нове виправлення в положення інструменту.

Таким чином, шляхом спробних ходів і промірів встановлюють правильне положення інструмента щодо заготовки, при якому забезпечується необхідний розмір. При обробці наступної заготовки всю процедуру встановлення інструмента спробними ходами і промірами повторюють.

Метод спробних ходів і промірів має наступні переваги: на неточному устаткуванні можна одержати високу точність обробки; при

обробці партії дрібних заготовок виключається вплив спрацювання ріжучого інструмента на точність; відпадає необхідність виготовлення складних дорогих пристроїв типу кондукторів, або поворотних і ділильних, тому що положення центрів отворів визначається розміткою.

Разом з тим метод спробних ходів і промірів має ряд недоліків:

- при налагодженні спробними ходами робітник не може внести в розмір виправлення менші товщини стружки, яка зрізується;
- низька продуктивність обробки через великі витрати часу на спробні ходи, проміри і розмітку;
- потрібна висока кваліфікація робітника з підвищеною оплатою праці.

При налагодженні верстатів на розмір потрібно забезпечити точність взаємного розташування різальних інструментів, кулачків, упорів, копирів і інших пристроїв, що впливають на траєкторію переміщення кромки ріжучого інструмента щодо оброблюваної деталі в процесі обробки.

На машинобудівних заводах застосовуються наступні методи налагодження верстатів: статичне налагодження, налагодження за допомогою робочого калібру і налагодження по спробних заготовках.

Статичне налагодження. Статичне налагодження полягає у встановленні різальних інструментів по еталону. Інструмент підводиться до зіткнення з поверхнею еталонної деталі чи калібру і закріплюється в цьому положенні. Для компенсації похибок, що виникають у результаті податливості пружної системи, температурних деформацій і інших факторів, еталонну деталь чи калібр виготовляють з відступами від креслення на величину деякого виправлення $\Delta_{випр}$.

Розрахунковий налагоджений розмір

$$D_n^{poz} = D_{заг} \pm \Delta_{випр}, \quad (2.106)$$

де $D_{заг}$ – розмір діаметра деталі, який повинний бути отриманий після обробки $D_{заг} = (D_{max} + D_{min}) / 2$; (D_{max} і D_{min} – найбільший і найменший граничні розміри діаметрів заготовок по кресленню); $\Delta_{випр}$ – виправлення, що враховують деформацію в пружній технологічній системі і шорсткість поверхні еталонної деталі, по якій проводиться налагодження верстата

$$\Delta_{випр} = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3, \quad (2.107)$$

де $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$ – складові виправлення, що враховують відповідно дію

сил різання, шорсткість поверхні еталону і величину зазору в підшипниках шпиндельного вузла

$$\Delta_1 = \frac{F_y}{k}$$
$$\Delta_2 = R_z, \quad (2.108)$$

де R_z – висота нерівностей, мкм.

Для токарних верстатів звичайної точності $\Delta_3 = 0,04$ мм, для токарних верстатів підвищеної точності $\Delta_3 = 0,02$ мм.

Налагодження верстатів по еталону не враховує реальних умов обробки, тому вона застосовується в тих випадках, коли необхідна точність оброблюваних деталей не вище 8–9 квалітетів. У тих випадках, коли точність оброблюваних деталей нижча 8–7 квалітетів точності, статичне налагодження доповнюється динамічним налагодженням.

До числа переваг статичного налагодження верстатів варто віднести можливість налагодження інструментальних блоків по еталону поза верстатом.

Налагодження за допомогою робочого калібру. Налагодження верстатів по робочому калібрі здійснюється в наступній послідовності:

1. Верстат налагоджується по еталону.
2. На налагодженому верстаті проводиться обробка декількох деталей з наступним контролем по робочому калібру отриманих результатів.
3. Якщо розміри деталей знаходяться в межах допуску робочого калібру (прохідний – непрохідний), то налагодження вважається правильним і дозволяється обробка всієї партії заготовок.

Однак такий підхід до оцінки правильності налагодження верстатів не можна вважати задовільним, тому що навіть у найбільш сприятливому випадку, коли допуск на обробку значно більший поля розсіювання, не можна гарантувати, що значна частина заготовок партії не вийде за межі встановленого допуску. Крива розсіювання розмірів може займати всередині поля допуску різні положення, а по робочому калібру не можна визначити, якій ділянці поля розсіювання вона відповідає. Наприклад, точки А і В (рис. 2.31) можуть належати кривим 1 і 2, розташування яких виключає ймовірність поява браку, але ці ж точки в однаковій мірі можуть належати кривим 1а і 2а, що у значній частині виходять за межі допуску.

При збільшенні числа спробних деталей ймовірність появи бра-

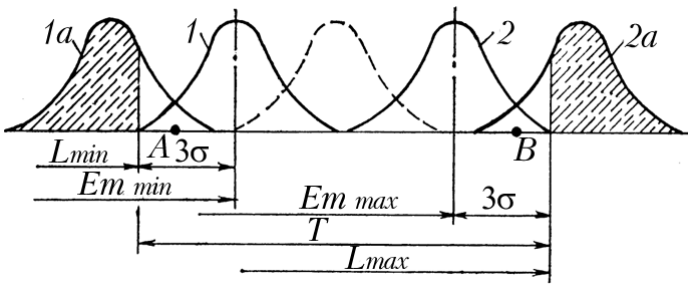


Рис. 2.31. Можливі положення кривих розподілу розмірів відносно поля допуску при $6\sigma < T$. (рис. 2.31, штрихова крива).

Методом налагодження верстата по робочих калібрах забезпечити сполучення центра групування розмірів із серединою поля допуску не можна. Цю задачу можна вирішити при використанні методу налагодження верстата по спробних заготовках.

Налагодження верстата по спробних заготовках. Сутність методу налагодження верстата по спробних заготовках полягає в тому, що встановлення ріжучого інструменту виконується на L_H розмір (рис. 2.32), а правильність налагодження оцінюється по деякій кількості оброблених спробних заготовок m . Налагодження вважається правильним, якщо середнє арифметичне значення розмірів спробних заготовок знаходиться в межах деякого допуску на налагодження T_H .

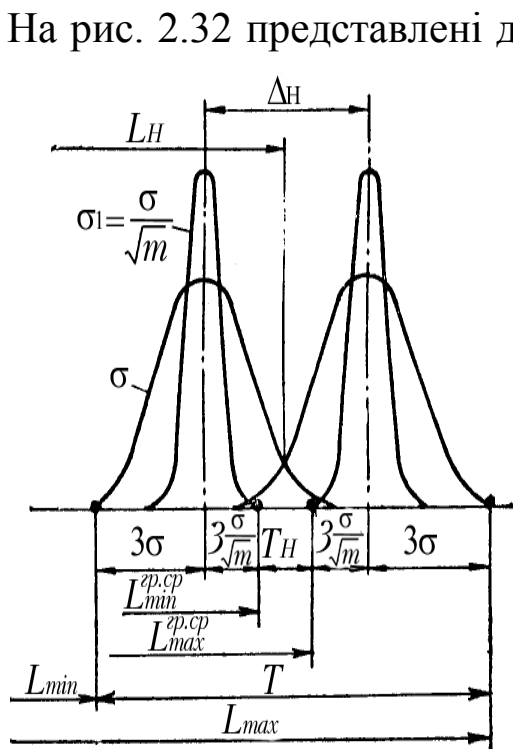


Рис. 2.32. Налагодження верстату, що виключає появу браку.

ку знижується, але небезпека його появи не усувається.

Для того, щоб виключити небезпеку появи браку, необхідно виконати умову $6\sigma < T$, а також за допомогою налагодження центра групування розмірів із серединою поля допуску

середньоквадратичне відхилення σ і дві криві розсіювання групових середньоарифметичних величин, що мають середньоквадратичне відхилення

$\sigma' = \frac{\sigma}{\sqrt{m}}$, де m – кількість деталей у групі.

Криві розсіювання розмірів і криві групових середньоарифметичних величин мають однакове положення координат центрів групування розмірів. На верстаті, налагодженому по спробних заготовках, брак буде виключений за умови, коли мінімальний розмір групових середніх спробних заготовок буде відповідати наступній умові

$$L_{min}^{cp} \geq L_{min} + 3\sigma + 3\sigma / \sqrt{m}.$$

Аналогічно сказаному

$$L_{max}^{cp} \leq L_{max} - 3\sigma - 3\sigma / \sqrt{m}.$$

Різниця граничних значень групових середніх розмірів визначає величину допуску на налагодження, тобто $T_H = L_{max}^{cp} - L_{min}^{cp}$. З розрахункової схеми (рис. 2.32) допуск на налагодження T_H виражається формулою

$$T_H = T - 6\sigma \cdot (1 + 1/\sqrt{m}). \quad (2.109)$$

Допуск на налагодження, як видно з (2.109), залежить від загального допуску на виготовлення партії заготовок T і від кількості спробних заготовок m . Із збільшенням числа спробних заготовок m розширюється допуск на налагодження T_H . Налагоджений розмір L_H визначається за формулою

$$L_H = \frac{L_{min} + L_{max}}{2} \pm 0,5T_H. \quad (2.110)$$

Налагодження верстата здійснюється в наступній послідовності:

1. Верстат налагоджується по еталону.
2. Проводиться обробка спробних деталей у кількості m штук. Величина спробних деталей коливається від 4 до 8 деталей.
3. Визначається середньоарифметичне значення розмірів оброблених деталей.

4. Якщо середньоарифметична величина розміру $L_H = \frac{\sum L_i}{m}$ знаходиться в межах допуску на налагодження T_H , то налагодження вважається правильним. При такому налагодженні центри групування розмірів оброблюваних деталей і розмірів групових середньоарифметичних величин знаходяться в області середини поля допуску на виготовлення деталі. Якщо середньоарифметична величина розмірів m виходить за межі допуску на налагодження T_H , необхідно здійснити додаткове підналагодження.

Налагодження верстатів забезпечує автоматичне одержання розмірів на налагоджених верстатах. Відповідальність за забезпечення потрібної точності обробки несе не робочий оператор, а настройщик, що робить налагодження верстата, а також технолог, який визначає технологічні бази і розміри заготовки.

До переваг методів налагодження верстатів на розмір відносять:

підвищення точності обробки і зниження браку; збільшення продуктивності обробки за рахунок усунення втрат часу на попередню розмітку заготовки і здійснення спробних ходів і промірів; раціональне використання робітників високої і низької кваліфікації: висококваліфіковані робітники виконують налагодження верстатів, а учні і малокваліфіковані робочі оператори виконують роботу на налагоджених верстатах.

Похибки налагодження верстатів. Похибка налагодження верстата Δ_n є випадковою величиною, що залежить від впливу похибок регулювання $\omega_{рег}$, положення ріжучого інструменту щодо вузлів верстата і від похибок $\omega_{вим}$ виміру спробних заготовок. Сумарна похибка налагодження визначається виразом

$$\Delta_n = \omega_n = 1,2\sqrt{\omega_{рег}^2 + \omega_{вим}^2}. \quad (2.111)$$

При налагодженні верстата по спробних заготовках за допомогою універсального вимірювального інструмента на похибку налагодження впливає величина зміщення центра групування групових середніх, котра визначається по формулі [23]

$$\omega_{зміщ} = \omega_m / \sqrt{m},$$

де ω_m – величина поля розсіювання розмірів, що складає: для револьверних верстатів – 0,016 – 0,039 мм; токарних – 0,013 – 0,036 мм; круглошліфувальних – 0,004 – 0,017 мм.

З досліджень А. А. Маталіна відомо, що поле розсіювання, пов'язане із закріпленням деталі $\omega_з$, складає: у лещатах – 0,05 – 0,2 мм; прихватами – 0,01 – 0,2 мм; у патроні – 0,04 – 0,1 мм. Похибка пристосування $\omega_{пр} = 0,005 \div 0,02$ мм; похибка регулювання $\omega_{рег}$ при встановленні по лімбу чи по індикатору – 0,01–0,06 мм; по твердому упорі – 0,04 – 0,10 мм.

Для зменшення похибки налагодження необхідно скорочувати похибку вимірювання $\omega_{вим}$ спробних заготовок за рахунок використання більш точного вимірювального інструменту і похибка регулювання $\omega_{рег}$ за рахунок використання більш точних установчих пристроїв і вдосконалення конструкції механізмів переміщення і відлікових лімбів верстата.

Точність обробки значною мірою залежить від податливості пружної системи, температурних деформацій, похибок кінематики, налагодження верстатів і точної орієнтації деталі на пристрої. Взаємна орієнтація деталі в пристрої називається базуванням.

РОЗДІЛ 3

БАЗУВАННЯ І БАЗИ У МАШИНОБУДУВАННІ

3.1. БАЗУВАННЯ І ЗАКРІПЛЕННЯ ЗАГОТОВОК

Задачі взаємної орієнтації деталей і складальних одиниць у машинах при складанні розв'язуються за допомогою базування.

Базуванням називається надання заготовці чи виробу необхідного положення щодо обраної системи координат (ГОСТ 21495 - 76).

Для виконання технологічної операції потрібно не тільки здійснювати базування заготовки щодо пристрою, але й забезпечити її нерухомість, що гарантує збереження незмінної орієнтації заготовки щодо баз у процесі обробки. Отже, при встановленні заготовки в пристрої розв'язуються дві задачі: орієнтація, здійснювана базуванням, і нерухомість, що досягається закріпленням заготовок.

Незважаючи на розходження задач, вони розв'язуються практично однаковим шляхом: накладанням певних обмежень (зв'язків). Щоб виключити можливість переміщення твердого тіла в просторі, необхідно позбавити його шести ступенів вільності: трьох поступальних рухів вздовж осей координат і трьох обертальних рухів навколо цих осей. Це досягається накладанням зв'язків, що обмежують рух заготовок щодо базуючих поверхонь пристрою. Відповідно до характеру обмежень розрізняють позиційні (геометричні) і кінематичні зв'язки, що обмежують переміщення і швидкості руху відповідно. Щоб зорієнтувати призматичне тіло (рис. 3.1) в просторі, необхідно його з'єднати з плоскою прямокутною системою координат XOY недеформованими стержнями (зв'язками) a_1, a_2, a_3 , зберігаючи при цьому можливість переміщення призматичного тіла вздовж осей OX і OY . В результаті призматичне тіло позбавляється трьох ступенів вільності: руху вздовж осі OZ й обертального руху навколо осей OX і OY . Для позбавлення тіла можливості переміщатися вздовж осі OX і повороту навколо осі OZ необхідно з'єднати бічну поверхню двома

зв'язками з площиною YOZ . Для повної орієнтації тіла необхідно позбавити його шостого ступеня вільності, тобто можливості переміщення уздовж осі OY . Для цього поверхню необхідно з'єднати одним зв'язком із площиною XOZ .

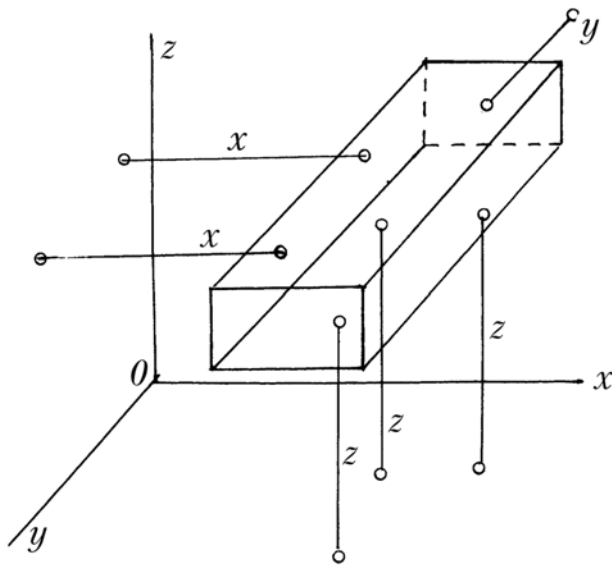


Рис. 3.1. Орієнтування призматичного тіла в просторі.

Поверхні заготовок, які використовуються при базуванні, називають базами. У залежності від числа ступенів вільності, що відбираються в призматичній заготовці, розрізняють установчу базу, що знаходиться в контакті з трьома опорними точками (зв'язками), які направляють базу, що знаходиться в контакті з двома опорними точками (зв'язками), і упорну базу, що має контакт з однією опорною точкою (рис. 3.1). За установчу

базу приймають поверхню з найбільшими розмірами, у якості направляючої – саму довгу поверхню.

Для орієнтації циліндричного вала ($l > d$) в просторі необхідно циліндричну поверхню з'єднати двома двосторонніми зв'язками – координатами Z з площиною XOY і двома зв'язками – координатами X з площиною YOZ (рис. 3.2).

База, що має чотири опорні точки, називається подвійною направляючою базою. П'ята опорна точка розташовується на торці вала і називається опорною базою. Шпонкова канавка є шостою опорною точкою.

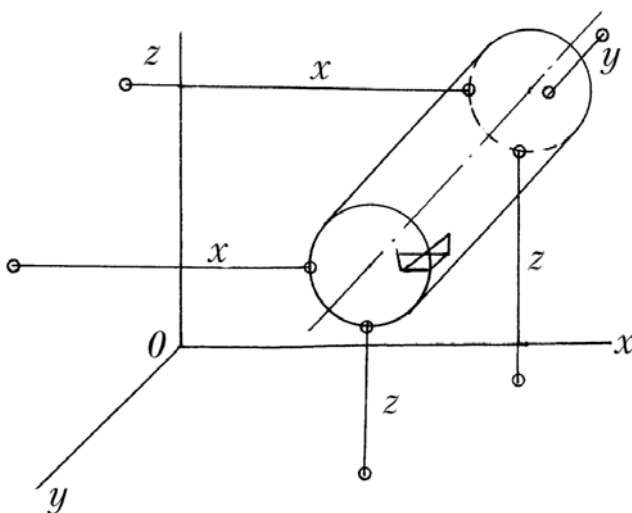


Рис. 3.2. Орієнтування циліндричного тіла в просторі.

При обробці заготовок на верстатах і їхньому встановленні в пристрої в багатьох випадках немає необхідності в орієнтації заготовки з використанням усього

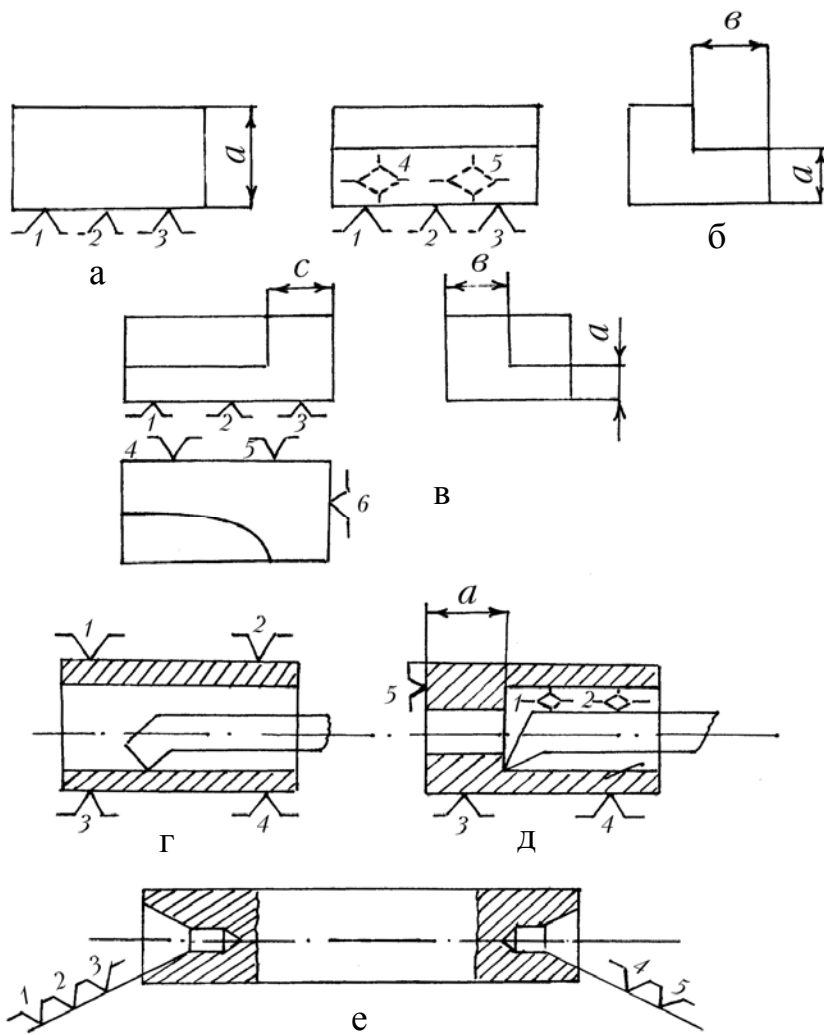


Рис. 3.3. Теоретичні схеми базування від однієї (а, г), двох (б, д, е) і трьох (в) баз.

потрібно забезпечити одержання трьох розмірів (наприклад, a, b, c , рис. 3.3, в), то для орієнтації заготовки необхідно використовувати весь комплект із трьох баз.

При наскрізному свердлінні чи розточуванні отвору заготовки, закріпленої в патроні верстата, використовується тільки одна подвійна направляюча база (рис. 3.3, г).

При розточуванні східчастого отвору коли потрібно забезпечити лінійний розмір a , необхідне використання двох баз: подвійної направляючої і опорної (рис. 3.3, д).

При встановленні вала в центрах верстата базування здійснюється по двох центрових отворах.

Передній центр відбирає три ступені вільності, а задній дві (рис. 3.3, е). Шостий ступінь вільності передбачає можливість обертання шпинделя навколо власної осі. Вона необхідна для здійснення обробки.

Слід зазначити, що хомутик, призначений для передачі оберто-

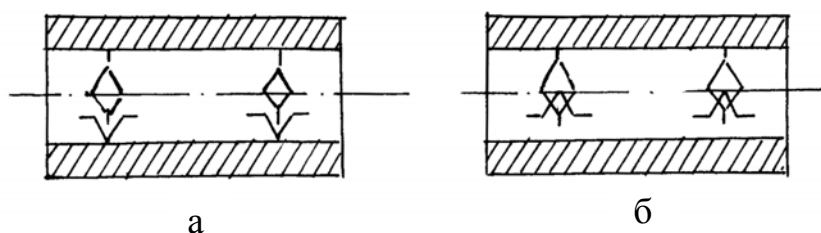
комплекту баз, що контактують із шістьма опорними точками. Наприклад, при обробці площини призматичної заготовки (рис. 3.3, а) потрібно забезпечити одержання розміру a . Тут необхідне орієнтування здійснюється тільки однією установчою базою.

Якщо на заготовці потрібно одержати два розміри (наприклад, a і b) (рис. 3.3, б), то виникає необхідність її орієнтації за допомогою установчої і направляючої баз. Якщо на заготовці

вого моменту, оброблюваної деталі, не є шостою опорною точкою, тому що він не бере участь у базуванні, тобто не орієнтує положення заготовки.

Таким чином, у залежності від розв'язку технологічної задачі при базуванні заготовки на верстаті чи пристрої можуть бути використані одна, дві чи три бази, що мають три, чотири, п'ять чи шість опорних точок. При проектуванні технологічних операцій на операційному ескізі зображується так названа "теоретична схема базування". Теоретична схема базування являє собою схему розташування на технологічних базах опорних точок, що символізують позиційні зв'язки заготовки із системою координат. Теоретична схема базування служить визначеною схемою-інструкцією конструктору на розробку пристрою.

Наприклад, зображена схема базування втулки (рис. 3.4, а) дозволяє обробку на твердій циліндричній оправці, а схема базування –



(рис. 3.4, б) на розтискній цанговій оправці чи з застосуванням гідропласмаси (беззазорне центрування).

Рис. 3.4. Теоретичні схеми базування втулки на твердій (а) і розтискній (б) оправках.

На операційних ескізах зображення декількох однойменних опорних точок

може бути замінено одним символом із вказівкою праворуч від нього кількості однойменних опор.

Комплект базових поверхонь заготовки з опорними точками забезпечується створенням необхідних затискних пристроїв. Закріплення позбавляє заготовку всіх шести ступенів вільності і ґрунтується на використанні фрикційних зв'язків, реалізованих у затискних пристроях з різноманітними джерелами прикладання сили (механічні, гідравлічні, пневматичні, магнітні, вакуумні і т.п.).

3.2. ВИДИ БАЗ

Базою називається поверхня, лінія чи точка деталі, стосовно якої орієнтуються інші деталі чи інші поверхні даної заготовки при проектуванні, складанні чи механічній обробці. За призначенням бази підділяються на конструкторські, вимірювальні і технологічні.

Конструкторською базою називається база, яка використовується для визначення положення деталі чи складальної одиниці у виробі (ГОСТ 21495 - 76). Конструкторські бази підрозділяються на основні і допоміжні. Основною називається конструкторська база, що належить даній деталі чи складальній одиниці, яка використовується для визначення її положення у виробі. Допоміжною називається конструкторська база, що використовується для приєднання до неї інших деталей чи вузлів (ГОСТ 21495 – 76).

Наприклад, на рис. 3.5 представлений східчастий вал, що має дві шийки під підшипники (А) і шийку для встановлення зубчастого колеса (А'). Основною конструкторською базою тут є дві шийки під підшипники (А), тому що вони визначають положення вала в корпусі. Допоміжною конструкторською базою є шийка під зубчасте колесо.

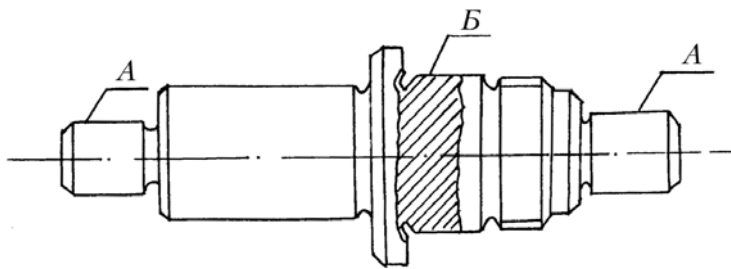


Рис. 3.5. Конструкторські бази: основна (А) і допоміжна (Б).

Вона визначає положення на валу зубчастого колеса.

Вимірювальною базою називається поверхня, лінія чи точки, від якої проводиться відлік виконуваних розмірів при обробці чи вимірюванні,

а також при перевірці взаємного розташування поверхонь деталей (паралельність, співвісність, перпендикулярність і ін.)

Технологічна база – це база, як використовується для визначення положення заготовки в процесі виготовлення чи ремонту.

Базування застосовується на всіх стадіях створення виробів: при конструюванні, виготовленні, вимірюванні і складанні машини. Схематично класифікацію баз можна представити у виді наступної схеми (рис. 3.6).

Якщо конфігурація заготовок не дає можливості вибрати технологічну базу, що дозволяє зручно і надійно орієнтувати і закріплювати заготовку в пристрої, то прибігають до створення штучних технологічних баз. До категорії штучних технологічних баз відносяться такі технологічні бази, які з метою підвищення точності базування оброблюваної заготовки в пристрої попередньо обробляються з більш високою точністю, чим це потрібно для готового виробу за кресленням.

Типовим прикладом штучних технологічних баз є центрові

отвори, що використовуються для встановлення валів на верстаті. Якщо центрові отвори є конструктивно необхідними для роботи елементів вузла, то в цьому випадку вони не є штучними базами. Якщо за умовами експлуатації вала центрові отвори неприпустимі, то після обробки вала їх зрізують.



Рис. 3.6. Класифікація баз.

При обробці деталей складнофасонної форми, наприклад, газотурбінних лопаток, як технологічні бази використовують спеціально створені приливи, що після механічної обробки пера лопатки відрізаються. Наявність шести опорних точок в пристрої дозволяє зорієнтувати заготовку в просторі. Однак при встановленні деталей малої твердості з великими розмірами базування по шести точках не забезпечує необхідну точність обробки. У цих випадках технолог використовує додаткові опорні поверхні. Причому додаткові опорні поверхні можуть бути природними, тобто отриманими в процесі обробки відповідно до вимог креслення, і штучними, створеними спеціально для її встановлення і закріплення.

Як приклад можна привести обробку на токарному верстаті довгих валів. Для запобігання прогину вала застосовують спеціальні люнети для підтримки.

По ходу технологічного процесу технологічні бази розділяються

на чорнові (попередні), проміжні й остаточні. Чорнові бази використовують на перших операціях обробки. Вони служать для створення проміжних технологічних баз, а часто й остаточних. При обробці деталей на автоматичних лініях у пристроях - супутниках, на верстатах ЧПК, багатоопераційних верстатах вся обробка може бути закінчена при одному встановленні заготовки.

Чорнова технологічна база може бути використана тільки для одного встановлення. Повторне її використання порушує взаємне розташування оброблюваних поверхонь. Як чорнову базу рекомендується вибирати чорні поверхні, тобто поверхні, які після завершення обробки залишаються не обробленими.

3.3. ПРИНЦИП СПОЛУЧЕННЯ БАЗ

3.3.1. ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ ПРО СПОЛУЧЕННЯ БАЗ

Точність обробки поверхні деталі поділяється на ту, що забезпечується методом обробки, і точність розташування оброблюваної поверхні щодо інших поверхонь. Поняття про точність положення поверхні існує тільки за умови наявності елемента, щодо якого розглядається це положення. Елементи, що грають таку роль, називаються базами. Відповідно до цього точність розташування оброблюваної

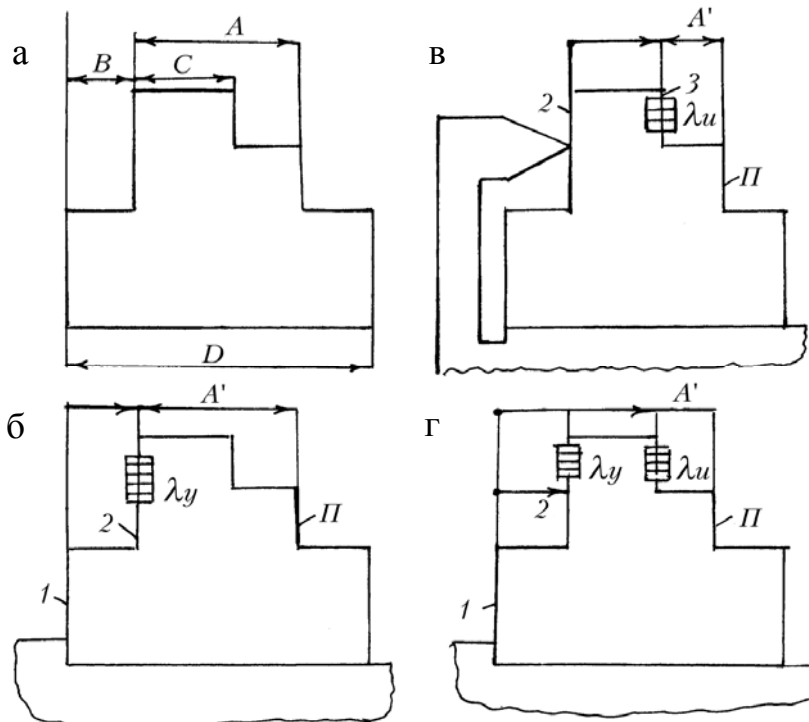


Рис. 3.7. Різні схеми базування деталі.

поверхні залежить від точності розміру, що зв'язує її з базою.

Принцип сполучення баз полягає у використанні вихідної поверхні деталі в якості конструкторської, вимірювальної і установчої бази. Можливість сполучення баз залежить насамперед від взаємної координації розмірів поверхонь на кресленні деталі.

Для технолога

конструкторська база є заданою, тому що він виконує вимоги креслення. Для нього принцип сполучення баз полягає в тому, щоб при розробці технологічного процесу передбачити використання як технологічної бази (установочної і вимірювальної) конструкторську базу. Із зіставлення креслення деталі і різних схем базування (рис. 3.7) наочно видно, що вибір технологічних баз визначає виникнення похибок. Наприклад, на кресленні деталі всі розміри мають той самий допуск $T = 0,1$ мм ($TA = TB = TC = EB = 0,1$ мм) (рис. 3.7, а). Потрібно обробити поверхню Π , виконуючи креслярський розмір $A^{+0,1}$. Технологічні ескізи обробки поверхні Π при різних схемах базування представлені на рис. 3.7, б, в, г.

Варіант обробки 1. Вихідний технологічний розмір A' сполучений з конструкторським розміром A (рис. 3.7, б). Установча база (площина 1) не збігається з конструкторською базою 2. Несполучення конструкторської і установчої баз викликає появу похибки λ_y (λ_y – похибка від не сполучення конструкторської і настановчої баз). При такій схемі базування допуск на вихідний технологічний розмір визначається з виразу

$$TA' = TA - \lambda_y.$$

З технологічного ескізу (рис. 3.7, б) видно, що вихідний технологічний розмір A' , що координує оброблювану поверхню Π , поставлений від плаваючої бази 2. Діапазон коливання плаваючої бази дорівнює допуску на розмір B ($\lambda_y = TB = 0,1$ мм).

Отже, допуск на технологічний розмір TA' дорівнює нулю

$$TA' = TA - TB = 0,1 - 0,1 = 0.$$

Щоб мати реальну можливість обробки поверхні Π при даній схемі базування треба зробити жорсткість допуску на розмір B . Забезпечуючи точність виготовлення розміру B в межах $TB = 0,05$ мм, одержимо

$$TA' = TA - \lambda_y = 0,1 - 0,05 = 0,05 \text{ мм.}$$

Варіант обробки 2. На рис. 3.7, в показаний технологічний ескіз обробки поверхні Π . Тут як установчу базу прийнята поверхня 2, а як вимірювальна база – поверхня 3. У даному варіанті обробки установча база сполучена з конструкторською, але порушений принцип сполучення конструкторської і вимірювальної баз.

Вихідний технологічний розмір A' поставлений від плаваючої бази 3. Діапазон плаваючої бази дорівнює допуску на C розмір

$$TA' = TA - \lambda_N = TA - TC = 0,1 - 0,1 = 0.$$

Якщо не посилити допуск на розмір C , то проводити обробку поверхні Π при даній схемі базування не можливе. Приймаючи $TC=0,05$, одержимо

$$TA' = TA - \lambda_N = 0,1 - 0,05 = 0,05.$$

Варіант обробки 3. На рис. 3.7, г показаний технологічний ескіз обробки поверхні Π . Тут за установчу базу прийнята поверхня 1, а в якості вимірювальної – поверхня 3.

У даному варіанті обробки жодна з технологічних баз (установча і вимірювальна) несполучені з конструкторською базою. При такій схемі базування допуск на вихідний технологічний розмір визначається з виразу

$$TA' = TA - \lambda_y - \lambda_N.$$

Забезпечуючи жорсткість допусків на розміри B і C , одержимо

$$TA' = TA - TB - TC = 0,1 - 0,03 - 0,03 = 0,04 \text{ мм.}$$

Висновок: порушення принципу сполучення баз викликає неминучу появу похибок. Для усунення похибок потрібно провести жорсткість допусків розмірів деталі, виконуваних на попередніх операціях.

На практиці не буває причин, що виправдовують несполучення всіх баз. Несполучення якої-небудь однієї з технологічних баз з конструкторською треба розцінювати як грубу технологічну помилку, якщо відсутні які-небудь виняткові міркування.

3.3.2. ВПЛИВ ПРИНЦИПУ СПОЛУЧЕННЯ БАЗ НА ПОСЛІДОВНІСТЬ ОБРОБКИ ПОВЕРХОНЬ

Забезпечення принципу сполучення баз на всіх операціях технологічного процесу вимагає строгої послідовності виконання операцій і погодженості з координацією розмірів на кресленні деталей. Це впливає з наступних міркувань.

1. Кожна з двох поверхонь, пов'язаних на кресленні деталі розміром, є вимірювальною базою стосовно іншої. Отже, при обробці однієї з них роль вимірювальної і установчої баз повинна виконувати інша. (Принцип сполучення баз забезпечений).

2. Поверхня, вже оброблена на даному етапі, має точність більшу, ніж кожна з необроблених. Отже, саме вона повинна служити вимірювальною і установчою базою на наступній операції.

Але, відповідно до положення 1, у цій наступній операції повинна бути оброблена не будь-яка поверхня, а саме та, з якою оброблена поверхня безпосередньо пов'язана розміром на кресленні (рис. 3.8).

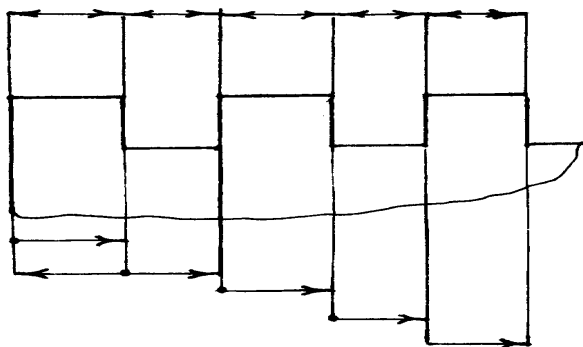


Рис. 3.8. Координація поверхонь на кресленні і необхідна послідовність обробки.

інші поверхні.

На рис. 3.10 представлені два варіанти однієї і тієї ж деталі з різною координацією поверхонь. Нижче представлені операційні ескізи технологічних процесів, що забезпечують на всіх операціях принцип сполучення баз.

З позиції технології виготовлення, навпаки, найбільш технологічним вважається варіант *A*. Він має меншу кількість операцій і більш прості конструкції пристроїв для обробки.

На операціях 3 і 4 (варіант *B*) виникають великі труднощі з встановленням і закріпленням деталі, що знаходиться в підвішеному стані.

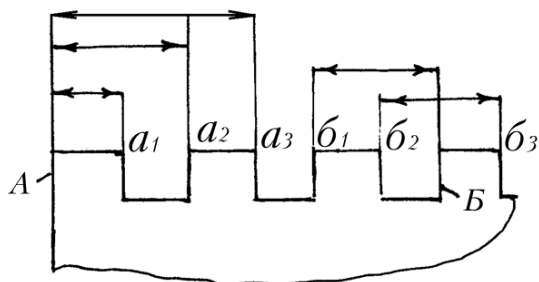


Рис. 3.9. Поверхня *A* повинна бути оброблена раніше, ніж поверхні a_1 , a_2 , a_3 , а поверхня *B* – раніше, ніж b_1 , b_2 і b_3 .

3. Третьою за рахунком може оброблятися лише та поверхня, що пов'язана розміром з однією з двох вже оброблених. Якщо одна з поверхонь деталі безпосередньо пов'язана розмірами з декількома іншими поверхнями (наприклад, *A* на рис. 3.9), то в першу чергу повинна бути оброблена ця поверхня, а від неї повинні оброблятися всі

Виникають також труднощі із проектуванням конструкції пристрою. Сила ваги спрямована вбік, протилежно зусиллю затиску, що неприпустимо при проектуванні пристроїв. Зазначені недоліки не дозволяють реалізувати на практиці технологічний процес згідно варіанту *B*. У цьому випадку технолог повинний відмовитися від принципу сполучення баз.

Розглянутий приклад вказує на роль і значення способу координації розмірів на кресленні. Варто помітити, що конструктор при проектуванні розмірів у першу чергу вирішує свої задачі, що у ряді випадків не збігаються з задачами, розв'язуваними технологом. З огляду на розходження вимог, пропонованих до конструкторських і технологічних баз, технолог при розробці технологічного процесу в ряді випадків змушений відмовитися від принципу сполучення баз. До числа

причин, що змушують технолога відмовитися від принципу сполучення баз, відносяться:

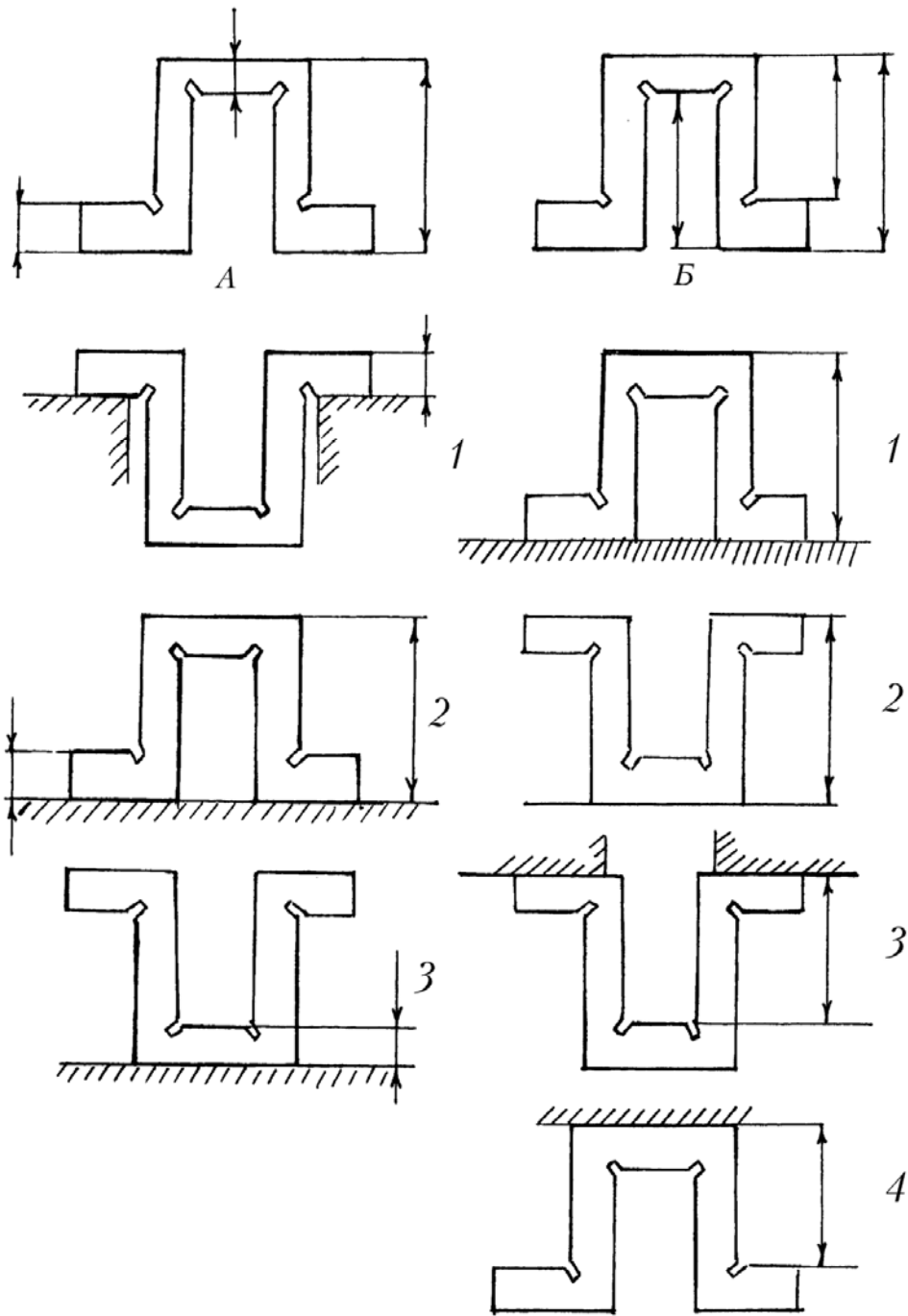


Рис. 3.10. Два варіанти координації розмірів деталі і технологічних процесів обробки.

1. Непридатність конструкторської бази для ролі установчої бази.
2. Непридатність конструкторської бази для ролі вимірювальної бази.

Один із прикладів показаний на рис. 3.11. Сполучення установчої бази з конструкторською буде при установці деталі за схемою (б).

Однак, конструкторська база *К* мало придатна для використання

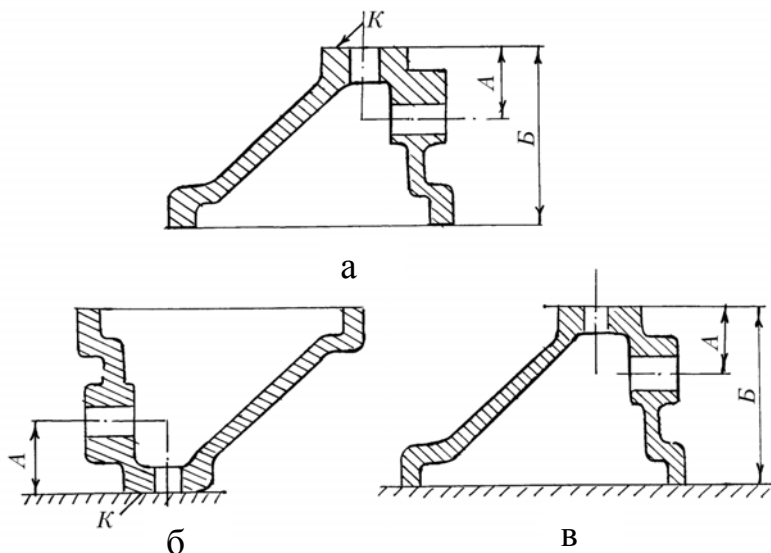


Рис. 3.11. Два варіанти базування при обробці отворів.

баз потрібно використовувати як установчу базу ту поверхню, що найбільше точно розташована щодо конструкторської бази і, вибравши її, забезпечити принцип постійності баз.

3.4. ПРИНЦИП ПОСТІЙНОСТІ БАЗ

Принцип постійності баз полягає в тому, що обробку всіх поверхонь деталі виконують від однієї і тієї ж (постійної) установчої бази. Розглянуте правило враховує закономірність виникнення похибок в умовах несполучення баз.

При обробці двох будь-яких поверхонь від різних установчих баз виникає похибка, що дорівнює допуску на розмір і зв'язує відстань між установчими базами. До принципу постійності установчої

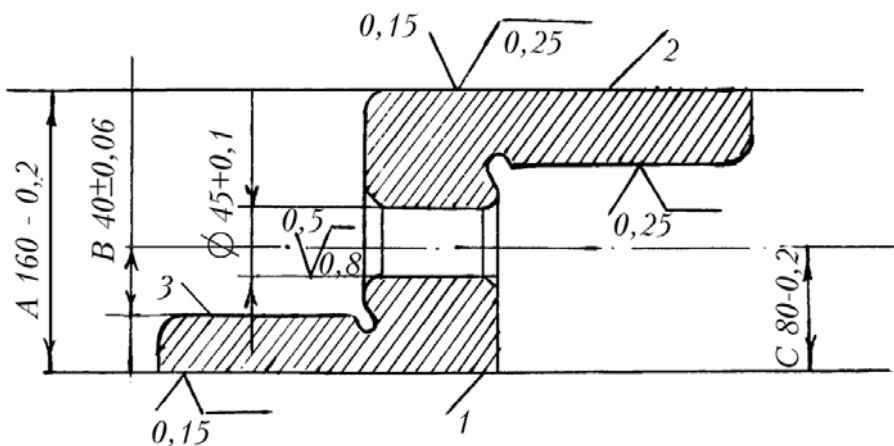


Рис. 3.12. Креслення деталі.

її як установчої бази (стійкість деталі виходить недостатньою). Відмова від сполучення установчої бази з конструкторською (схема в) дозволяє спростити конструкцію пристрою і забезпечити стійкість деталі при обробці. Однак при цьому виникає похибка, що вимагає жорсткості розміру B .

Після відмови від принципу сполучення

базі прибігають у тому випадку, коли виявляється неможливість сполучити бази на багатьох операціях технологічного процесу.

Конструктор при розробці робочих креслень ви-

рішує задачі, пов'язані з забезпеченням нормального функціонування вузлів у виробі. Технолог при розробці технологічних процесів вирішує свої задачі, пов'язані з надійним встановленням деталей при обробці.

При рішенні цих задач часто не забезпечується принцип єдності баз. У цих випадках технолог, відмовившись реалізувати принцип єдності баз, забезпечує принцип їхньої постійності.

На рис. 3.12 показане креслення деталі. Потрібно забезпечити від площадки 3 до осі отвору $\varnothing 45^{+0,1}$, розмір $40^{+0,06}_{-0,06}$ мм..

При виконанні даного розміру забезпечити принцип єдності баз неможливо. Обробка поверхні 3 може здійснюватися тільки від поверхні 1, а обробка отвору $\varnothing 45^{+0,1}$ в рівній мірі може здійснюватися від поверхонь 1 і 2. Розглянемо можливі варіанти обробки. Перший – обробка поверхні 3 і отвору $\varnothing 45^{+0,1}$ здійснюється від постійної настановчої бази 1. Цей варіант відповідає принципу постійності баз.

Другий варіант – обробка поверхні 3 здійснюється від поверхні 1,

а обробка отвору $\varnothing 45^{+0,1}$ – від поверхні 2. Тут принцип постійності баз порушений.

На рис. 3.13 показані технологічні ескізи обробки зазначених поверхонь і приведені розміри ланцюги. Порушення принципу єдності баз вимагає жорсткості технологічних розмірів.

У першому варіанті обробки (рис. 3.13, а) технологічні розміри з жорсткими допусками поставлені від однієї установчої бази

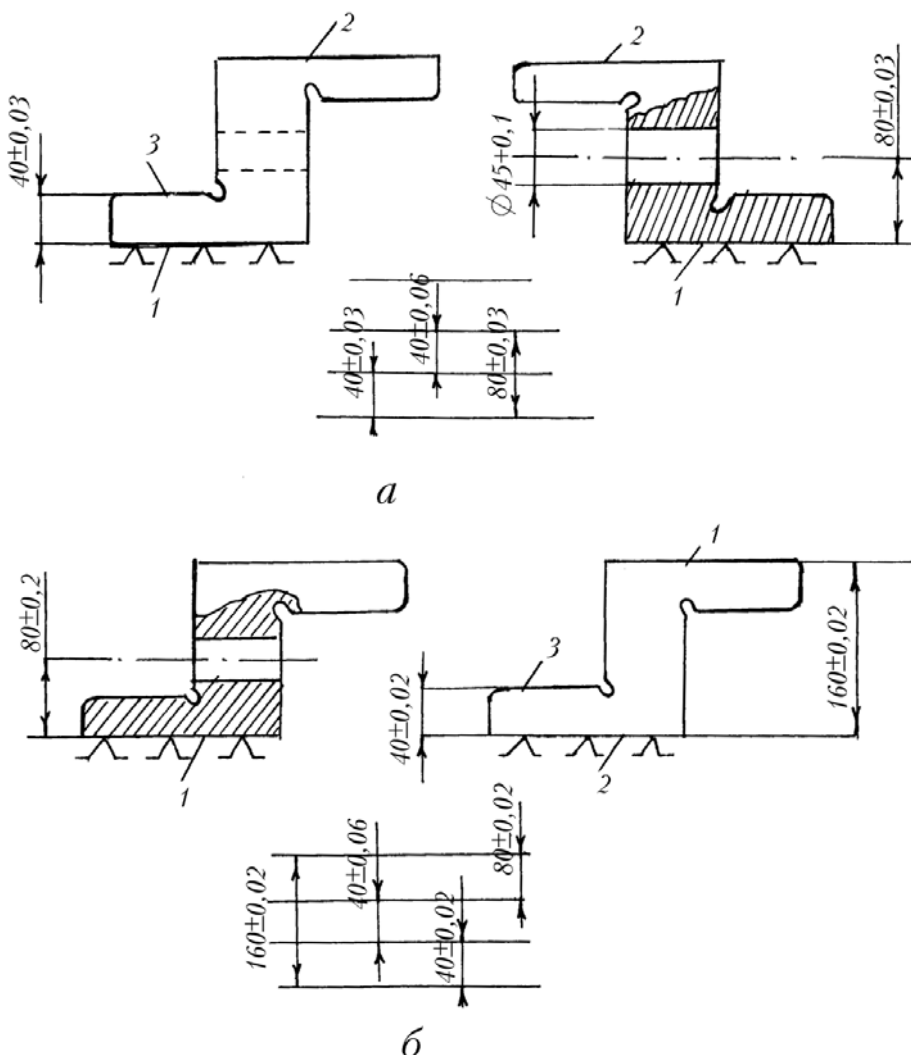
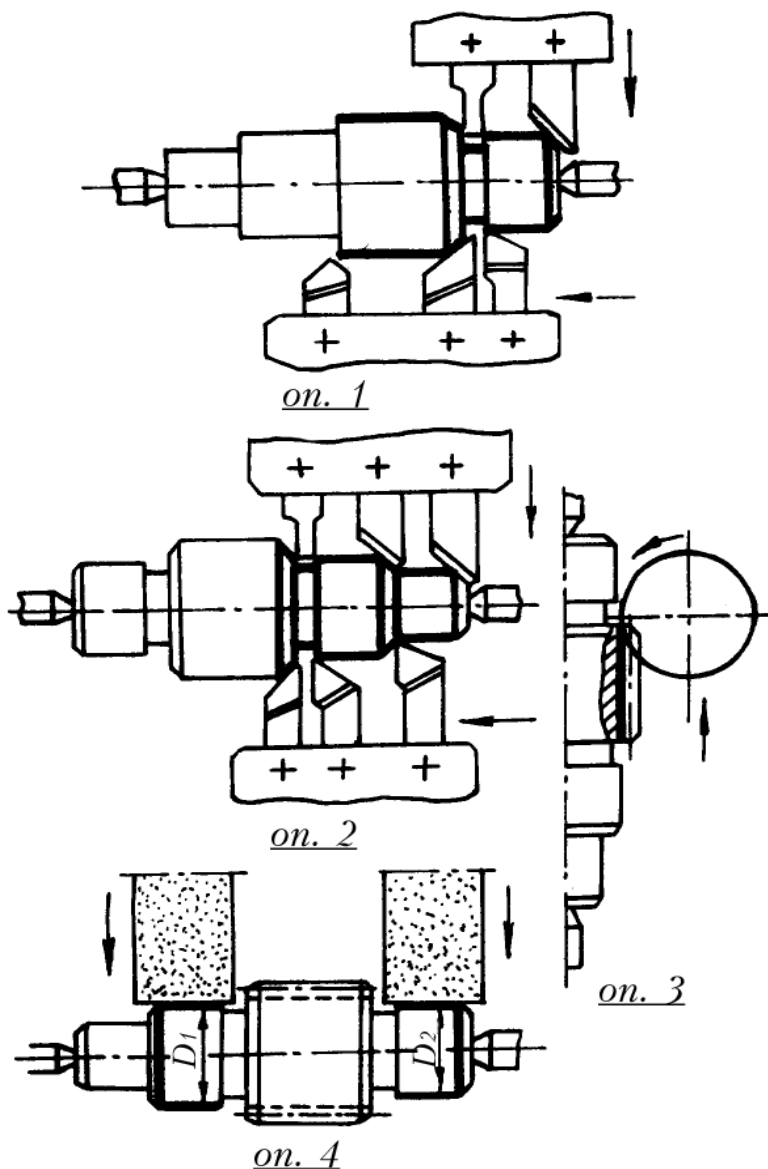


Рис. 3.13. Два варіанти технологічних процесів.

(поверхня 1). При такій схемі базування точність замикаючої ланки знаходиться в межах заданого допуску $40_{-0,06}^{+0,06}$ мм..

Обробка отвору і фрезерування площі 3 від різних установчих баз викликає додаткову похибку. У технологічний розмірний ланцюг у даному варіанті входить розмір $160_{-0,02}$. Для забезпечення точності замикаючої ланки $40_{-0,06}^{+0,06}$ мм розміри 160, 80 і 40 повинні бути виготовлені з допусками, жорсткішими за $\pm 0,02$ мм (рис. 3.13,б).



Принцип постійності установчої бази виправдовує себе за умови, якщо ця постійна база має похибку встановлення деталі, близьку до нуля. Крім того, постійна база повинна бути придатна для встановлення деталі на різних операціях. Якщо на деталі такої поверхні немає, то необхідно спеціально створити таку поверхню, призначену тільки для встановлення деталі. Така поверхня називається допоміжною установчою базою.

представлений На рис. 3.14 технологічний

Рис. 3.14. Технологія обробки східчастого вала.

процес обробки східчастого вала при забезпеченні на всіх операціях принципу постійності баз.

Центрові фаски є допоміжною установною базою. Дійсно, при обробці східчастого вала на двох багаторізцевих верстатах установчою ба-

зою є центрові отвори. На операції круглого шліфування шийок під підшипники і фрезерування зубчастого вінця як установчу базою також використовуються центрові отвори.

На рис. 3.15, а подано операційний ескіз деталі, у якому контурною лінією показаний уступ глибиною $15^{+0,3}$ мм..

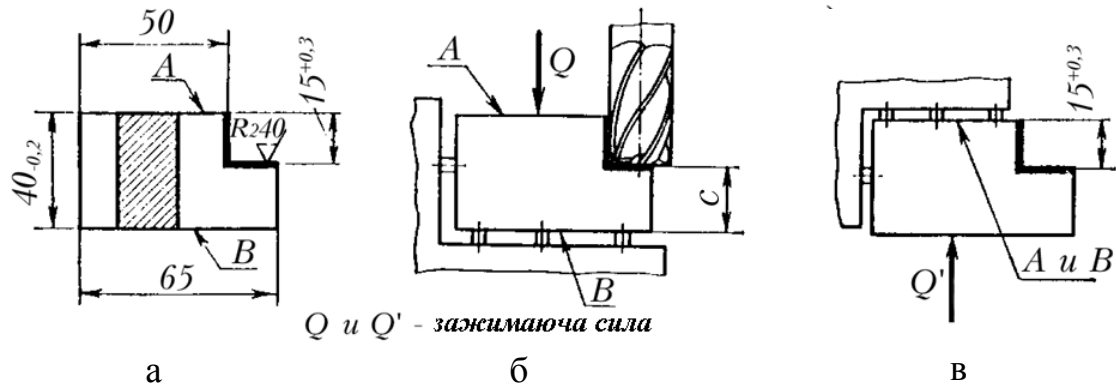


Рис. 3.15. Обробка уступу при різних схемах базування.

При даній простановці розмірів вимірювальною базою є поверхня *A*. Обробка проводиться на фрезерному верстаті, налагодженому на розмір, тобто при встановленні фрези на відстані *C* від установчої бази *B* (рис. 3.15, б).

При даній схемі базування положення вимірювальної бази може змінювати в межах допуску 0,2 мм розміру 40 мм. Похибка базування дорівнює допуску на розмір 40 мм.

Якщо як установочну базу використовувати поверхню *A* (рис. 3.15, в), то похибка базування буде дорівнювати нулю. У цьому випадку забезпечений принцип сполучення баз, тобто конструкторська база сполучена з вимірювальною і настановчою.

Однак варто помітити, що дана схема базування є нетехнологічною, тому що проектувати пристрій, у якому сила притискання деталі спрямована протилежно силі різання, неприпустимо.

На рис. 3.16 показана схема базування циліндричної деталі на призму. Діаметр циліндричної деталі, на якій треба профрезерувати лиску, змінюється в межах допуску *TD*. Зміна діаметрів у межах допуску викликає при базуванні вала зсув центрів кіл в

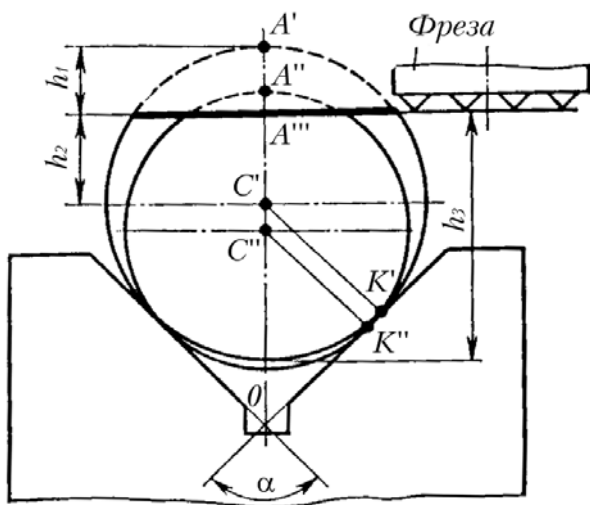


Рис. 3.16. Розрахункова схема для визначення похибок базування при встановленні на призму.

межах $C'C''$. Зсув центрів вносить похибку у координуючі розміри лиски h_1, h_2, h_3 . Зміна розміру h_1 в результаті похибки базування дорівнює $\Delta h_1 = A'A''$. З розрахункової схеми рис. 3.16 похибку базування можна знайти з виразу

$$\Delta h_1 = OA' - OA'' = (OC' + C'A') - (OC'' - C''A'') = \left(\frac{C'K'}{\sin \frac{\alpha}{2}} + C'K' \right) - \left(\frac{C''K''}{\sin \frac{\alpha}{2}} + C''A'' \right) = \frac{D_{max}}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} + 1 \right) - \frac{D_{min}}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} + 1 \right) = \frac{TD}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} + 1 \right). \quad (3.1)$$

Похибки базування, що приводять до зміни розмірів h_2, h_3 , визначаються формулами:

$$\Delta h_2 = \frac{TD}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} \right), \quad \Delta h_3 = \frac{TD}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right). \quad (3.2)$$

Якщо при фрезеруванні лиски циліндричну заготовку встановити в центрах, то похибка базування буде складати половину допуску на діаметральний розмір $\Delta E_{\delta h} = \frac{TD}{2}$ (рис. 3.17, а).

Якщо базування вала робити в лещатах із плоскими губками і з упором вала на основу лещат, то похибка базування буде дорівнювати нулю, тому що вимірювальна база при обробці партії заготовок положення не змінює (рис. 3.17, б).

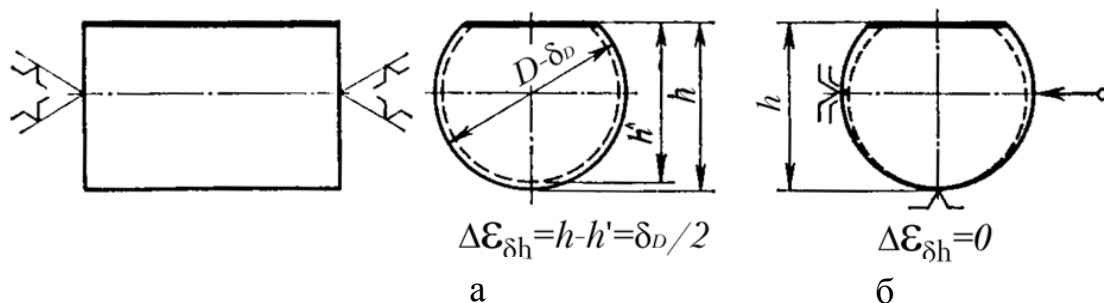


Рис. 3.17. Схема базування деталі в центрах (а) і в лещатах (б).

При обробці паза на втулці 1 з базуванням її по отвору оправки 2 (рис. 3.18, а) з радіальним зазором Δ похибка базування

$$\Delta E_{\delta} = \frac{TD}{2} + 2\varepsilon + Td_0 + Td_{опр} + 2\Delta,$$

де ε – ексцентриситет осі отвору втулки щодо зовнішнього діаметра D ; Td_0 – допуск на діаметр отвору втулки; Td_{opr} – допуск на посадковий діаметр оправки; Δ – мінімальний радіальний зазор між діаметром оправки і посадковим діаметром втулки.

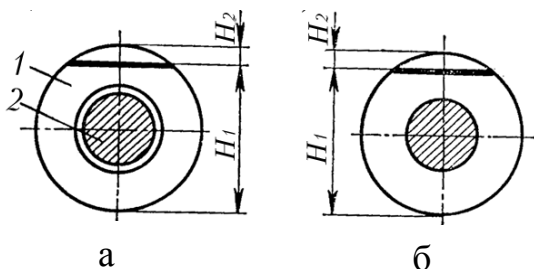


Рис. 3.18. Схема базування на гладкій оправці (а) і розтискній (б).

Якщо втулку базувати на розтискну оправку (рис. 3.18, б), то похибка базування ΔE_{δ} буде дорівнювати $\Delta E_{\delta} = \frac{TD}{2} + 2\varepsilon$.

Похибка закріплення ΔE_3 пов'язана з коливаннями контактних деформацій елементів ланцюга, че-

рез яку передається сила закріплення. Величина зсуву через контактні деформації визначається формулою

$$y = cQ^n \cos \alpha, \quad (3.4)$$

де c – коефіцієнт, що характеризує умови контакту в залежності від зміни твердості матеріалу і форми опор (сферична, плоска, з рифленнями і т.д.); Q – сила, що діє на опорі; α – кут між напрямком найбільшого зсуву і напрямком розміру, який витримується.

При обробці партії заготовок сила затискання може змінюватися від Q_{max} до Q_{min} . Різниця y_{max} і y_{min} є похибкою закріплення. Похибки закріплення відносяться до категорії випадкових величин, тому сумування їх варто виконувати не алгебраїчно, а за правилом квадратного кореня $\Delta E_3 = \sqrt{y_1^2 + y_2^2}$. Зменшення похибки закріплення може бути досягнуте шляхом стабілізації сили затискання. Третьою складовою похибки встановлення є похибка пристрою ΔE_{np} .

Похибка пристрою включає неточність виготовлення його базуючих елементів $\Delta E_{i\delta 1}$, спрацювання цих елементів $\Delta E_{i\delta 2}$ і похибку встановлення самого пристрою на верстаті $\Delta E_{i\delta 3}$. В умовах серійного виробництва при періодичній зміні пристрою, ця похибка є випадковою величиною. Вона визначається за правилом квадратного кореня, тобто

$$\Delta E_{i\delta} = \sqrt{\Delta E_{i\delta 1}^2 + \Delta E_{i\delta 2}^2 + \Delta E_{i\delta 3}^2}. \quad (3.5)$$

Проведений аналіз показує, що при порушенні принципів сполучення чи постійності баз виникають похибки обробки. Для визначення цих похибок необхідно робити розрахунок розмірних ланцюгів.

РОЗДІЛ 4

ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗМІРНІ ЛАНЦЮГИ

При проектуванні технологічних процесів часто виникає необхідність розрахунку розмірних ланцюгів для визначення операційних розмірів. Відмовившись від сполучення технологічних, конструкторських і вимірювальних баз, технолог змушений робити перерахунок операційних розмірів, посилюючи при цьому допуски на їхнє виготовлення.

4.1. РОЗРАХУНКИ РОЗМІРНИХ ЛАНЦЮГІВ

Зв'язок між розмірами представляється розмірними ланцюгами. У кожному замкнутому розмірному ланцюзі розрізняють замикаючий і складовий розміри (ланки). Замикаючим називають розмір, що безпосередньо не витримується, а його одержують у результаті виконання складових розмірів.

На рис. 4.1 показані креслення втулки і розмірний ланцюг, що містить два складових розміри H_1 й H_2 і замикаючий h .

Рівняння розмірного ланцюга має вигляд

$$h = H_2 - H_1.$$

Складові розміри, при збільшенні яких збільшується замикаючий розмір, називаються збільшуваними розмірами. У рівнянні розмірного ланцюга збільшуючі розміри пишуть зі знаком плюс, і, навпаки, розміри, при збільшенні яких замикаючий розмір зменшується - зі знаком мінус. Щоб знай-

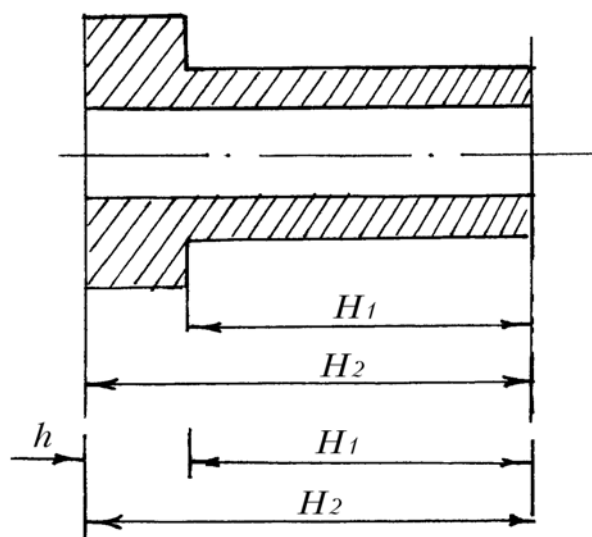


Рис. 4.1. Креслення втулки і розмірний ланцюг.

ти граничні значення замикаючого розміру, користуються граничними значеннями складових розмірів. В нашому випадку

$$h_{max} = H_{2max} - H_{1min}, \quad h_{min} = H_{2min} - H_{1max}.$$

Допуск замикаючого розміру Th , який дорівнює різниці граничних значень ($Th = h_{max} - h_{min}$), завжди визначається сумою допусків складових розмірів

$$h_{max} - h_{min} = (H_{2min} - H_{2min}) + (H_{1max} - H_{1min});$$

$$Th = TH_2 + TH_1.$$

Розмірний ланцюг, що виражає зв'язок розмірів на кресленні деталі, називається конструкторським ланцюгом. Розмірний ланцюг технологічних операційних розмірів називається технологічним розмірним ланцюгом. У конструкторських розмірних ланцюгах замикаючий розмір має саму велику похибку. Величина цієї похибки дорівнює сумі похибок усіх розмірів розмірного ланцюга.

На робочих кресленнях деталі замикаючі розміри звичайно не проставляють. У технологічних розмірних ланцюгах замикаючими ланками є розміри, задані на кресленні деталі. Таким чином, складові розміри в конструкторському розмірному ланцюзі стають замикаючими в технологічному розмірному ланцюзі. У конструкторських розмірних ланцюгах за заданим значенням складових розмірів визначається замикаючий розмір. Розв'язок цієї задачі не викликає особливих труднощів. При розрахунку технологічних розмірних ланцюгів задачу приходиться вирішувати в зворотній постановці, а саме: за заданим значенням замикаючого розміру визначають значення складових операційних розмірів. При такій постановці задачі сума допусків на складові розміри не повинна перевищувати допуск на замикаючий

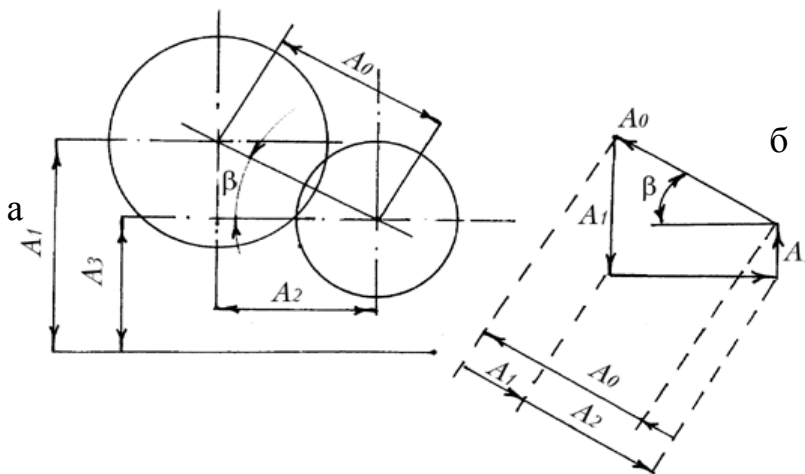


Рис. 4.2. Плоский розмірний ланцюг.

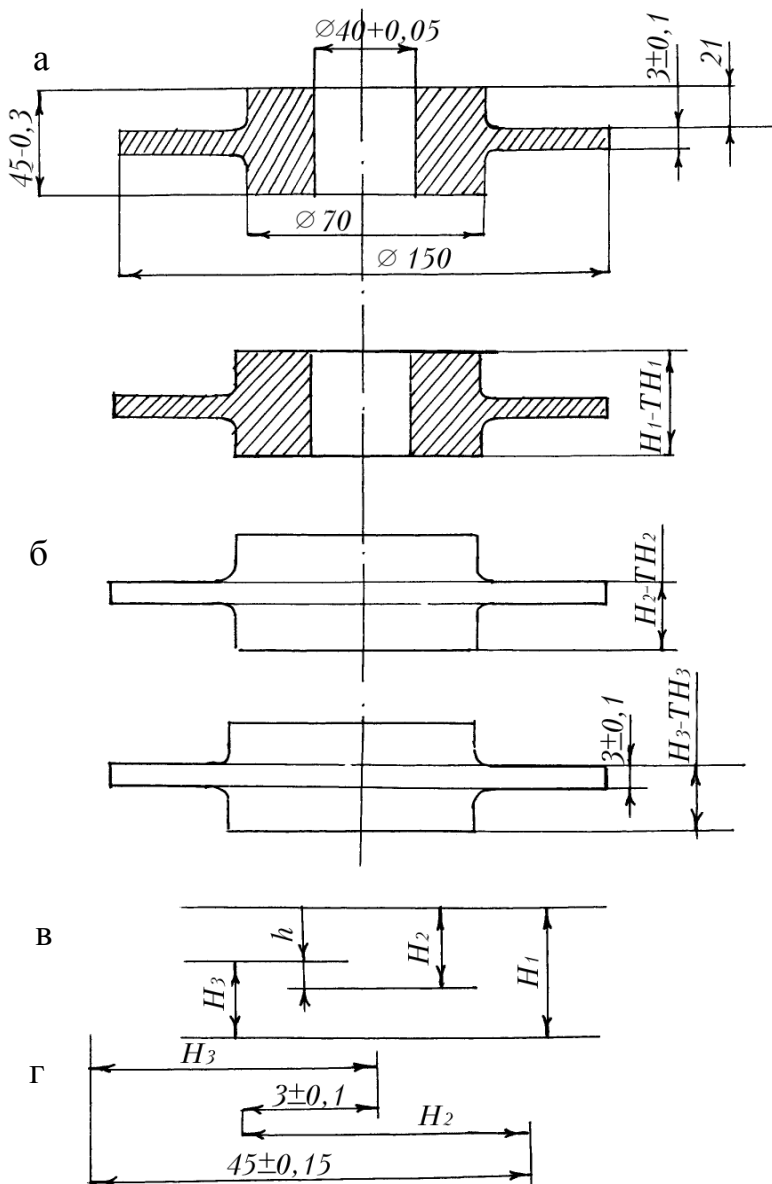
розмір. Отже, при заданому значенні допуску на замикаючий розмір збільшення кількості складових ланок повинно супроводжуватися зменшенням допусків на операційні розміри.

У залежності від розташування розмірів розмірні ланцюги

підрозділяються на лінійні, що складаються з взаємно рівнобіжних лінійних розмірів, кутові, ланками яких є кутові розміри, плоскі розмірні ланцюги, ланки яких розташовані в одній чи декількох рівнобіжних площинах; просторові, ланки яких знаходяться в непаралельних площинах.

На рис. 4.2 показаний плоский розмірний ланцюг, частина ланок якого розташована під кутом до інших ланок. На рис. 4.2, б плоский розмірний ланцюг приведений до звичайного лінійного розмірного ланцюга з рівнобіжними ланками. Розрахунок технологічних розмірних ланцюгів розглянемо на конкретних прикладах.

Приклад 1. На рис. 4.3 зображено креслення деталі і технологічні ескізи обробки. Відповідно до приведеної розмірної схеми, (рис.



4.3, в) рівняння розмірного ланцюга має вигляд

$$H_3 - h + H_2 - H_1 = 0.$$

Ланка h на кресленні обмежена допуском $Th = \pm 0,1$, тому при визначенні допусків на технологічні розміри TH_1 , TH_2 і TH_3 варто приймати допуск Th у якості замикаючого. З аналізу робочого креслення видно, що розмір H_1 має допуск $TH_1 = 0,3$ мм. При такому значенні допуску на розмір H_1 сума всіх складових ланок буде значно більша допуску замикаючої ланки ($Th = 0,2$ мм). Отже, виникає необхідність жорсткості допуску на розмір H_1 до

Рис. 4.3. Креслення деталі (а) і операційні ескізи (б).

$$TH_1 = 0,07 \cdot (H_1 = 45 - 0,07).$$

Граничні значення розміру замикаючої ланки

$$h_{max} = H_{2max} + H_{3max} - H_{1min},$$

$$h_{min} = H_{2min} + H_{3min} - H_{1max}.$$

Відомо, що

$$h_{max} = 3^{+0,1} = 3,1 \text{ мм}, \quad h_{min} = 3_{-0,1} = 2,9 \text{ мм}.$$

Симетричне розташування оброблюваних поверхонь диска дозволяє прирівняти технологічні розміри $H_2 = H_3$.

Тоді

$$2H_{2,3max} = 3,1 + 44,93 = 48,03 \text{ мм},$$

$$2H_{2,3min} = 2,9 + 45,00 = 47,90 \text{ мм}.$$

Звідки

$$H_{2max} = H_{3max} = 24,015 \text{ мм}, \quad H_{2min} = H_{3min} = 23,95 \text{ мм}.$$

Допуск на операційні розміри визначається

$$TH_{2,3} = H_{2,3max} - H_{2,3min} = 0,065 \text{ мм}.$$

Таким чином, операційні розміри повинні бути:

$$\text{на операції №1 розмір } H_1^{-TH_1} = 45_{-0,07} \text{ мм},$$

$$\text{на операції №2 розмір } H_2^{-TH_2} = 24,015_{-0,065} \text{ мм},$$

$$\text{на операції №3 розмір } H_3^{-TH_3} = 24,015_{-0,065} \text{ мм}.$$

Викладена методика не єдина. При розрахунку технологічних розмірних ланцюгів буває зручніше використовувати не граничні значення розмірів, а використовувати їх середні значення. Наприклад, розмірний ланцюг можна записати, як показано на рис. 4.3, г. З нього відразу знаходимо

$$2H_{2,3cp} = 44,85 + 3 = 47,85 \text{ мм},$$

$$H_{2cp} = H_{3cp} = 23,925 \text{ мм}.$$

Знаючи, що розмір $3 \pm 0,1$ мм виходить як замикаючий, розподіляють його допуск між усіма складовими розмірами. Якщо розподілити його порівну (з тих же міркувань, що були викладені вище, тобто прийняти $TH_1 = TH_2 = TH_3 = 0,066 = \pm 0,033$ мм), то відразу знайдемо:

$$H_{1cp} \pm \frac{TH_1}{2} = 44,85 \pm 0,033 \text{ мм},$$

$$H_{2cp} \pm \frac{TH_2}{2} = H_{3cp} \pm \frac{TH_3}{2} = 23,925 \pm 0,033 \text{ мм.}$$

Отримані в такий спосіб розміри записують в операційних картах відповідно до загальних правил (допуск повинний бути спрямований “у тіло” деталі).

На операції № 1 $44,85 \pm 0,033 = 44,883_{-0,066}$ мм.

На операціях № 2 і № 3 розмір $23,923 \pm 0,033 = 23,958_{-0,066}$ мм.

Приклад 2. На рис. 4.4, а показано креслення деталі, а на рис. 4.4, б – операційний ескіз на обробку паза і розточування отвору.

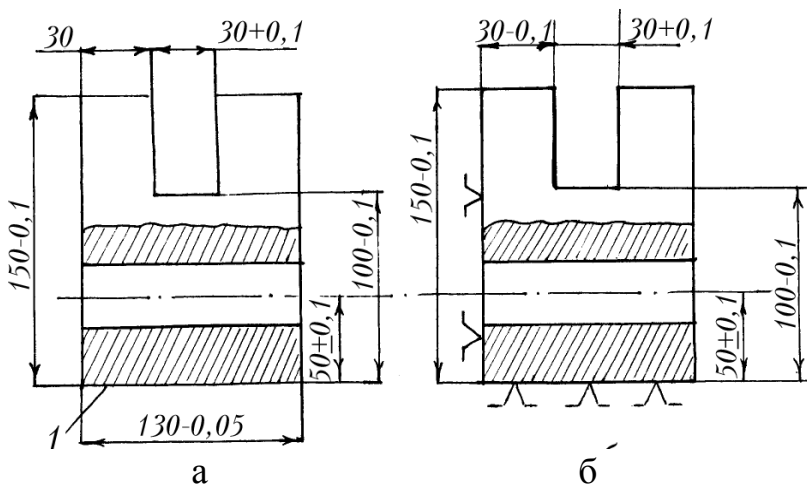


Рис. 4.4. Креслення деталі (а) і операційний ескіз (б).

Поверхня 1, від якої координуються на кресленні оброблювані поверхні, є найбільш зручною установчою базою. На технологічному ескізі розміри проставляються від установчої бази. Отже, у даному випадку можливо реалізувати принцип сполучення баз.

При цих умовах обробки посилювати допуски на технологічні розміри не потрібно.

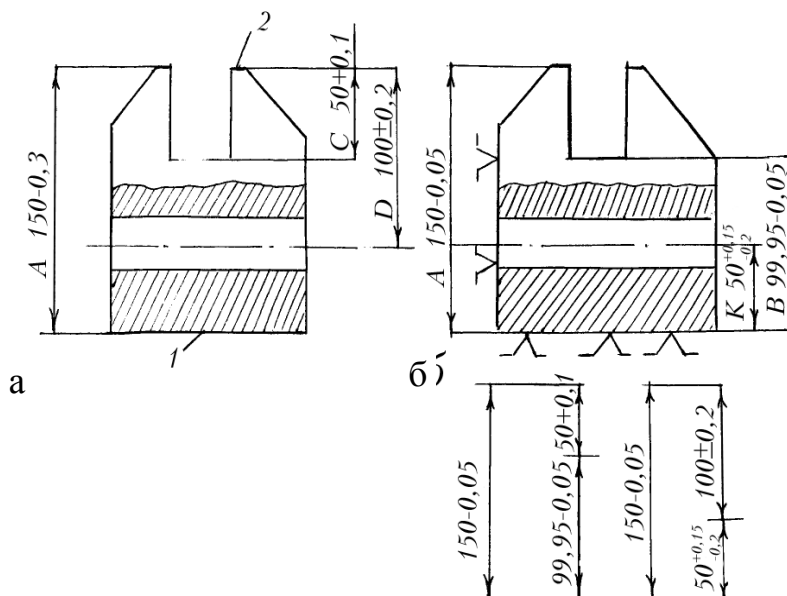


Рис. 4.5. Креслення деталі (а) і ескіз обробки

Приклад 3. На рис. 4.5, а зображено креслення деталі, а на рис. 4.5, б – операційний ескіз обробки паза і розточування отвору.

Розміри, що координують глибину паза і розташування отвору, проставлені від поверхні 2, що має малу опорну поверхню і не може бути використана як установча база. Надійне встановлення і базування дета-

лі забезпечує поверхня 1. На операційному ескізі розміри проставлені від установчої бази. Отже, тут реалізувати принцип єдності баз неможливо. Для забезпечення вимог, зазначених у кресленні, допуски на технологічні розміри повинні бути жорсткими. Наприклад, для забезпечення точності замикаючої ланки $C = 50^{+0,1}$ мм (розмір глибини паза) необхідно допуски на складові ланки (розміри A і B) посилити до $0,05$ мм. На технологічному ескізі допуск на розмір A зменшується в 6 разів.

Приклад 4. На рис. 4.6 показані два способи базування шатуна на операції фрезерування торця головок.

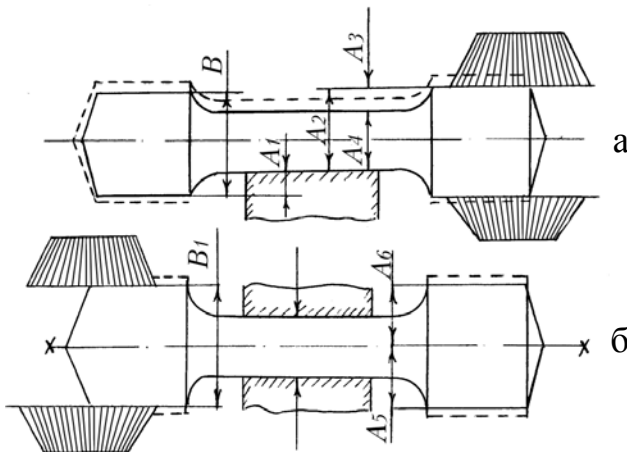


Рис. 4.6. Способи базування шатуна при обробці торців головок.

Торці головок оброблюються одночасно двома фрезами, налагодженими на розмір B . На даній операції установчою базою є стрижень, що з'єднує головки.

Як установчу базу на пристрої часто використовують нерухому площину. Щодо цієї площини налагоджують ріжучі інструменти

(фрези) на розміри A_1 і A_2 (рис. 4.6, а) з метою забезпечення необхідної товщини головки $B_{ТВ}$. Допуск замикаючої ланки дорівнює сумі допусків складових ланок $TB = TA_1 + TA_2$.

Штампована заготовка розміром $B = (30 \div 50)$ і і п'ятнадцятого квалітета точності має допуск $TB = (0,84 \div 1,0)$ і і . Отже, коливання розмірів A_1 і A_2 можуть досягати $(0,42 \div 0,5)$ і і . Розміри A_1 і A_2 проставлені від поверхні, отриманої при штампуванні. При такій схемі базування вісь стрижня буде зміщуватися щодо торців головок шатуна на $(0,42 \div 0,5)$ і і . Таку асиметричність виправити на наступних операціях шліфування практично неможливо.

Щоб уникнути похибок при обробці, треба змінити схему базування. Як установчу базу варто використовувати сховану базу – вісь $X \cdots X$ (рис. 4.6, б). Така схема базування забезпечується при установці шатуна в самоцентрувальних лещатах.

Приклад 5. При обробці уступу на глибину $a = 15^{+0,43}$ мм (рис.

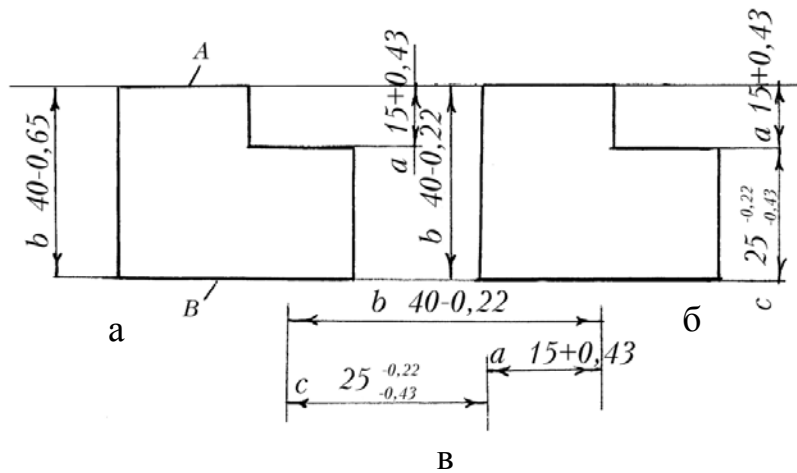


Рис. 4.7. Креслення деталі (а) і ескіз обробки (б).

4.7,а) заготовку встановлюють на поверхню *B*.

Поверхня оброблюваного уступу зв'язана розміром $15^{+0,43}$ мм з верхньою площиною *A*. Ця площина уступу є конструкторською і вимірювальною базою. Установча база –

поверхня *B* – не збігається з конструкторською базою.

На верстатах, налагоджених на розмір, чи на верстатах із ЧПК поверхня, на яку встановлена деталь, є базою для налагодження верстата. Тому розмір $15^{+0,43}$ мм, що не зв'язаний з цією базою, не може бути забезпечений автоматично, тому що база *A*, від якої залежить цей розмір, – плаваюча. Величина її коливання залежить від точності виготовлення розміру *B* в межах допуску $TB = 0,65$ мм, що забезпечується на попередній операції. На операційному ескізі поставлений технологічний розмір *C*.

Для визначення допуску на розмір *C* необхідно розв'язати розмірний ланцюг (рис. 4.7, в). У даному розмірному ланцюзі розмір $a = 15^{+0,43}$ мм є замикаючим, а розміри *B* і *C* – складовими ланками. Допуск замикаючої ланки дорівнює сумі допусків складових ланок $TA = TB + TC$.

Після підстановки відповідних значень маємо

$$TC = 0,43 - 0,65 = -0,22.$$

Оскільки допуск – величина істотно позитивна і негативною бути не може, то отримане рівняння може бути розв'язано за умови збільшення допуску *TA* чи зменшення допуску $-TB$. Допуск на величину уступу *TA* заданий конструктором і не може бути підданий зміні. Тому єдиний спосіб розв'язку поставленої задачі – це зменшення допуску розміру *TB*, який віднімається. Зменшення допуску *TB* варто робити таким чином, щоб складність виконання розмірів *B* і *C* була однаковою.

Приймаючи допуск на розмір *B* рівним $TB = 0,22$ мм, визначимо граничні значення технологічного розміру *C*:

$$a = b - c; a_{max} = b_{max} - c_{min},$$

$$c_{min} = b_{max} - a_{max} = 40 - (15 + 0,43) = 25_{-0,43} \text{ мм},$$

$$a_{min} = b_{min} - c_{max},$$

$$c_{max} = b_{min} - a_{min} = 40 - 0,22 - 15 = 25_{-0,22} \text{ мм}.$$

Розрахункова величина розміру $C = 25_{-0,22}^{-0,43}$ мм.

Остаточню приймається найближче стандартне значення розміру $C = 25_{-0,43}^{-0,22}$ мм. Перевірочний розрахунок на максимум і мінімум

$$a_{max} = 40 - (25 - 0,43) = 15^{+0,43} \text{ мм},$$

$$a_{min} = 40 - 0,22 - (25 - 0,43) = 15^{+0,21} \text{ мм}$$

показує, що граничні розміри вихідного конструкторського розміру A знаходяться в границях граничних розмірів, зазначених у кресленні.

Приклад 6. На рис. 4.8 показано креслення східчастого вала. Лінійні розміри конструктор поставив на кресленні у виді ланцюжка (A, B, C). Обробку даного вала технолог планує робити на багаторізцевому верстаті.

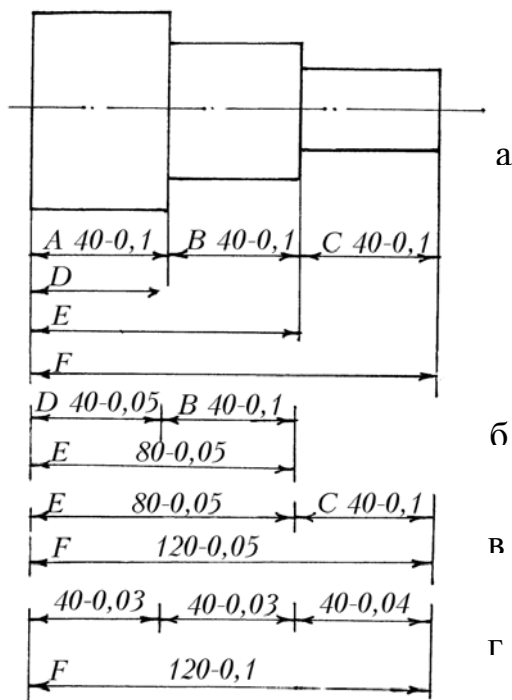


Рис. 4.8. Два варіанти простановки розмірів на кресленні.

При багаторізцевій обробці потрібно робити налагодження різців від однієї бази. Ланцюгова простановка лінійних розмірів не дозволяє здійснювати налагодження багаторізцевого верстата. Тому технолог поставив розміри координатним методом, тим самим порушив принцип сполучення баз. Потрібно зробити перерахунок розмірів, забезпечуючи вимоги конструктора.

Для визначення технологічних розмірів D і E розглянемо розмірний ланцюг (рис. 4.8, б).

Розмір B у даному розмірному ланцюзі є замикаючою ланкою. Допуск замикаючої ланки дорівнює сумі допусків складових ланок

$$TB = TD + TE, \text{ тобто } 0,1 = 0,05 + 0,05.$$

Для визначення технологічного розміру F розглянемо розмірний ланцюг (рис. 4.8, в).

Допуск замикаючої ланки (розмір C) дорівнює сумі допусків

складових ланок

$$TC = TE + TF, \text{ тобто } 0,1 = 0,05 + 0,05 \text{ мм.}$$

Приклад 7. Розглянемо розв'язок зворотної задачі. Конструктор на кресленні поставив лінійні розміри східчастого валика (рис. 4.8, а) координатним методом: $D = 40 - 0,1$ мм; $E = 80 - 0,1$ мм; $F = 120 - 0,1$ мм.

Технолог при розробці технологічного процесу на ескізі операційної карти поставив у вигляді ланцюжка. Потрібно визначити допуски на операційні розміри A, B і C , забезпечуючи при цьому необхідну точність розмірів, зазначених на кресленні.

Для визначення допусків на операційні розміри A, B, C розглянемо розмірний ланцюг (рис. 4.8, г).

Допуск замикаючої ланки розміру F дорівнює сумі допусків складових ланок

$$TF = TA + TB + TC.$$

Допуск на розмір F дорівнює 0,1 мм. Отже, сума допусків операційних розмірів A, B, C повинна бути 0,1 мм

$$TF = 0,1 = 0,03 + 0,03 + 0,04 \text{ мм.}$$

4.2. РОЗМІРНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Одним з методів підвищення точності обробки і поліпшення якості поверхневого шару є проведення розмірного аналізу технологічного процесу.

Розмірний аналіз технологічного процесу дозволяє науково обґрунтувати граничні значення технологічних розмірів, визначити операційні припуски, виявити найбільш технологічну (з позиції механічної обробки) простановку операційних розмірів і мінімізувати витрати виробництва.

До моменту виконання розмірного аналізу повинен бути розроблений технологічний процес, який пройшов стадію логічної оцінки і визнаний придатним з позиції основних положень технології машинобудування для подальшого опрацювання і уточнення.

План обробки повинен супроводжуватися операційними ескізами. На ескізах проставляються операційні розміри і технологічні бази. Послідовне перетворення заготовки в готову деталь характеризує технологічний параметр – уточнення.

Уточнення поверхонь розрізняються за геометричними розмірами εd_0 , шорсткістю εR_{z0} і взаємним розташуванням поверхонь $\varepsilon \Delta_0$

$$d_0 = \frac{Td_{заг}}{Td_{дем}};$$

$$\varepsilon R_{z0} = \frac{TR_{zзаг}}{TR_{zдем}};$$

$$\varepsilon \Delta_0 = \frac{T\Delta_{заг}}{T\Delta_{дем}},$$

де $Td_{заг}$, $TR_{zзаг}$, $T\Delta_{заг}$ – допуски відповідно на розмір, шорсткість і взаємне розташування поверхонь заготовок.

Кількість операцій або переходів визначається з виразу [12]

$$k_j = \frac{\lg \varepsilon_{0j}}{a},$$

де a – коефіцієнт ($a=0,45 \div 0,5$); $j = d; R_z; \Delta$ – індекс, позначає параметр геометричного розміру, параметр шорсткості і параметр взаємного розташування поверхонь.

Між переходами різниця квалітетів розподіляється за законом прогресивного убавання.

Технологічні розмірні ланцюги найраціональніше виявляти за допомогою теорії графів. При цьому деталь в процесі її виготовлення розглядається як геометрична структура, що складається з безлічі поверхонь і зв'язків (розмірів) між ними.

Пріоритет у області застосування теорії графів для розрахунку техно-

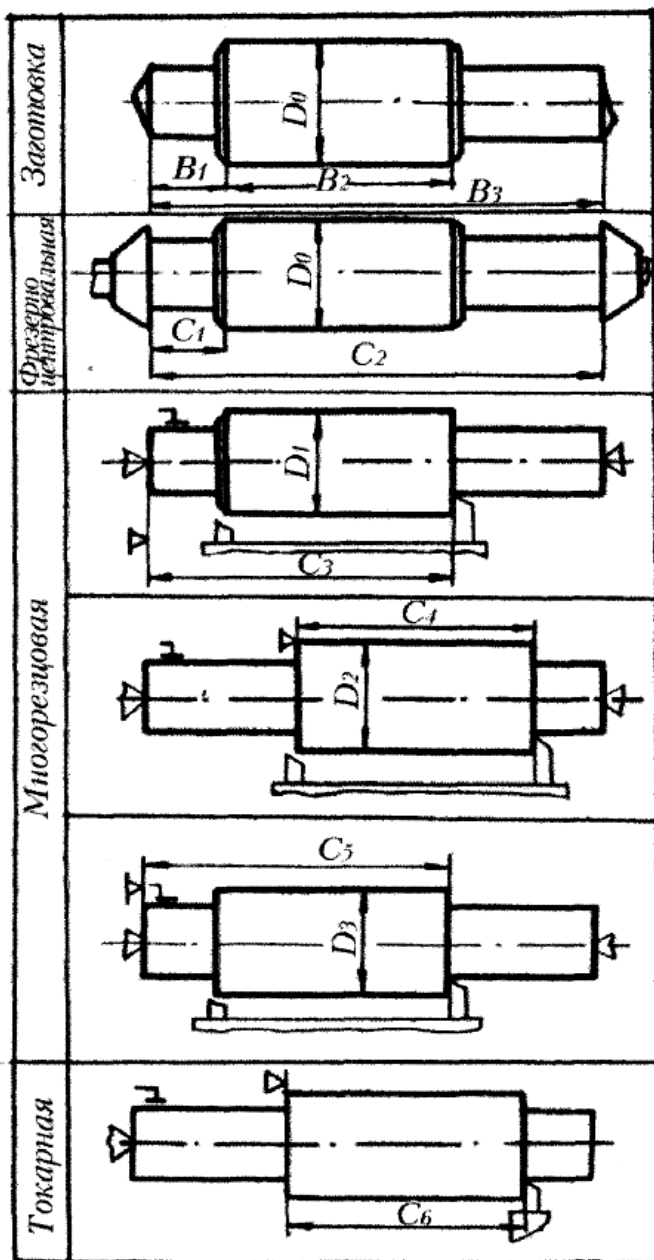


Рис.4.9. Технологія виготовлення східчастого валика.

логічних розмірних ланцюгів належить Б.С. Мордвінову.

Методику проведення розмірного аналізу технологічних процесів розглянемо на конкретному прикладі.

На рис. 4.9 представлені ескізи технологічного процесу обробки східчастого валика.

Заготовка східчастого валика – штампування підвищеної точності $jT16$.

Допуск на діаметр 50 заготовки $T_{50}=1,9$ мм; на лінійний розмір 165 - $T_{165}=2,2$ мм; на розмір 75 - $T_{75}=1,9$ мм (табл. 1) [16] (табл. додатки 14).

Загальне уточнення діаметру і лінійних розмірів рівні:

$$\varepsilon_{d=50} = \frac{1,5}{0,06} = 31,7;$$

$$\varepsilon_{l=165} = \frac{2,2}{0,8} = 2,75;$$

$$\varepsilon_{l=75} = \frac{1,9}{0,15} = 12,7.$$

Кількість переходів, необхідних для забезпечення заданої точності розмірів деталі, визначається з умови найбільшого уточнення:

$$k_{d=50} = \frac{\lg \varepsilon_{d=50}}{0,5} = \frac{1,5}{0,5} = 3;$$

$$k_{l=75} = \frac{\lg \varepsilon_{l=75}}{0,5} = \frac{1,1}{0,5} = 2,2.$$

Для забезпечення точності виготовлення лінійних розмірів приймаємо число проходів, рівне 2 (чорнова обробка і чистова обробка торців), а для забезпечення діаметральної точності - число проходів, рівне 3.

Різницю квалітетів заготовки і деталі

$$(n_{кв.d=50} = jT_{заг} - jT_{дет} = 16 - 9 = 7;$$

$$n_{кв.l=75} = jT_{заг} - jT_{дет} = 16 - 10 = 6)$$

розподіляємо за законом прогресивного убування

$$\Delta jT_{d=50} = 7 = 4 + 2 + 1;$$

$$\Delta jT_{l=75} = 6 = 4 + 2.$$

Квалітети точності по проходах:

- а) для діаметру $50_{-0,06}$
1. Штампування..... $jT 16$;
 2. Механічна обробка
 - 1-й прохід..... $jT 12$;
 - 2-й прохід..... $jT 10$;
 - 3-й прохід..... $jT 9$;
- б) для лінійного розміру $=75_{-0,15}$
1. Штампування..... $-jT 16$;
 2. Механічна обробка
 - 1-й прохід..... $-jT 12$;
 - 2-й прохід..... $-jT 10$.

Розмірна схема технологічного процесу обробки торцевих поверхонь східчастого валика показана на рис. 4.10.

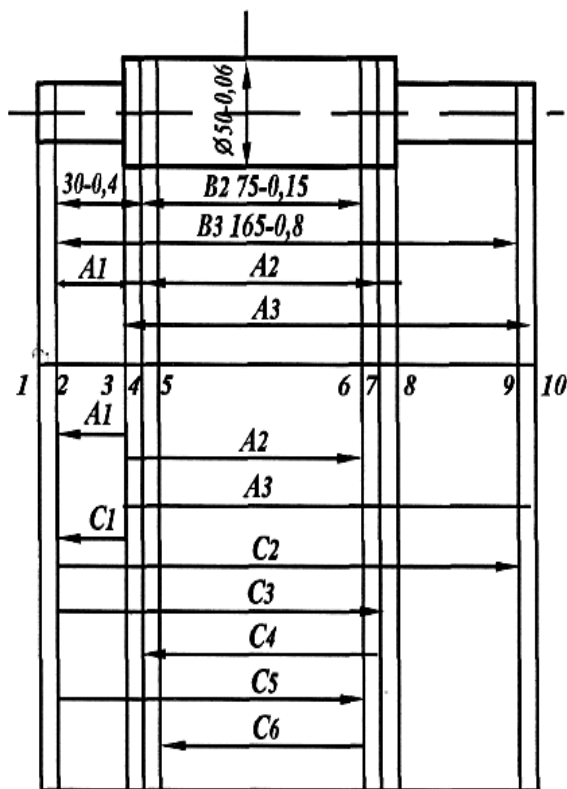


Рис. 4.10. Розмірна схема технологічного процесу.

При розрахунку лінійних операційних розмірів раціонально використовувати теорію графів. Граф представляється у вигляді символічного запису: граф – це точки, сполучені лініями. При розмірному аналізі технологічного процесу точки (вершини графа) відповідають поверхням деталі; лінії, сполучаючі ці точки (ребра графа) – відповідають розмірам або допускам.

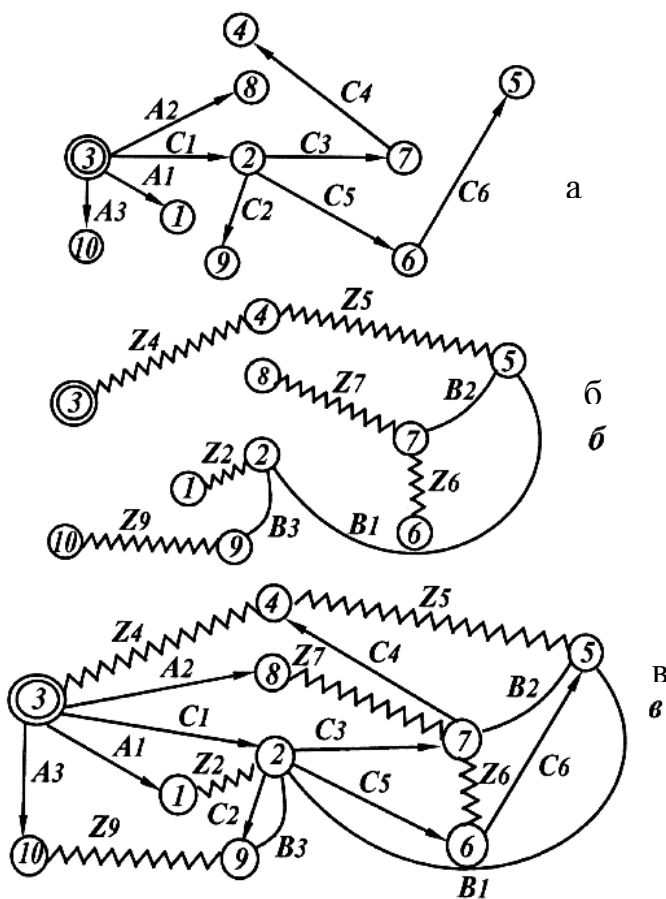
Якщо прийняти поверхні деталі за вершини графа, а зв'язки (розміри між ними) – за ребра, то креслення деталі з конструкторськими і технологічними розмірами можна представити у вигляді двох дерев. Дерево з конструкторськими

розмірами і припусками (рис. 4.11,б) називається вихідним, а дерево з технологічними розмірами (рис. 4.11,а) – похідним технологічним.

Після побудови вихідного і похідного дерев проводиться перевірка правильності їх побудови:

- число вершин у кожного дерева повинне бути рівне числу поверхонь на розмірній схемі технологічного процесу;
- число ребер у кожного дерева повинне бути однаковим і рівним числу вершин без одиниці (-1);
- до кожної вершини похідного дерева, окрім кореневої, повинна підходити тільки одна стрілка орієнтованого ребра, а до кореневої вершини не повинна підходити жодна стрілка;
- дерева не повинні мати розривів і замкнутих контурів.

Ці умови дозволяють виявити помилки в технології або кресленні. Наприклад, розрив між вершинами свідчить про відсутність необхідних розмірів в прийнятій технології або на кресленні. Наявність замкнутих контурів свідчить про наявність зайвих розмірів. Суміщений граф (рис. 4.11,в) є геометричною структурою технологічного процесу або його математичною моделлю. У суміщеному графі розмірні зв'язки перетворюються на явні розмірні ланцюги, оскільки інформація, яку несе граф суміщених дерев, дозволяє проводити всі необхідні розрахунки.



Замкнуті контури на суміщеному графі утворюють розмірні технологічні ланцюги.

У розмірних ланцюгах ребра вихідного дерева – що замикають ланки, а ребра похідного дерева – що становлять ланки. У кожному замкнутому розмірному ланцюзі повинно бути тільки одне ребро вихідного дерева (конструкторський розмір або припущення).

Вершини (поверхні) позначаються колом з вказівкою усередині відповідного номера поверхні. Ребра вихідного дерева зображаються у вигляді дуг, якщо вони є конструкторськими розмірами, або у вигляді хвилястих ліній – як

Рис. 4.11. Вихідний, виробничий (технологічний) та похідний граф.

що є розмірами припусків.

По об'єднаному графу визначаються знаки складаючих ланок. Для цього застосовують наступне правило.

Ланці привласнюється знак мінус, якщо обхід по замкнутому контуру починається від вершини з великим номером до вершини з меншим номером, і, навпаки, при русі по замкнутому контуру від вершини з меншим номером до вершини з великим номером ланці привласнюється знак плюс.

Розрахунок технологічних розмірів по суміщеному графу (рис. 4.11,в) слід починати з двох ланкового ланцюга.

У даному прикладі як корінь дерева є поверхня 3, до якої не підходить жодна стрілка. З неї виходять стрілки розмірів C_1 , A_1 , A_2 , A_3 , які направлені відповідно до вершин 2, 1, 8, 10. З вершини 2 виходять стрілки C_2 , C_3 , C_5 до вершин 9, 7, 6. З вершин 6 і 7 виходять стрілки \tilde{N}_6 і \tilde{N}_4 до вершин 5 і 4.

Рівняння для розрахунку технологічних розмірів зведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

№ п/п	Розрахункові рівняння	Вихідні рівняння	Визначуваний параметр
1	$-B_3 + C_2 = 0$	$B_3 = C_2$	C_2
2	$-B_2 + C_6 + Z_6 = 0$	$B_2 = C_6 + Z_6$	C_6
3	$-B_1 + C_5 - C_6 = 0$	$B_1 = C_5 - C_6$	C_5
4	$-Z_6 - C_5 + C_3 = 0$	$Z_6 = C_3 - C_5$	C_3
5	$-Z_5 + C_4 - C_3 + C_5 - C_6 = 0$	$Z_5 = C_4 + C_5 + C_3 - C_6$	C_4
6	$-Z_4 - C_1 + C_3 - C_4 = 0$	$Z_4 = C_3 - C_1 - C_4$	C_1
7	$-Z_2 + A_1 - C_1 = 0$	$Z_2 = A_1 - C_1$	A_1
8	$-Z_7 - C_3 + C_1 + A_2 = 0$	$Z_7 = A_2 + C_1 - C_3$	A_2
9	$-Z_9 - C_2 + C_1 + A_3 = 0$	$Z_9 = A_3 + C_1 - C_2$	A_3

4.3. ВИЗНАЧЕННЯ ДІАМЕТРАЛЬНИХ ОПЕРАЦІЙНИХ РОЗМІРІВ ВАЛУ ЗА ДОПОМОГОЮ ГРАФІВ

Розмірна схема технологічного процесу обробки діаметру східчастого валу $\varnothing 50_{-0,06}$ зображена на рис. 4.12,а.

Суміщене дерево, що є структурою технологічного процесу обробки діаметру валу, показане на рис. 4.12,б.

Як корінь дерева вибрана поверхня 1, до якої не підходить жодна стрілка. Розрахунок технологічних розмірів слід починати із замкнутого контура, що включає заданий в кресленні діаметр $D_1=50_{-0,06}$.

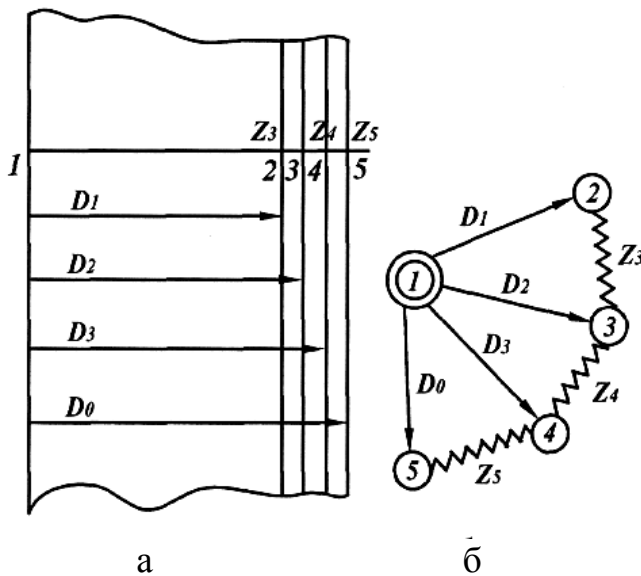
Рівняння для розрахунку технологічного розміру має вигляд

$$D_2 - Z_3 - D_1 = 0.$$

Мінімальний припуск Z_3 вибирають з таблиці (додаток 4). Для чистового обточування $Z_3=0,6$ мм

$$Z_{3_{min}} = D_{2_{min}} - D_{1_{max}} ;$$

$$D_{2_{min}} = X_{3_{min}} + D_{1_{max}} = 50,6 \text{ мм.}$$



З таблиці (додаток 14) допуск для 10-го квалітета $TD_2=0,12$ мм. Отже $D_2=50,72_{-0,12}$ мм. Для розрахунку технологічного розміру D_3 рівняння має вигляд $Z_4 - D_3 + D_2 = 0$

$$Z_{4_{min}} = D_{3_{min}} - D_{2_{max}} .$$

Звідки

$$D_{3_{min}} = Z_{4_{min}} + D_{2_{max}} .$$

Мінімальний припуск

$Z_{4_{min}}$ (напівчистове розточування) визначається як середнє арифметичне величин Z_3 і Z_5 . Мінімальний припуск Z_5 визначається з табл. (додаток 4) $Z_5=2$ мм,

$$Z_4 = \frac{Z_3 + Z_5}{2} = \frac{0,6 + 2}{2} = 1,3 \text{ мм,}$$

$$D_{3_{min}} = 1,3 + 50,72 = 52,02 \text{ мм.}$$

Для 12-го квалітета допуск $TD_3=0,4$ мм, $D_3=52,42_{-0,4}$ мм.

Діаметр заготовки валу D_0 визначається з рівняння

$$Z_5 = D_0 - D_3,$$

$$Z_{5_{min}} = D_{0_{min}} - D_{3_{max}}.$$

Звідки

$$D_{0_{min}} = Z_{5_{min}} + D_{3_{max}} = 2,0 + 52,42 = 54,42 \text{ мм.}$$

Для 16-го квалітета допуск $TD_0 = 2,0$ мм. Отже, діаметр заготовки буде рівний $D_0 = 56,42_{-2,0}$ мм.

4.4. ОБГРУНТУВАННЯ МАРШРУТУ І РОЗМІРНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ КОРПУСНОЇ ДЕТАЛІ

На рис. 4.13 зображене креслення корпусної деталі. Заготовка одержана литвом в земляну форму.

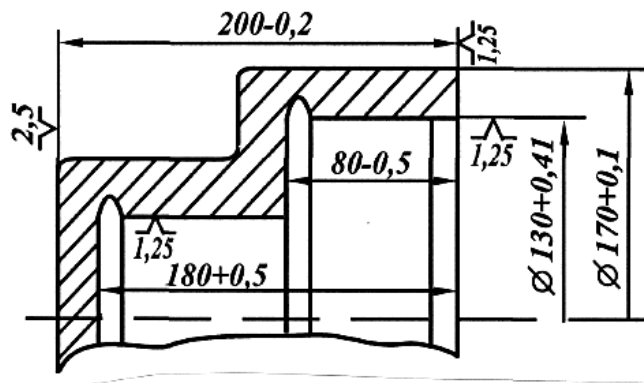


Рис. 4.13. Креслення деталі.

Точність заготовки $jT 16$.

Загальне уточнення на діаметри і лінійні розміри

$$\varepsilon_{d=170} = \frac{2,5}{0,1} = 25;$$

$$\varepsilon_{d=130} = \frac{2,5}{0,14} = 17,86;$$

$$\varepsilon_{L=200} = \frac{2,9}{0,2} = 14,5.$$

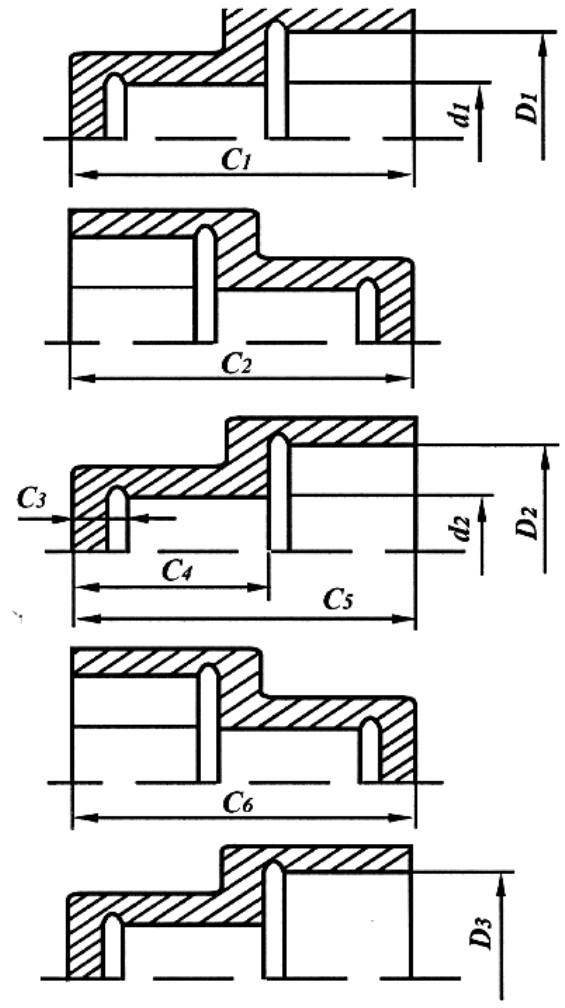


Рис. 4.14. Технологічні ескізи обробки.

Кількість переходів, необхідне для отримання заданої точності:

$$k_{d=170}=2,8 \text{ (приймаємо 3),}$$

$$k_{d=130}=2,4 \text{ (приймаємо 2),}$$

$$k_{L=200}=2,2 \text{ (приймаємо 2).}$$

Різниця квалітетів

$$n_{кв.d=170} = jT_{заг} - jT_{дет} = 16-9=7,$$

$$n_{кв.d=130} = jT_{заг} - jT_{дет} = 16-10=6,$$

$$n_{кв.L=200} = jT_{заг} - jT_{дет} = 16-11=5.$$

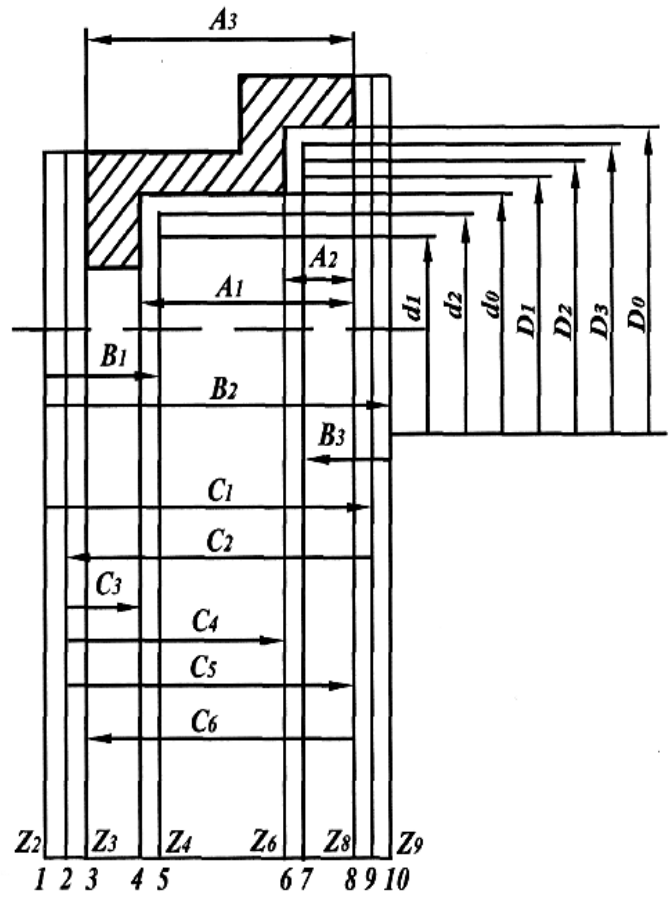


Рис. 4.15. Розмірна схема.

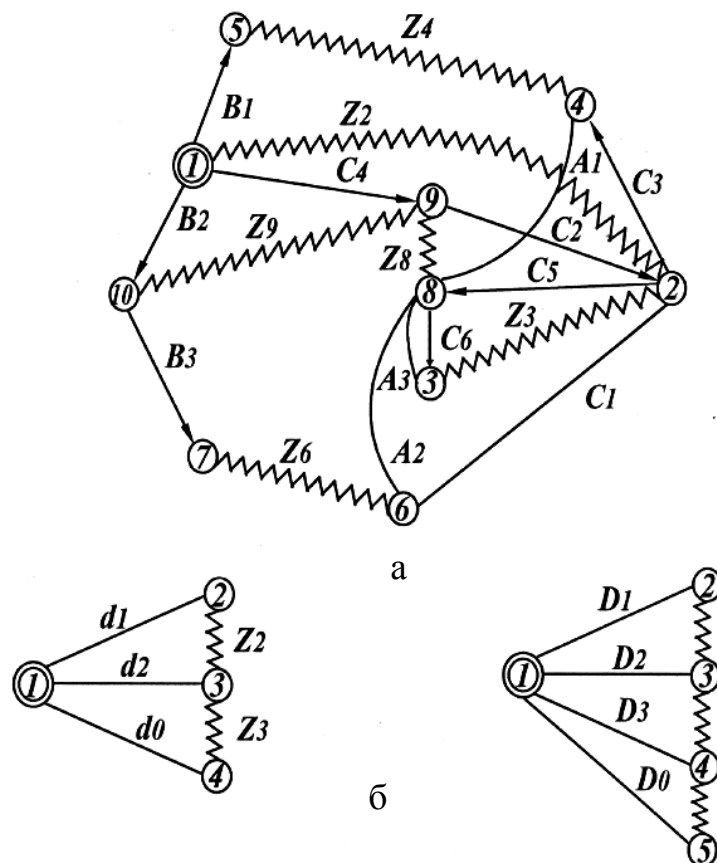


Рис. 4.16. Графи розмірних зв'язків: лінійних (а) і діаметральних (б).

Різницю квалітетів розподіляємо за законом прогресивного убавання

$$\Delta jT = 7 = 4 + 2 + 1 \text{ (для діаметру 170 мм);}$$

$$\Delta jT = 6 = 4 + 2 \text{ (для діаметру 130 мм);}$$

$$\Delta jT = 5 = 3 + 2 \text{ (для розміру } L = 200 \text{ мм).}$$

Ескізи технологічного процесу обробки деталі представлені на рис. 4.14,а, а розмірна схема – на рис. 4.15.

Графи розмірних зв'язків лінійних розмірів (у напрямі осі деталі) і діаметральних розмірів зображені на рис. 4.16.

Таблиця 4.2

№ п/п	Розрахункові рівняння	Вихідні рівняння	Визначуваний параметр
1	$-A_3 + C_6 = 0$	$A_3 = C_6$	C_6
2	$-Z_3 + C_5 + C_2 = 0$	$Z_3 = C_6 + C_2$	C_5
3	$-Z_8 - C_5 + C_2 = 0$	$Z_8 = C_2 - C_5$	C_2
4	$-Z_2 + C_1 - C_2 = 0$	$Z_2 = C_1 - C_2$	C_1
5	$-Z_9 - C_1 + B_2 = 0$	$Z_9 = B_1 - C_1$	B_2
6	$-A_2 - C_4 + C_5 = 0$	$A_2 = C_5 - C_4$	C_4
7	$-Z_6 - C_4 + C_2 - C_1 + B_2 - B_3 = 0$	$Z_6 = C_2 - C_4 - C_1 + B_2 - B_3$	B_3
8	$-A_1 - C_3 + C_5 = 0$	$A_1 = C_5 - C_3$	C_3
9	$-Z_4 - C_3 + C_2 - C_1 + B_1 = 0$	$Z_4 = C_2 - C_3 - C_1 + B_1$	B_1

Як корінь дерева вибрана вершина (поверхня 1), до якої на розмірній схемі не підходить жодна стрілка. Розміри, що виходять з неї B_1 , C_1 , B_2 , направлені до вершин 10, 9 і 5. Кожен замкнутий контур суміщеного графа розмірних зв'язків утворює розмірний ланцюг, у якого конструкторські розміри і припуски є замикаючими ланками. Рівняння для розрахунку технологічних розмірних ланцюгів, виявлених із замкнутих контурів об'єднаного графа, приведені в табл. 4.2.

У табл. 4.3 приведені розрахункові і вихідні рівняння для розра-

хунку діаметральних технологічних розмірів корпусної деталі.

Таблиця 4.3

№ п/п	Розрахункові рівняння	Вихідні рівняння	Визначуваний параметр
1	$-Z_3 + d_2 + d_0 = 0$	$Z_3 = d_0 - d_5$	d_2
2	$-Z_2 - d_1 + d_2 = 0$	$Z_2 = d_2 - d_1$	d_1
3	$-Z_4 - D_3 + D_0 = 0$	$Z_4 = D_0 - D_3$	D_3
4	$-Z_3 - D_2 + D_3 = 0$	$Z_3 = D_3 - D$	D_2
5	$-Z_2 - D_1 + D_2 = 0$	$Z_2 = D_2 - D_1$	D_1

РОЗДІЛ 5

ЯКІСТЬ ОБРОБЛЮВАНОЇ ПОВЕРХНІ

5.1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ФОРМУВАННЯ І БУДОВУ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ДЕТАЛЕЙ

Поверхня деталі містить у собі граничний шар, що стикається із зовнішнім середовищем, за яким лежить шар металу, що істотно відрізняється від основної частини матеріалу своєю будовою, фізико-механічними і хімічними властивостями. Кожен атом, розташований всередині металу, з усіх боків піддається впливу силового поля навколишніх його атомів і знаходиться в стані рухливої стійкої рівноваги. Атоми, розташовані на граничному шарі поверхні, мають зв'язок тільки з нижче розміщеними атомами і знаходяться в невірноваженому нестійкому стані.

Граничний шар товщиною порядку ($10^{-6} - 10^{-7}$) мм має великий запас вільної поверхневої енергії. Підвищена активність атомів, що знаходяться на поверхні твердих тіл, сприяє адсорбції елементів з навколишнього середовища. Товщина адсорбованого шару відповідає приблизно товщині однієї молекули жирних кислот і дорівнює (0,002–0,004) мкм або (20–40 $\overset{0}{A}$) (1 $\overset{0}{A}$ ангстрем дорівнює 10^{-10} м чи 0,0001 мкм).

Адсорбовані шари поверхнево-активних речовин суттєво впливають на процес пластичної деформації і міцність металу (ефект Ребиндера). Адсорбція знижує поверхневий натяг і енергію поверхневих атомів, полегшує розвиток деформації. На поверхні деталей виявляються сліди різних окислів Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , FeO . Товщина адсорбованих шарів на деталях складає в сталі – (10 – 20) $\overset{0}{A}$, у цинку – (5 – 6) $\overset{0}{A}$, в алюмінію – (100 – 150) $\overset{0}{A}$.

Нижче граничного шару, покритого плівкою водяних пар, олій і окислів, розташовується сильно деформований і зміцнений шар мета-

лу. Пластична деформація полікристалів цього шару викликає появу кристалічних напружень третього роду.

Деформаційне зміцнення (наклеп) металу після механічної об-

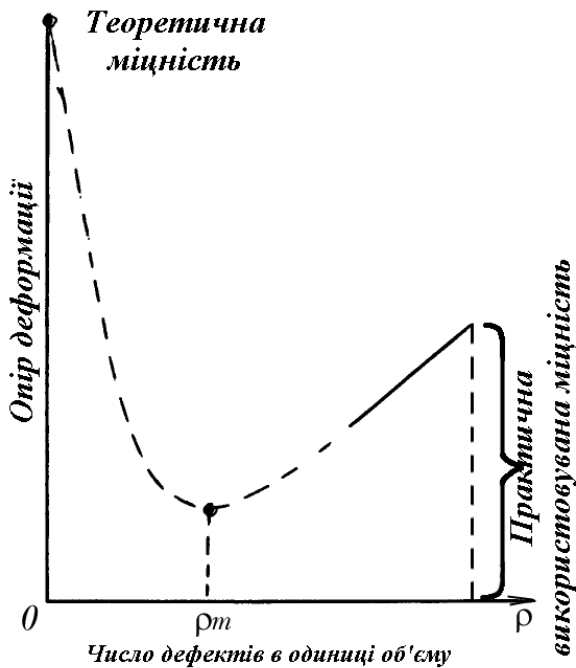


Рис. 5.1. Залежність опору деформації від числа дефектів.

робки засновано на збільшенні щільності дислокацій. Дефекти ґратки, з одного боку, сприяючи утворенню дислокацій, послабляють міцність кристалів, а з іншого боку, здійснюючи перешкоду вільному переміщенню дислокацій, зміцнюють їх. Деяка щільність дислокацій ρ_m відповідає мінімальному опору кристалів деформаціям (рис. 5.1). Зменшення ρ в порівнянні з ρ_m приводить до підвищення міцності, наближаючи структуру кристала до ідеальної. Збільшення числа дефектів в одиниці об'єму в порівнянні з ρ_m та-

кож викликає збільшення міцності за рахунок збільшення перешкод переміщенню дислокацій. Практичні методи зміцнення (наклеп, легування, термообробка) відповідають правій положистій гілці кривої (рис. 5.1). Кристали, що володіють майже ідеальною внутрішньою структурою (так названі "вуса") мають границі міцності для заліза - 13360 МПа, міді - 3000 МПа, цинку - 2250 МПа., у той же час у звичайному стані перераховані метали мають границі міцності: 300 МПа, 260 МПа, 180 МПа відповідно.

Пластична деформація металу, що супроводжується деформаційним зміцненням у зв'язку зі збільшенням щільності дислокацій і наявністю напружень другого і третього роду, приводить метал у структурно нестійкий, метастабільний стан.

У цих умовах у металі починають виникати релаксаційні процеси, що повертають метал у більш стійкий стан.

Швидкість протікання релаксаційних процесів (розміцнення) залежить від температури нагрівання металу і ступеня його зміцнення. Очевидно, чим сильніше зміцнений метал, тобто чим більше він віддалений від рівноважного стану, тим швидше буде протікати розміцнення. Ступінь розміцнення (відпочинку) підвищується: при зростан-

ні температури, при збільшенні тривалості нагрівання, при збільшенні напружень, що стимулюють протікання відпочинку.

При обробці заготовок під впливом сил поверхневі шари піддаються пластичній деформації, що супроводжується зміцненням (наклепом). Інтенсивність і глибина наклепу зростають із збільшенням сил різання і тривалості їхнього впливу.

Встановлено, що при точінні наклеп поверхневого шару зростає зі збільшенням подачі, глибини різання і радіуса округлення ріжучого леза [18].

Деталі стикаються між собою поверхнями. Спрацьовування деталі починається з поверхні. Тому важливо знати, які властивості поверхні реальної деталі, яка висота шорсткості. Якщо подивитися на поверхню гільзи в мікроскоп, що збільшує її в 1000 разів, то дзеркальна поверхня гільзи вже не буде здаватися гладкою. Ми побачимо на ній сліди обробки. Справа в тому, що шорсткості поверхні при самих тонких методах обробки не зникають, а тільки стають настільки малими, що людське око без допомоги мікроскопа не може їх знайти.

5.2. СТАНДАРТИЗАЦІЯ ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХНІ

У залежності від умов роботи деталей машин потрібно призначати різну шорсткість поверхні. На одній і тій же деталі окремі поверхні мають різну шорсткість.

Чому поверхні деталі мають різну шорсткість? Чи не краще було б усі поверхні виготовляти як можна чистіше? Цього не роблять тому, що для одержання більш гладкої поверхні різко зростають витрати праці.

Встановлено [27], що витрати праці деталей, виготовлених за 4-м квалітетом точності з висотою нерівностей $R_z = 0,016$ мкм у 4 – 5 разів вищі в порівнянні з деталями, виготовленими за 7-м квалітетом точності з висотою шорсткості $R_z = 0,16$ мкм.

Для одержання 7-го квалітета точності досить одного чистового проходу. Чистова обробка валів 4-го квалітета точності досягається в 3 – 4 проходи. Трудомісткість при цьому, природно, зростає. Деталі 4-го квалітета точності спочатку обробляються різцем, а потім шліфуються.

Таким чином, не слід прагнути одержувати високу точність і шорсткість, якщо цього не вимагають експлуатаційні умови роботи машини.

При конструюванні машин конструктор повинен одержувати шорсткість поверхні в строгій відповідності з точністю виготовлення

деталей [18]. Наприклад, при діаметрі сполучених деталей вище 50 мм рекомендується висоту шорсткості R_z призначати з врахуванням допуску на виготовлення T (мкм).

$$R_z = (0,10 \div 0,15)T.$$

При діаметрі сполучених деталей від 18 до 50 мм

$$R_z = (0,15 \div 0,20)T.$$

При діаметрі сполучених деталей менше 18 мм

$$R_z = (0,20 \div 0,25)T.$$

Згідно ГОСТу 2789–73 параметри шорсткості вибираються з наступної номенклатури: R_a – середнє арифметичне відхилення профілю; R_z – висота нерівностей профілю по десятиох точках; R_{max} – найбільша висота нерівностей профілю; S_m – середній крок нерівностей по середній лінії; S – середній крок нерівностей по вершинах; t_p – відносна опорна довжина профілю, де p – значення рівня перетину профілю.

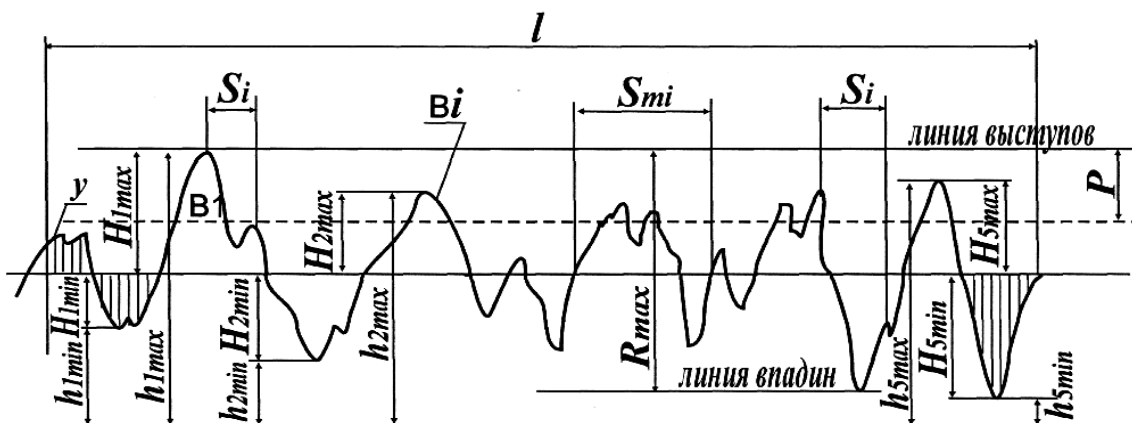


Рис. 5.2. Профілограма поверхні.

ГОСТ 2789-73 розбиває одержувану у всіх галузях машинобудування шорсткість на 14 класів. Класи шорсткості від 6-го до 14-го розбиті кожний додатково на 3 розряди. На рис. 5.2 представлена профілограма поверхні.

Сума середніх арифметичних відхилень точок п'яти найбільших максимумів профілю в межах базової довжини дорівнює

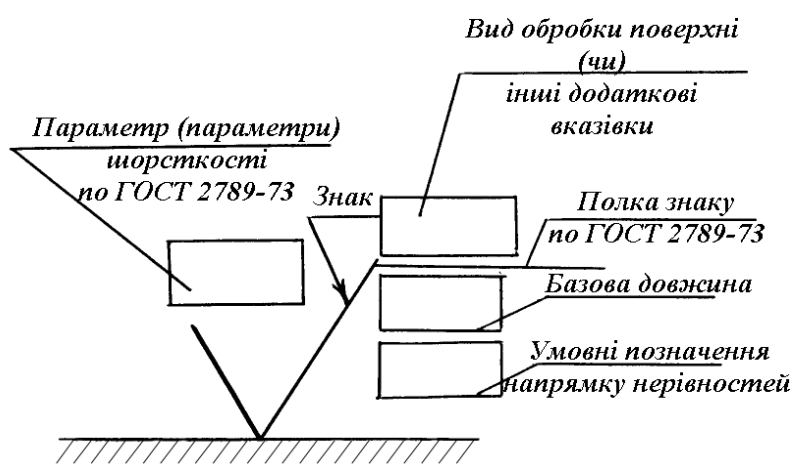
$$R_z = \frac{1}{5} \left(\sum_{i=1}^5 |H_{i\max}| + \sum_{i=1}^5 |H_{i\min}| \right)$$

чи

$$R_z = \frac{1}{5} \left(\sum_{i=1}^5 h_{i \max} - \sum_{i=1}^5 h_{i \min} \right).$$

Середнє арифметичне відхилення профілю в межах базової довжини визначається з виразу $R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|$.

Відносна опорна довжина профілю дорівнює відношенню опорної довжини профілю $\sum_{i=1}^n b_i$ до базової довжини l тобто $t_p = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^n b_i$, де p – характеризує рівень перетину профілю, що дорівнює відстані між



лінією виступів профілю профілограми і лінією, що перетинає профіль у досліджуваному перетині.

На рис. 5.3 представлено рекомендоване ГОСТом 2.309–73 позначення шорсткості поверхні.

Рис. 5.3. Рекомендоване ГОСТом 2.309 – 73 позначення шорсткості поверхні.

У тих випадках, коли конструктор не

вказує метод обробки поверхні, шорсткість поверхні позначається знаком 1 (рис. 5.4, б). Якщо конструктор вказує метод обробки, то шорсткість поверхні позначається знаком 2 (рис. 5.4, б).

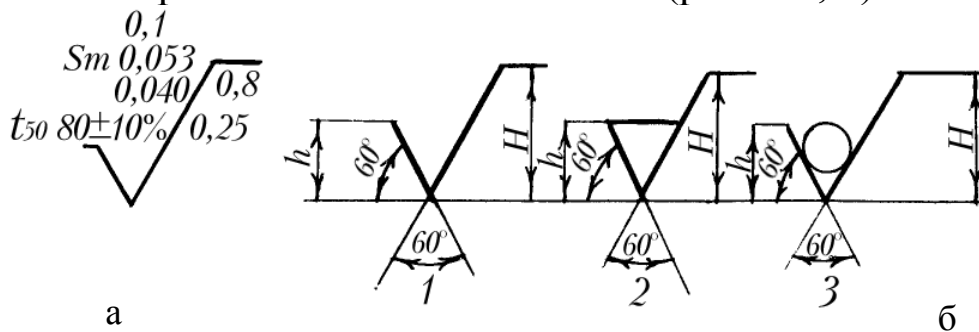


Рис. 5.4. Повний запис шорсткості поверхні (а) і умовні знаки позначення шорсткості (б) ($H=(1,5-3)h$, h – дорівнює висоті цифр розмірних чисел на кресленні): 1 - без вказівки методу обробки; 2 - із вказівкою методу обробки; 3 - чорнові поверхні.

Чорні поверхні позначаються знаком 3 (рис. 5.4, б). При позна-

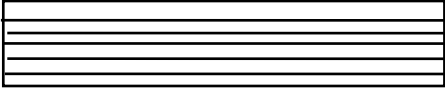
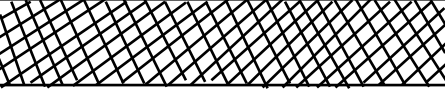
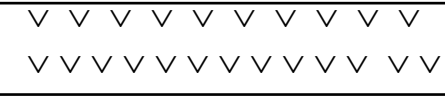


ченні шорсткості поверхні вказуються межі коливань, наприклад, $R_{z_{0,080}^{0,032}}$; $R_{max_{0,32}^{0,80}}$; $t_{50_{70}^{50}}$.

В останньому прикладі $t_{50_{70}^{50}}$ вказується відносна опорна довжина профілю в межах $t_p = 70\%$ при рівні перетину профілю $p = 50\%$.

При позначенні двох чи більш параметрів шорсткості поверхні варто вказувати спочатку висоту нерівностей, потім крок нерівностей профілю, а потім опорну довжину профілю.

Наприклад, повний запис шорсткості поверхні показаний на (рис. 5.4, а). Умовні позначення напрямку нерівностей показані в табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Схематичне зображення нерівностей		Позначення
	рівнобіжна	$\sqrt{\equiv}$
	перпендикулярна	$\sqrt{\perp}$
	перехресна	$\sqrt{\rangle}$
	довільна	\sqrt{M}
	кругова	\sqrt{C}
	радіальна	\sqrt{R}

За ГОСТ 2789–73 рекомендується оцінювати висоту нерівностей профілю R_z , що змінюється в межах $(320 \div 10)$ мкм (з 1 по 5 класів шорсткості поверхні) і від 0,10 до 0,025 мкм (з 13 по 14 класів шорсткості).

Середнє арифметичне значення профілю R_a застосовується для оцінки шорсткості, що змінюється в межах від 2,5 до 0,020 мкм (в інтервалі 6 – 12 класів шорсткості).

Оцінка відповідності фактичної шорсткості поверхні, заданої на кресленні, проводиться за допомогою застосування спеціальних приладів.

5.3. ПРИЛАДИ ДЛЯ ВИМІРУ ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХНІ

Оцінюючи шорсткість поверхні ступенем чи на око, ми одержуємо вкрай суб'єктивні результати оцінки. Але якщо робити зіставлення двох шорсткуватих поверхонь, можна порівняно точно визначити, яка з двох поверхонь має більш високу шорсткість.

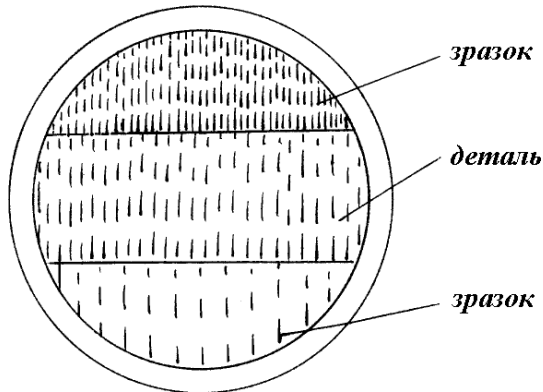


Рис. 5.5. Зони порівняння шорсткості поверхні з еталонами.

Варто помітити, що окомірну оцінку шорсткості порівнянням з еталоном чистоти можна робити лише для поверхонь не менше 6–7 класів чистоти.

Для поверхонь з більш високим класом шорсткості людське око не в змозі дати достовірну оцінку шорсткості.

Для більш точної оцінки шорсткості застосовують мікроскопи порівняння. У полі зору приладу видно шорсткість деталі і двох зразків, збільшена в 10–15 разів (рис. 5.5).

Оптична схема мікроскопа порівняння показана на рис. 5.6. На барабани 2 встановлюється по шість зразків різної шорсткості. Обертанням барабана встановлюють зразки таким чином, щоб з однієї сторони був зразок з більш грубою шорсткістю поверхні, чим поверхня деталі, а з іншої – зразок з більш чистою поверхнею.

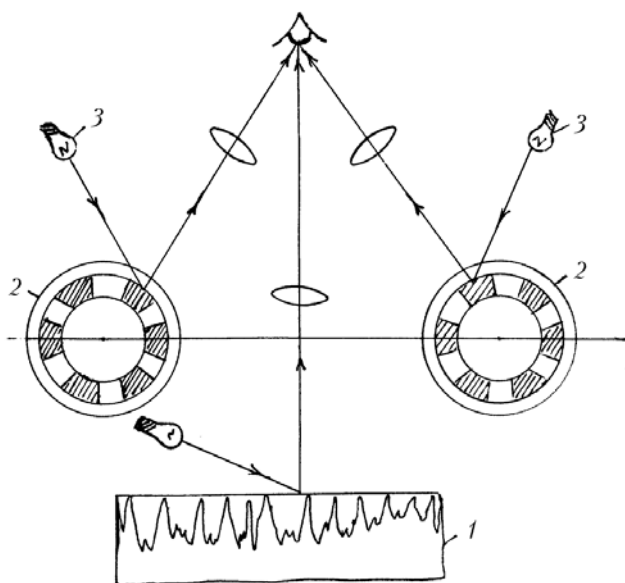


Рис. 5.6. Схема мікроскопа порівняння шорсткостей.

Зіставляючи шорсткість деталі з еталоном чистоти, можна більш упевнено сказати, що шорсткість поверхні деталі знаходиться в межах, встановлених еталоном чистоти. Цей прилад застосовується для оцінки висоти шорсткості поверхні від 8-го до 11-го класів, тобто від 0,63 мкм до 0,04 мкм. Мікроскоп порівняння не дає кількісної оцінки висоти нерівностей.

Для кількісної оцінки висоти нерівностей існують прилади, засновані на принципі обмацування алмазною голкою поверхні і на принципі зламу світлового променя. Сутність методів вимірювання шорсткості поверхні можна розглянути на наступних прикладах.

У 1929 році російський вчений академік В. П. Линник запропонував прилад для оцінки шорсткості поверхні, заснований на методі так названого світлового перетину. Якщо промінь світла направити під визначеним кутом на оброблену поверхню, а з протилежної сторони під таким же кутом робити спостереження за поверхнею, то по величині зламу світлового променя можна судити про величину шорсткості поверхні. Цей прилад називається подвійним мікроскопом академіка В.П. Линника. Він дає збільшення до 318 разів (рис. 5.7).

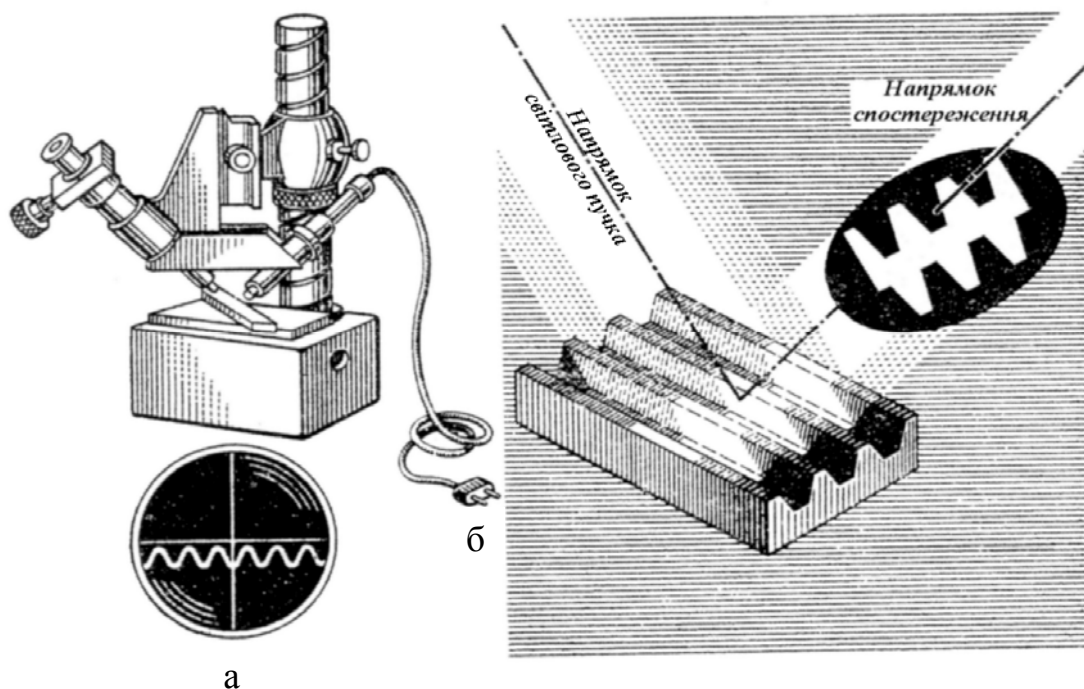


Рис. 5.7. Подвійний мікроскоп академіка В. П. Линника.

Прилади, що працюють по методу обмацування, називаються профілометрами чи профілографами. Алмазна голка з малим радіусом заокруглення вершини до 12 мікронів, переміщуючись по деталі, копіює наявні на поверхні нерівності. При переміщенні голки, що знаходиться в електричному полі постійного магніту в соленоїді, виникає електричний струм, величина якого пропорційна величині підйому голки. Струм через підсилювач передається реєструючому приладу, який показує величину шорсткості.

Профілографи дозволяють записати профілограми поверхні із збільшенням, що досягає 40000 разів. На рис. 5.8 представлена профілограма поверхні.

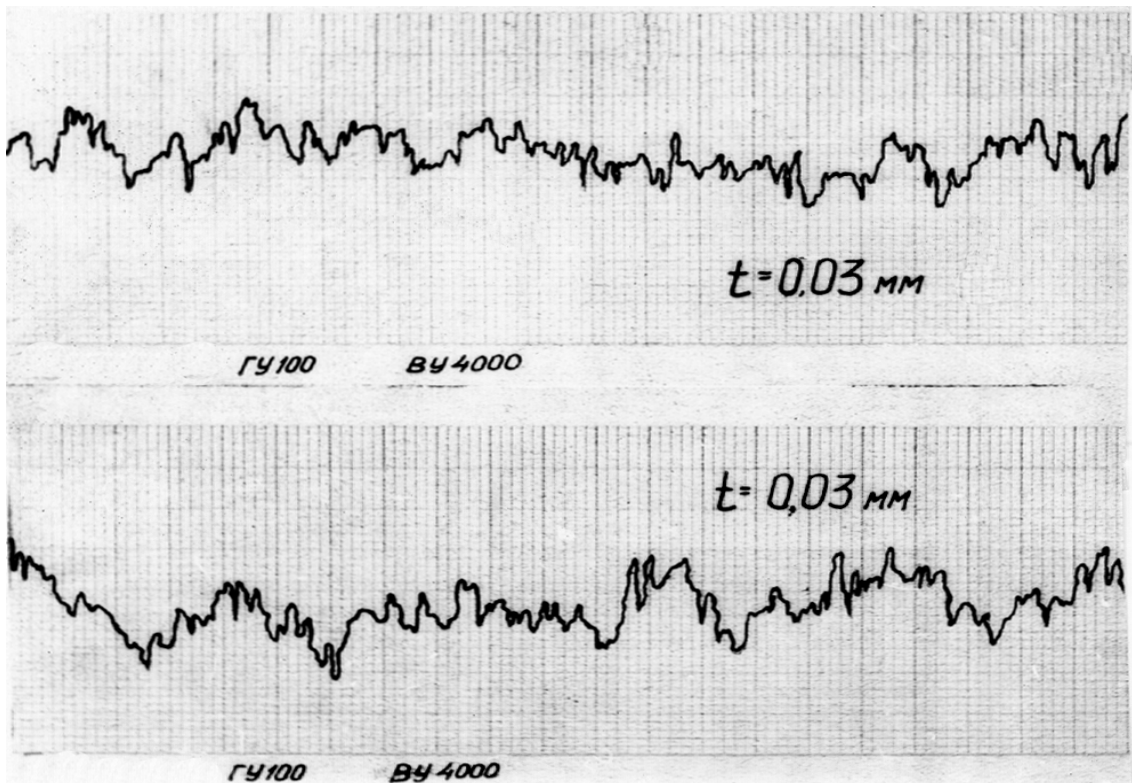


Рис. 5.8. Профілограма шорсткості поверхні після шліфування сталі 7X12BM, кругом 24A16CM26K на режимі $V_{kp} = 35 \text{ м/хв}$, $V_{\dot{n}\dot{o}} = 10 \text{ м/с}$, $S_e = 0$, $t = 0,03 \text{ мм}$, без СОЖ.

5.4. ПРИЧИНИ УТВОРЕННЯ ШОРСТКОСТЕЙ НА ОБРОБЛЕНІЙ ПОВЕРХНІ

Шорсткість - це сліди, залишені ріжучим інструментом на обробленій поверхні.

Найбільш наочне утворення шорсткості можна показати на прикладі обробки плити різцем на стругальному верстаті.

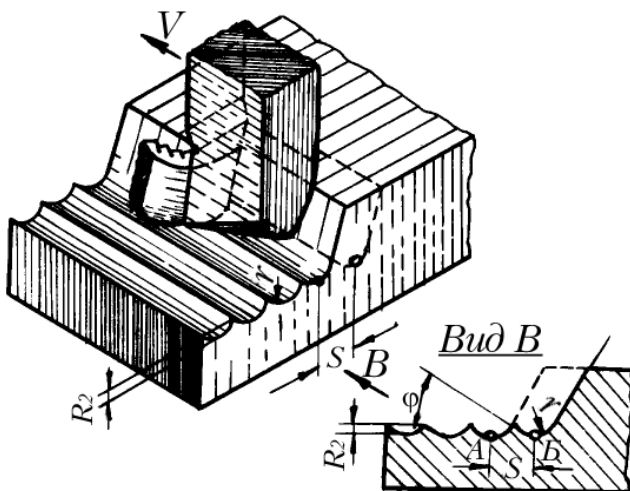


Рис. 5.9. Формування шорсткості на стругальному верстаті.

На стругальному верстаті різець робить рух вздовж плити, зрізаючи шар оброблюваного матеріалу заданої глибини (рис. 5.9). Після кожного проходу вздовж плити різець, зрізавши вузьку смужку металу, повертається назад. Наприкінці цього холостого ходу різець переміщується поперек плити на величину подачі S .

На стругальному верстаті різець робить рух вздовж плити, зрізаючи шар оброблюваного матеріалу заданої глибини (рис. 5.9). Після кожного проходу вздовж плити різець, зрізавши вузьку смужку металу, повертається назад. Наприкінці цього холостого ходу різець переміщується поперек плити на величину подачі S .

Аналогічний профіль перетину обробленої поверхні формується при обробці на токарному верстаті.

Висота гребінців на обробленій поверхні залежить від подачі S , радіуса заокруглення вершини різця і допоміжного кута в плані φ . Чим менша подача і більший радіус заокруглення вершини різця, тим меншою буде висота шорсткості.

Висоту шорсткості H можна знайти з виразу:

$$H = \rho - \frac{\sqrt{4\rho^2 - S^2}}{2},$$

де ρ – радіус заокруглення вершини різця, у мм; S – подача, мм/об.

Якщо допоміжну ріжучу кромку розташувати паралельно траєкторії подачі, а її довжину зробити більшою ніж величина подачі, то ніяких шорсткостей на обробленій поверхні не повинно бути. Такий метод застосовується на розвертках, торцевих фрезах і багатьох інших інструментах. Однак ідеально гладкої поверхні при цьому не виходить. При самих сприятливих умовах при розгортанні можна одержати шорсткість поверхні не вище 9-го класу за ГОСТ 2789 - 73. Варто помітити, що на висоту шорсткості поверхні, крім геометричних параметрів, впливає цілий ряд інших факторів.

Наприклад, наріст, що утворився на передній поверхні, впливає на шорсткість поверхні. У процесі обробки геометрична форма наросту змінюється. Встановлено [23], що чим більша величина наросту, тим більша висота нерівностей. Наріст, маючи нестабільну і нерівну кромку, залишає на обробленій поверхні глибокі риси (рис. 5.10).

Істотний вплив на висоту шорсткості мають режими обробки і фізико-механічні властивості оброблюваного матеріалу. Наприклад, при обробці пластичних матеріалів, до яких відносяться сталь, алюмінієві

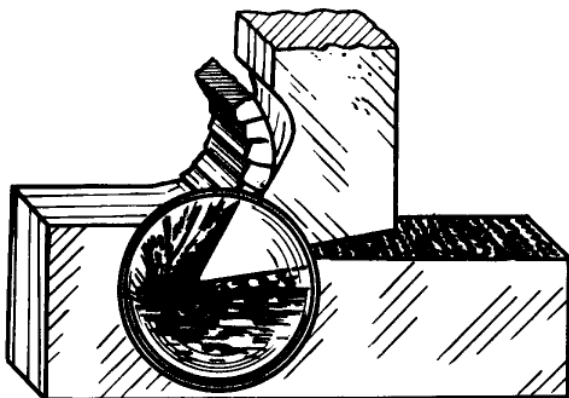


Рис. 5.10. Обробка матеріалу з наростом на різці.

сплави й ін., суттєвий вплив на шорсткість поверхні має швидкість різання.

Наприклад, при обробці сталі 45 з повздовжньою подачею 0,2 мм/об в інтервалі збільшення швидкості різання від 5 до 25 м/хв, висота шорсткості поверхні зростає від $R_z=25$ мкм до $R_z=40$ мкм. В інтервалі збільшення швидкості різання від 25 м/хв до

90 м/хв висота шорсткості обробленої поверхні зменшується від $R_z=40$ мкм до $R_z=20$ мкм.

Погіршення шорсткості пов'язане із збільшенням наросту. Утворення наросту залежить насамперед від температури різання.

Для машинозамінних сталей максимальна величина наросту виникає при температурі 200°C. З підвищенням температури ймовірність появи наросту зменшується і при 600°C наріст цілком зникає. Для поліпшення частоти поверхні варто збільшувати швидкість різання при одночасному зменшенні повздовжньої подачі. Однак відомі випадки, коли надмірне зменшення повздовжньої подачі може викликати появу матової поверхні. При уважному розгляді цієї поверхні можна побачити

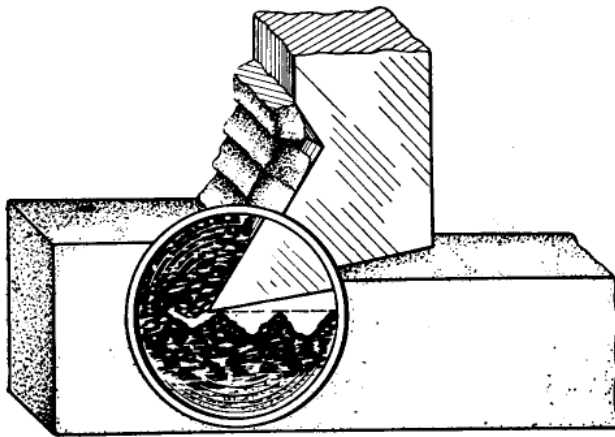


Рис. 5.11. Обробка крихких матеріалів.

стружки тут відбувається по границях зерен. Чим менша швидкість різання, тим більша можливість відділення стружки надламу (рис. 5.11).

При високих швидкостях різання відділення стружки по границях зерен не встигає відбутися. Зерна не вириваються, а підрізаються.

При обробці кольорових металів (мідь, алюміній) для усунення наросту рекомендується робити обробку на швидкостях різання 1500 – 2000 м/хв.

5.5. ПРИЧИНИ ВИНИКНЕННЯ ШЛІФУВАЛЬНИХ ТРІЩИН

На оброблюваних поверхнях деталей, виготовлених з легованих сталей, твердих і жароміцних сплавів, часто після шліфування з'являються тріщини. Тріщини звичайно, поширюються в області стику зустрічних пластично деформованих зон металу. Найбільш м'які фази деформуються більше, причому деформація має зсувний

характер. Зрушення фаз поширюються по площинам, що має найменший опір деформації.

Характер тріщин, що утворюються, у площині обробки підтверджує наявність ефекту зсуву в напрямку, перпендикулярному до слідів обробки. Явище зсуву свідчить про те, що руйнування поверхні відбувається не в період її нагрівання, а в період охолодження, тобто після виходу з зони різання.

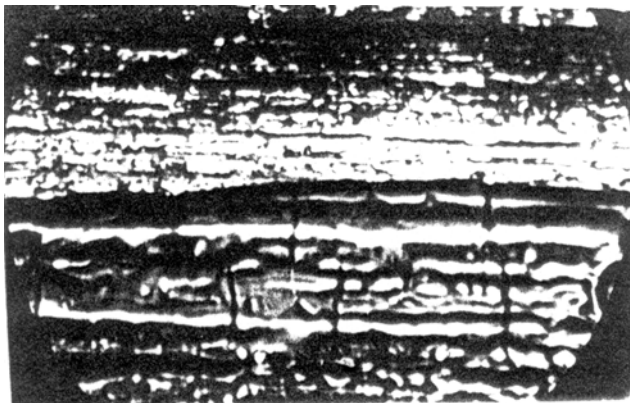


Рис. 5.12. Тріщини усадочного характеру.

Крім того, під дією високих температур, які викликають оплавлення гребінців мікронерівностей на поверхні, виникають тріщини металургійного (усадочного) характеру (рис. 5.12).

У структурі оброблюваного матеріалу міститься безліч небезпечних у різному ступені

дефектів. При деяких умовах навантаження кожного з цих дефектів, подібно надрізу, служить джерелом концентрації напружень і місцем зародження тріщини. Найбільш небезпечними джерелами зародження тріщин є включення у виді суцільних міжзернових плівок.

Міжзернові включення складаються з твердих і термостійких продуктів (карбідів, цементиту, окислів, нітридів і т.д.). У цих випадках тріщини зароджуються на границях зерен, тому що інтенсивність напруження на границях зерен максимальна. Внутрішня енергія у формі мікронапруження збільшує хімічну активність корозійного впливу. Области металів, що знаходяться в стані підвищеної енергії, термодинамічно менш стійкі, чим сусідні до них області того ж металу з меншою напруженістю.



Рис. 5.13. Шліфувальні тріщини.

Здебільшого тріщини мають замкнутий вид і розташовуються на границях контуру спадкоємних аустенітних зерен. На рис. 5.13 представлена шліфувальна тріщина, що проходить по границі аустенітного зерна. Всередині аустенітного зерна знаходяться здрібнені зерна, сформовані при термічній обробці.

Здебільшого тріщини мають замкнутий вид і розташовуються на границях контуру спадкоємних аустенітних зерен. На рис. 5.13 представлена шліфувальна тріщина, що проходить по границі аустенітного зерна. Всередині аустенітного зерна знаходяться здрібнені зерна, сформовані при термічній обробці.

Руйнування металу на границях зерен пов'язане з тим, що всередині кожного спадкоємного аустенітного зерна міститься велика кількість більш дрібних зерен, що мають різну орієнтацію стосовно контуру спадкоємного зерна. Довільно орієнтовані зерна фаз, що сформувалися при гартуванні, у силу анізотропії при нагріванні розширюються, а при охолодженні скорочуються по-різному. Це впливає на каркас-оболонку спадкоємних зерен, викликаючи руйнування на границях зерен.

Високі температури в зоні різання викликають послаблення зв'язків на границях фаз, а різниця коефіцієнтів лінійного й об'ємного розширення матеріалів фаз і каркаса збільшує зсувні ефекти в напрямку, перпендикулярному траєкторії переміщення ріжучих зерен. На границях зерен величина необхідного напруження для руйнування значно менша, ніж опір відриву всередині самого зерна.

У цементованих сталях послабленими ділянками є цементна сітка, у жароміцних сплавах – інтерметалідна фаза на границях кристалів твердого розчину, у металокерамічних сплавах – пори чи інші металеві включення, у високохромованих сталях охрупчування додає карбідна стрічковість.

На рис. 5.14 представлений зовнішній вигляд структури сплаву ХН80ТБ10. По границях аустенітних зерен виділена інтерметалідна α' фаза.

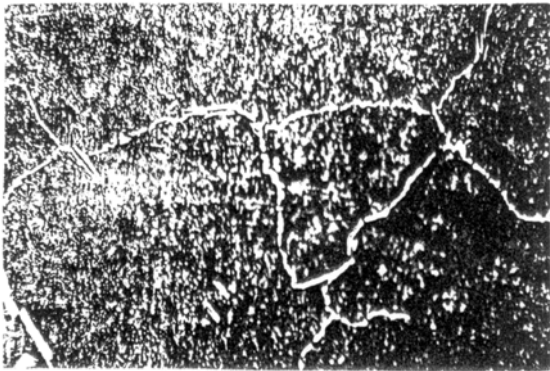


Рис. 5.14. Структура, на границях зерен якої виділена інтерметалідна α' фаза.

Схильність металів до тріщиноутворення залежить від стану структури, що сформувалася при литті, куванні і термічній обробці. Наприклад, карбідну стрічковість у високохромованих сталях можна усунути додатковим легуванням молібденом, ванадієм, кобальтом, ніобієм і іншими елементами при литті.

Цементну сітку усувають шляхом підбору режимів термічної обробки. Структуру жароміцного сплаву ХН80ТБ10 у виді твердого розчину з дисперсним виділенням інтерметалідної α' фази можна одержати шляхом забезпечення інтервалу коливань температур при гартуванні до $1220^{\circ}\pm 5^{\circ}$ і рівномірного температурного поля по всьому поду печі.

Твердість поверхні підвищує чутливість її до появи тріщин. На-

приклад, при шліфуванні цементованої сталі 12Х2Н4А з вихідною твердістю HRC 58 - 60 тріщини з'являються рідко. З підвищенням твердості до HRC 65 - 66 ймовірність появи тріщин різко збільшується.

Приведені дані показують, що технологічна спадковість матеріалів має пряме відношення до тріщиноутворення при шліфуванні. Тому проблему усунення шліфувальних тріщин треба вирішувати протягом усього ходу технологічного процесу.

5.6. ВПЛИВ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ПЛАВКИ НА ВИНИКНЕННЯ ШЛІФУВАЛЬНИХ ТРІЩИН

На досвіді машинобудівних заводів відомо, що, незважаючи на запобіжні міри по зменшенню теплонапруженості процесу (наприклад, шляхом застосування переривчастих кіл чи імпрегнування), на деталях із хромонікелевих сталей після шліфування в ряді випадків з'являються тріщини. Їхня поява носить епізодичний характер і,

як встановлено [32], не пов'язана з яким-небудь відхиленням від прийнятої технології механічної і термічної обробки.

Вивчення цього аспекту [32] показало, що поява шліфувальних дефектів залежить від індивідуальних особливостей плавки сталей.

Було встановлено [33], що в залежності від хімічного складу плавки сталі 12Х2Н4А по характеру зміни дилатометричних кривих можна розділити на дві групи (рис. 5.15).

Для першої групи плавки характерний частковий розпад аустеніту в області високих температур (350 – 400°C) (крива 1), для другої групи – розпад аустеніту відбувається при низьких температурах (70 – 100°C) (крива 2).

На деталях із плавки першої групи шліфувальних тріщин не виникає, а на деталях із плавки другої групи шліфувальні тріщини з'являються дуже часто. Спробуємо пояснити процеси, що відбуваються.

Механічні властивості хромонікелевих сталей до 600°C майже не змінюються. Подальше збільшення температури приводить до різ-

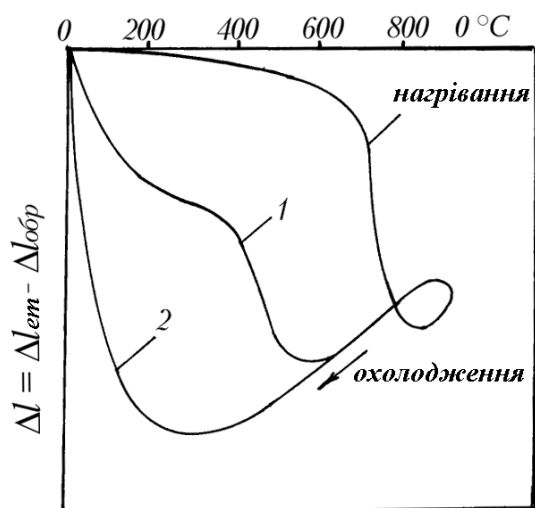


Рис. 5.15. Дилатометричні криві різних плавки сталі 12Х2Н4А (за даними В. А. Бахвалова).

кого збільшення пластичності і зменшення границі текучості матеріалу. У зоні різання метал розігрівається до температур, що перевищують критичні точки структурних перетворень. Зменшення обсягу металу при охолодженні викликає появу розтягуючих напружень. Поряд з цим для плавок сталей, що мають на диламетричних кривих сходинку (рис. 5.15) в інтервалі зміни температур 350 – 400°C, відбувається розпад аустеніту, що супроводжується збільшенням обсягу. При цих умовах виникають напруження зворотного знаку (стискуючі напруження). В результаті після повного охолодження в матеріалі виникнуть невеликі розтягуючі напруження, що не викликають появи тріщин.

У сталях, що відносяться до другої групи, розпад аустеніту відбувається при температурах нижче 200°C. Тут внутрішні напруження розтягу не врівноважуються структурними напруженнями стиску. В міру охолодження вони безупинно збільшуються й в інтервалі 150 – 200°C досягають значень, що перевищують границю міцності металу.

5.7. ВПЛИВ ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИЙ СТАН ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ДЕТАЛЕЙ

При обробці металів різанням у поверхневому шарі відбувається подрібнення, поворот і витягування кристалічних зерен у напрямку сили різання і формування текстури. Пластична деформація здійснюється шляхом руху хвиль дислокацій по площинах ковзання з їхнім виходом на поверхню кристалів і утворенням відповідних сходинок зрушення. Пластична деформація супроводжується деформаційним зміцненням (наклепом). У мікроскопічних обсягах виникають міжкристалітні і внутрішньокристалітні напруження другого і третього роду.

Деформаційне зміцнення супроводжується зміною фізичних, електричних, магнітних і інших властивостей металу. Зменшується щільність металу, наприклад, при досягненні ступеня холодної пластичної деформації, рівного 90%, обсяг деформованого чистого заліза і сталі збільшується на 5% [18]. Пластична деформація знижує корозійну стійкість, його магнітну проникність, залишкову індукцію, електропровідність і теплопровідність, підвищує коерцитивну силу й електричний опір, швидкість протікання дифузійних процесів. Зміна зазначених властивостей металів істотно впливає на експлуатаційні властивості деталей машин. Отже, при проектуванні технологічних процесів треба враховувати процеси, що відбуваються, у зоні різання.

Пластична деформація супроводжується виділенням у зоні різання тепла. Під дією високих температур у металі виникають релаксаційні явища розміцнення (відпочинку). Метал повертається в більш стійкий стан.

Швидкість розміцнення залежить від температури нагрівання металу і ступеня його зміцнення. Чим сильніше зміцнений метал, тобто чим більше він вилучений від рівноважного стану, тим швидше і повніше буде протікати його розміцнення. Розміцнення металу відбувається не тільки після закінчення пластичної деформації, але й у період самої деформації. При обробці металів у зоні різання протікають два протилежних за своїми результатами процесу - зміцнення і розміцнення. Кінцевий стан поверхневого шару металу визначається співвідношенням швидкостей протікання процесів зміцнення і розміцнення, що залежать від силового і теплового факторів. Ступінь і глибина наклепу залежать від виду механічної обробки, режиму і геометрії ріжучого інструмента.

При обробці лезвими інструментами (при точінні, фрезеруванні, свердлінні) ступінь наклепу поверхневого шару матеріалу і глибина зростають із збільшенням подачі, глибини різання і радіуса округлення ріжучого леза. Швидкість різання виявляється через зміну теплового впливу на метал і, відповідно, зниження ступеня наклепу.

При обробці загартованих сталей абразивними інструментами в зоні різання часто виникають температури, що перевищують структурні і фазові перетворення. У результаті на поверхні виникають великі розтягуючі напруження, величина яких у ряді випадків перевищує границю міцності матеріалу. На поверхнях, що шліфуються, виникають шліфувальні дефекти: припіки і тріщини.

Припіки – місцеві зміни структури поверхневого шару металу, що утворюються в результаті виникнення в зоні різання високих температур. В залежності від зовнішнього впливу припіки бувають суцільні – вся поверхня деталі покрита припіком, плямисті – на поверхні містяться окремі плями з припіками й у виді окремих штрихів (рис. 5.16).

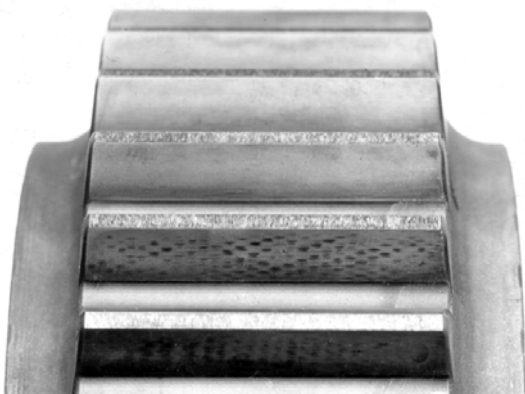


Рис. 5.16. Зовнішній вигляд штрихових припиків.

По характеру зміни мікроструктури розрізняють припіки відпустки, що представляють структуру

трооститу, чи сорбіту троосто-мартенситу, і припіки вторинного загартування з відпусткою. У поверхневому шарі повторно-загартований шар має підвищену твердість і підвищений процентний вміст аустеніту. Він розташований на м'якій основі відпущеного шару, що далі переходить у нормальну мартенситну структуру.

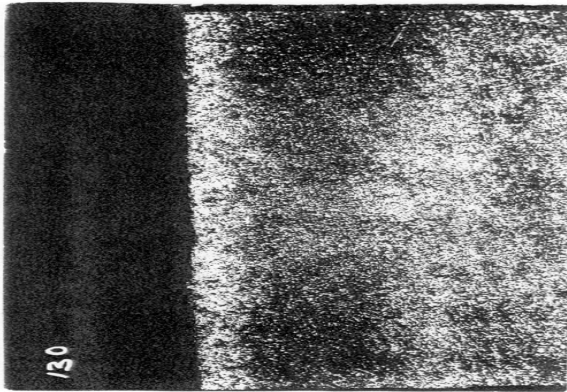


Рис. 5.17. Зовнішній вигляд структури зразка із сталі 12X2H4A після шліфування на режимі $t = 0,05$ і і , $V_{\text{д}} = 10$ і /дбâ , $V_{\text{кр}} = 30$ і /ñ.

На рис. 5.17 представлений протравлений макрошліф структури поверхневого шару плоского зразка із сталі 12X2H4A після шліфування. Білий шар вторинного загартування, що нетруїться, поширюється на глибину 0,01 - 0,02 мм. Цей шар має твердість 9500–10000 МПа при вихідній твердості до шліфування $H_{100} = 7600$ –8000 МПа. За білим шаром залягає відпущений шар троостито-сорбітної структури (темна зона), що має твердість H_{100}

4800–5000 МПа. Розроблена дев'яти бальна класифікація припіків за ступенем зростання їхньої концентрації [41].

$$N = \left(100 - \frac{H_{100i} - 100}{H_{100вих}} \right) \%,$$

де N – ступінь відпустки у відсотках; H_{100i} – мікротвердість відпущеної структури матеріалу після шліфування; $H_{100вих}$ – вихідна мікротвердість структури до шліфування.

Припик нульового бала відповідає вихідній структурі, яка формується при хіміко-термічній обробці і має деяке зниження твердості в порівнянні зі структурою до шліфування. Наприклад, припик 1-го і 2-го бала по зовнішньому вигляді структури мартенситу не відрізняється від вихідної, але має також знижену твердість.

Припик восьмого бала відповідає ступеню зниження твердості на 35 - 40% стосовно вихідного. Результати мікроструктурного аналізу вимірювання мікротвердості косою зрізу на приладі ПМТ-3 дозволили провести класифікацію припіків по балах [41].

Припіки від 3-го до 6-го балу мають трооститну структуру з різним ступенем відпустки і із зростаючою глибиною дефектного шару. Припіки 7-го і 8-го балів мають сорбітну структуру.

Таблиця 5.2

Ступінь концентрації припіка	Структура металу	Глибина відпущеного шару, мкм	Мікротвердість, МПа		
			основного металу	обробленої поверхні	ступінь зниження твердості, %
0	мартенсит	–	7600	7200	5,3%
1	мартенсит	–	7400	6650	10%
2	мартенсит	–	7000	6300	15%
3	троостит	26,2	8200	6300	20%
4	троостит	36,7	7900	6200	23%
5	троостит	44,6	8100	6300	26%
6	троостит	52,4	7900	5400	32%
7	сорбіт	78,0	8000	5200	35%
8	сорбіт	83,8	7200	4600	38%

Розглядаючи зміну мікроструктури поверхні деталі з різною концентрацією припиків, можна судити приблизно про теплонапруженість процесу шліфування. Відомо, що мартенсит переходить у троостит при нагріванні в діапазоні зміни температур 200 – 450°C, а в сорбіт – в інтервалі зміни температур 500 – 600°C. Отже, деталі, що мають концентрацію припиків поверхні від 3-го до 6-го балів включно, нагрівалися в інтервалі зміни температур 200 – 400°C, а припіки 7-го і 8-го балів сформувалися в діапазоні змін температур 500 – 600°C.

Залежність температури нагрівання поверхні деталі від ступеня концентрації припиків визначається рівнянням $\theta=75B$ [41], де буква *B* характеризує номер бала відпущеної структури. Наприклад, відпущена структура 7-го бала виникає при температурі нагрівання $T = 75 \cdot 7 = 525^\circ\text{C}$.

Проведений аналіз свідчить про те, що однією з головних причин, що впливає на фізико-механічний стан поверхневого шару деталей, є температура в зоні різання.

Отже, для керування якістю поверхневого шару деталей необхідно розробити спосіб впливу на теплонапруженість процесу обробки.

5.8. ТЕРМОМЕХАНІЧНІ ПРОЦЕСИ, ЯКІ ПРОТІКАЮТЬ В ПОВЕРХНЕВОМУ ШАРІ ДЕТАЛЕЙ ПРИ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНІЙ ОБРОБЦІ

У зоні контакту шліфувального кола з оброблюваною деталлю виникають температури, що іноді перевищують критичні точки стру-

ктурних перетворень. Незважаючи на короткочасність нагрівання, у поверхневих шарах деталей виникають структурні і фазові зміни. Область, у якій протікають термомеханічні процеси від високих температур, що виділяються при шліфуванні, можна розділити на три характерні зони (рис. 5.18):

1. Незначного підвищення температури перед тепловим джерелом, яке наближається.
2. Інтенсивного виділення тепла під тепловим джерелом.
3. Інтенсивного охолодження після проходження теплового джерела.

Поверхневі шари матеріалу першої зони нагріваються до температур порядку 150 – 200°C. При цих температурах структурні і фазові перетворень не відбуваються, але матеріал піддається відповідному розширенню, підвищується рухливість дислокацій, що сприяють розпушенню матеріалу. У цій зоні виникають стискаючі напруження, що відносяться до пружнопластичного типу.

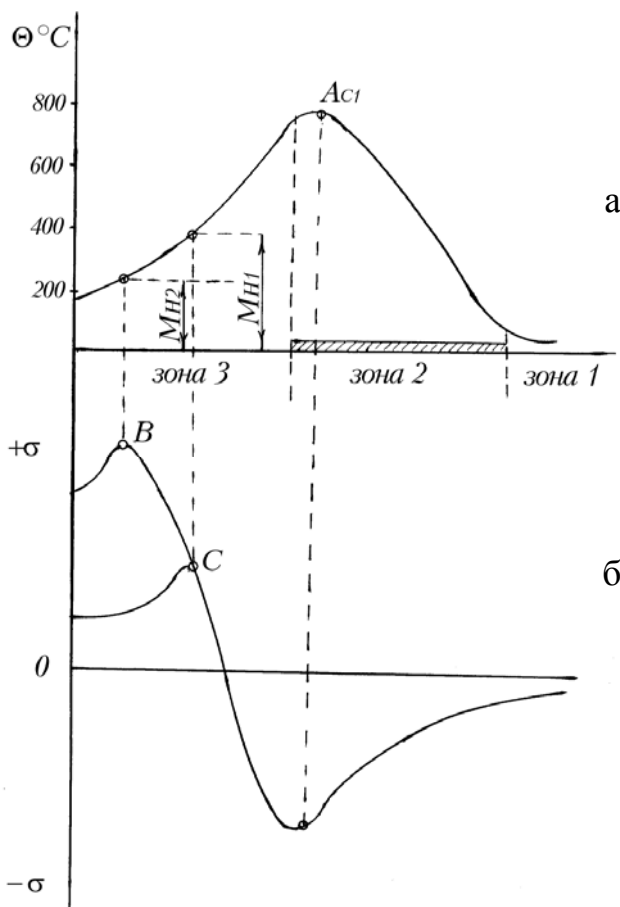


Рис. 5.18. Кінетика формування термомеханічного стану поверхневого шару при шліфуванні: 1 - зона попереднього розігріву; 2 - зона інтенсивного тепловиділення; 3 - зона інтенсивного охолодження.

Друга зона піддається силовому і термічному впливу. Від термомеханічного удару матеріал у цій зоні піддається не тільки структурним і фазовим перетворенням, але і відповідному розширенню від високих температур.

В інтервалі нагрівання тонкого шару до точки AC_1 в ньому виникають напруження стиску. При подальшому збільшенні температури поверхневий шар, з одного боку, продовжує збільшуватися в обсязі, а з іншого, – за рахунок утворення структур розпаду мартенситу з меншим питомим обсягом прагне стискатися. Підсумовування теплових і структурних напружень приводить до зменшення їхнього рівня. Величина

стискаючих напружень досягає максимуму при температурі, що відповідає точці AC_1 .

У зоні 3 поверхневий шар піддається інтенсивному охолодженню, зменшуючись в обсязі. Глибинні шари, перешкоджаючи цьому, викликають у верхньому шарі появу напружень зворотного знаку (розтягуючих). Останні досягають максимуму при температурі, що відповідає критичній точці M .

Подальше зниження температури супроводжується збільшенням обсягів і, відповідно, зменшенням напружень за рахунок бездифузійного перетворення аустеніту в мартенсит. На рис. 5.18 видно, що зі зниженням температури, що відповідають точкам бездифузійного $\gamma \rightarrow \alpha$ перетворення від M_{i1} до M_{n2} , тимчасові розтягуючі напруження збільшуються від точки C_0 до B . Встановлено, що на деталях із плавок, що мають точку мартенситного перетворення в межах $300 - 400^\circ\text{C}$, шліфувальні тріщини не виникають і, навпаки, сталі, що мають точку мартенситного перетворення в області $80 - 120^\circ\text{C}$, надмірно схильні до шліфувальних тріщин.

У зв'язку з викладеним виникає необхідність всебічного вивчення температурного поля як у виробі, так і в інструменті на основі фундаментальних законів природи і сучасного математичного апарата.

5.8.1. ПОСТАНОВКА ТЕПЛОВИХ ЗАДАЧ

У реальних процесах обробки умови на границях деталі і інструмента настільки складні, що описати їх мовою математики без схематизації не можливо. При схематизації виділяються найбільш істотні параметри і виключаються з розгляду другорядні.

Як приклад розглянемо модель плоского шліфування периферією кола. Теплове джерело в зоні контакту шліфувального кола з деталлю представимо у виді суцільного плоского джерела чи тепла у виді дискретно діючих у межах зони контакту точкових теплових джерел від абразивних зерен кола.

У першому випадку теплообмін при плоскому шліфуванні схематизується в такий спосіб: по поверхні напівнескінченного тіла, яке омивається охолодженою рідиною, рухається смугове джерело тепла. Щільність теплового потоку по всій поверхні джерела описується деякою функцією.

В другому випадку за джерело тепла приймають абразивні зер-

на, припускаючи, що шліфувальне коло дотикається деталі тільки ріжучими зернами.

У випадку шліфування без охолодження мастильно-охолодженою рідиною, можна знехтувати теплообміном з повітрям і вважати поверхню теплоізолюваною за межами зони контакту кола з деталлю. У цьому випадку на поверхні, що шліфується, задають граничні умови 2-го роду - тепловий потік діє тільки в зоні контакту і теплоізоляція поза зоною контакту.

При шліфуванні з охолодженням теплообмін із зоною контакту задається граничними умовами третього роду за законом Ньютона – Рихмана

$$q = \alpha(T_0 - T_c),$$

де T_c – температура навколишнього середовища; T_0 – температура поверхні; α – коефіцієнт теплообміну.

Зону контакту в залежності від мети дослідження моделюють у виді:

1. Точкового джерела (при розв’язку одновірних задач).
2. У виді лінійного джерела (двовірний випадок розв’язку).
3. У виді нескінченної смуги (тривірний випадок).

Такі допущення впливають на розподіл температури в цілому, але в центрі зони контакту розраховані температури згідно зазначених моделей відрізняються незначно. Початкові умови в переважній більшості випадків при розгляді температурних полів приймаються нулевими. Граничні умови визначаються з експерименту. Наприклад, щільність теплового потоку визначається з виразу:

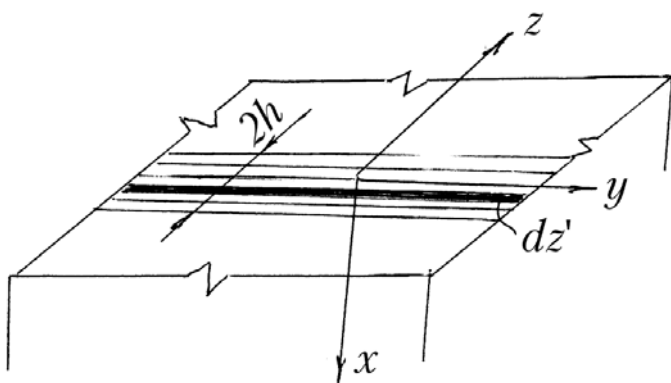


Рис. 5.19. Розрахункова теплова схема.

$$q = \frac{F_z V_{kp}}{S};$$

$$F_z = ct^\alpha S^\beta V_q^\gamma V_{kp}^\delta,$$

де F_z – тангенціальна складова сили різання; c , α , β , γ , δ – експериментальні коефіцієнти.

Розглянемо розв’язок рівняння теплопровідності для схеми плоского шліфування. Теплова схема смугового джерела представлена на рис. 5.19. По поверхні напівнескінченного тіла, що омивається охолодженою рідиною, у додатному напрямку осі z рухається смугове джерело тепла шириною $2h$.

Математичне формулювання задачі зводиться до розв'язку рівняння теплопровідності

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \frac{\partial T}{\partial z}. \quad (5.1)$$

З початковими і граничними умовами

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=0} + \alpha T \Big|_{x=0} = 0, \quad (5.2)$$

$$-\frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=0} = q = const, \quad T \Big|_{\tau=0} = 0.$$

Розв'язок рівняння (5.1) (5.2) зводиться до знаходження функції Гріна (фундаментального розв'язку)

$$dT = \frac{2q dy' dz' d\tau'}{c\gamma [4\pi a(\tau - \tau')]^{3/2}} \left[\exp\left(-\frac{R^2}{4a\tau}\right) - \frac{\alpha}{\lambda} \int_0^\infty \exp\left(-\frac{R'^2}{4a\tau} - \frac{\alpha}{\lambda} x'\right) dx' \right] \quad (5.3)$$

де $R^2 = x^2 + (y - y')^2 + (z - z' + V\tau)^2$, $R'^2 = (x - x')^2 + (y - y')^2 + (z - z' + V\tau)^2$.

У прийнятій тепловій схемі теплове джерело має нескінченно велику довжину по осі y . Тому інтегрування по y' повинно бути виконане від $-\infty$ до $+\infty$. Межі інтегрування по z' рівні $-h$ і $+h$, за часом – від 0 до ∞ . Відповідно до прийнятої схеми, розв'язок можна записати у вигляді

$$T(x, z) = \int_{-h}^h dz' \int_{-\infty}^\infty dy' \int_0^\infty \frac{2qd\tau'}{c\gamma [4a\pi(\tau - \tau')]^{3/2}} \times \\ \times \exp\left\{ -\frac{x^2 + (y - y')^2 + (z - z' + V(\tau - \tau'))^2}{4a(\tau - \tau')} \right\} - \\ - \frac{\alpha}{\lambda} \int_0^\infty \exp\left\{ -\frac{(x - x')^2 + (y - y')^2 + (z - z' + V(\tau - \tau'))^2}{4a(\tau - \tau')} - \frac{\alpha}{\lambda} x' \right\} dx. \quad (5.4)$$

Фізична частина задачі може вважатися на цьому закінченою, тому що далі необхідно проробити чисто математичні операції для приведення розв'язку до вигляду, зручному для аналізу і практичного застосування. З введенням у рівняння (5.4) безрозмірного комплексу, що характеризує інтенсивність теплообміну $\beta = \frac{2\alpha a}{\lambda v}$, що являє собою

відношення двох відомих критеріїв подібності $Bi = \frac{\alpha h}{\lambda}$ – критерій Біо і $Pe = \frac{Vh}{2a}$ – критерій Пекле Сипайловим В. А. [19] отриманий остаточний розв'язок

$$T(X, Z) = \frac{2qa}{\pi\lambda V} \int_{Z-H}^{Z+H} \exp(-\xi) k_0\left(\sqrt{X^2 + \xi^2}\right) \times \left[\frac{\int_0^\infty \exp(-\beta X) k_0\left(\sqrt{X^2 + \xi^2}\right) dX}{k_0\sqrt{X^2 + \xi^2}} \right] d\xi, \quad (5.5)$$

де $X = \frac{Vx}{2a}$; $Z = \frac{Vz}{2a}$ – безрозмірні координати; $H = \frac{Vh}{2a}$ – безрозмірна напівширина джерела; $\beta = \frac{2\alpha a}{\lambda V}$ – безрозмірний комплекс, що характеризує інтенсивність теплообміну; V – швидкість деталі м/с; $2h$ – ширина зони контакту, м; a – коефіцієнт температуропровідності м²/с; $k_0(x)$ – модифікована функція Беселя другого роду, нульового порядку; q – інтенсивність теплового потоку, Вт/м²; λ – коефіцієнт теплопровідності, Дж/(м²·с·град).

При великих швидкостях теплового джерела можна знехтувати впливом тепловіддачі і вважати поверхню теплоізолюваною. Приймаємо $\beta=0$, тоді розв'язок (5.5) здобуває більш простий вид

$$T(X, Z) = \frac{2qa}{\pi\lambda V} \int_{Z-H}^{Z+H} \exp(-\xi) k_0\left(\sqrt{X^2 + \xi^2}\right) d\xi. \quad (5.6)$$

Якщо вираз інтеграла (5.6) представити у виді

$$j(u) = \int_0^u \exp(-\xi) k_0\left(\sqrt{X^2 + \xi^2}\right) d\xi, \quad (5.7)$$

то розв'язок можна подати у вигляді наступного виразу

$$T(X, Z) = \frac{2qa}{\pi\lambda V} [j(Z+H) - j(Z-H)]. \quad (5.8)$$

Для поверхні ($X=0$) інтеграл (5.7) має вигляд

$$j(u) = \int_0^u \exp(-\xi) k_0(\xi) d\xi. \quad (5.9)$$

Розв'язок даного інтеграла без СОЖ ($\beta = 0$) в інтервалі зміни аргументу u від -30 до $+4$ представлено на рис. 5.20. Користуючись даним розв'язком, функцію (5.9) можна представити у вигляді

$$\theta = j(Z + H) - j(Z - H). \quad (5.10)$$

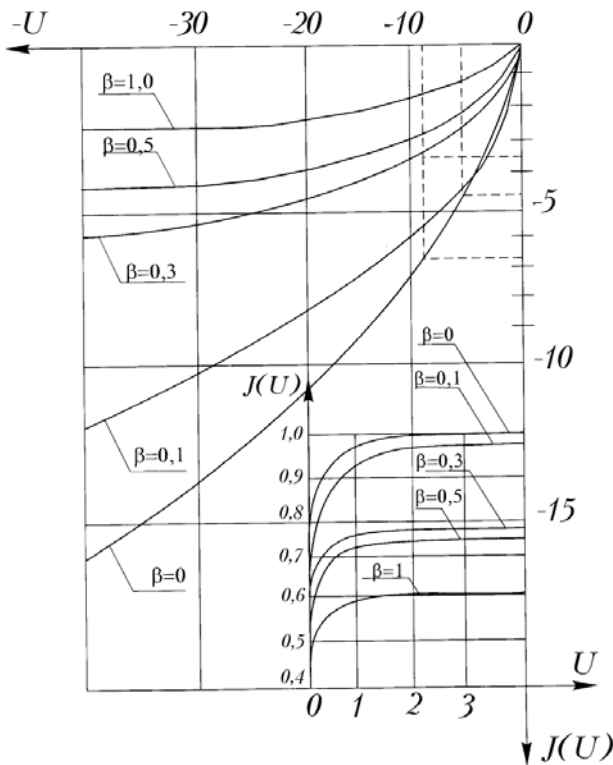


Рис. 5.20. Графік для розрахунку температури на поверхні для різних значень β .

З рівняння (5.10) можна знайти в дискретних точках поверхні Z_i безрозмірну температуру θ і побудувати криву зміни температури в межах зони контакту кола з виробом і за зоною контакту.

Методику розрахунку температури при шліфуванні розглянемо на конкретному прикладі. На верстаті 3Г71 шліфувалися зразки зі сталі Р6М5 ($a = 8,15 \cdot 10^{-6}$ м²/с; $\lambda = 0,5 \cdot 10^2$ Вт/м·град) на режимі $V_{kp} = 30$ м/с, $V_d = 0,05$ м/с, $t = 4 \cdot 10^{-4}$ м, $D_{kp} = 0,25$ м, ширина зразка 0,008 м, $q = 48 \cdot 10^6$ Вт/м². Послідовність етапів розрахунку:

1. Визначається ширина зони контакту в напрямку вектора швидкості переміщення теплового джерела. У даному випадку для плоского шліфування периферією кола ця величина визначається формулою

$$2h = \sqrt{D_{kp} t} = \sqrt{250 \cdot 0,04} = 3,16 \text{ і і} .$$

Визначається безрозмірна напівширина зони контакту

$$H = \frac{V_d h}{2a} = \frac{0,05 \cdot 0,99158}{2 \cdot 8,15 \cdot 10^{-6}} = 4,8.$$

2. На осі Z призначаються дискретні точки для розрахунку температури. Наприклад, $Z=H$; $Z=0,5H$; $Z=0$; $Z=-0,5H$; $Z=-H$; $Z=-2H$; $Z=-3H$ і т.д.

Безрозмірна температура θ визначається за формулою (5.10). Наприклад, для визначення температури на задній кромці теплового джерела при $Z = -H$, $\frac{Z}{-H} = -1$ у формулу (5.10) підставляється замість Z розрахункова величина $-H = -4,8$.

$$\theta = j(-4,8 + 4,8) - j(-4,8 - 4,8) = j(0) - j(-9,6).$$

По кривій $\beta=0$ (рис. 5.20) чи по таблиці додатку 15 $J(Z-H)$ визначаються інтеграли $j(u)$: $j(0) = 0$; $j(-9,6) = -6,95$.

Звідки

$$\theta = 0 - (-6,95) = 6,95.$$

Для визначення розмірної температури потрібно безрозмірну температуру помножити на множник $\frac{2qa}{\pi\lambda V_{\partial}}$,

$$T = \frac{2qa}{\pi\lambda V_{\partial}} \theta = \frac{2 \cdot 48 \cdot 10^6 \cdot 8,15 \cdot 10^{-6}}{3,14 \cdot 0,5 \cdot 10^2 \cdot 0,05} = 99,97\theta,$$

$$T = 99,97 \cdot 6,95 = 695^{\circ}C.$$

Безрозмірна температура в точці $Z=0$ визначається з виразу

$$\theta = j(0 + 4,8) - j(0 - 4,8) = j(4,8) - j(-4,8).$$

Інтеграл з позитивним значенням аргументу визначається по кривій, розміщеній в правому нижньому квадраті рис. 5.20 для $\beta=0$ чи по таблиці додатку 15: $j(4,8) = 1$.

Інтеграл з негативним значенням аргументу визначається по кривій (рис. 5.20) $\beta=0$ чи по таблиці додатку 15 $j(-4,8) = -4,6$.

Звідки

$$\theta = 1 - (-4,6) = 5,6.$$

У табл. 5.3 представлені розрахункові значення температур на поверхні $X=0$.

Таблиця 5.3

$X=0$							
Z	$-3H$	$-2H$	$-H$	$-0,5H$	0	$0,5H$	H
θ	2,9	3,88	6,95	6,75	5,6	4,113	1,0
$T^{\circ}C$	289	386,7	695	672	560	410	99,67

На рис. 5.21 представлені криві зміни температури на поверхні $X=0$ і на глибині $X=1$.

На поверхні $X=0$ максимальна температура досягає $695^{\circ}C$, її мак-

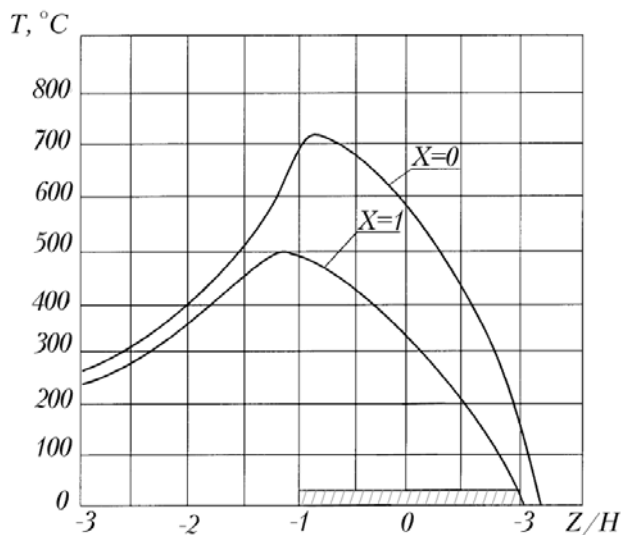


Рис. 5.21. Криві зміни температури на поверхні $X=0$ і на глибині $X=1$.

Для поверхні $X=0$ інтеграл (5.7) має вид

$$j(u) = \int_0^u \exp(-\xi) k_0(\xi) d\xi - \beta \int_0^u \exp(-\xi) \int_0^\infty k_0(\xi) d\xi. \quad (5.12)$$

На рис. 5.20 наведені криві зміни функції $j(u)$ для значень $\beta=0,1$; $\beta=0,3$; $\beta=0,5$; $\beta=1,0$, а на рис. 5.22 представлені криві зміни

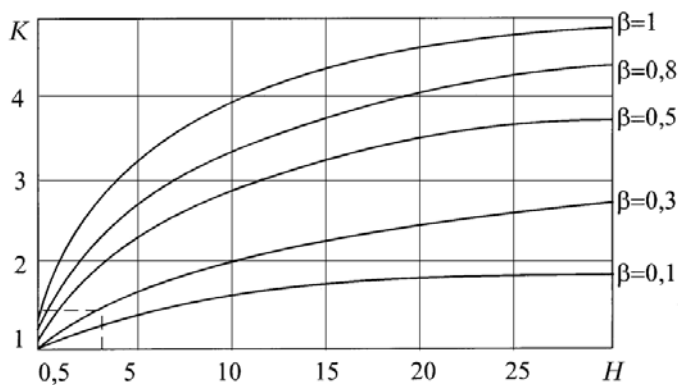


Рис. 5.22. Залежність коефіцієнта k від безрозмірної напівширини теплового джерела H .

симум знаходиться біля задньої кромки теплового джерела.

На глибині $0,336$ мм ($X=1$) температура близька до 500°C , а максимум температури зміщений по ходу руху теплового джерела.

При шліфуванні з охолодженням послідовність розрахунку температурних полів аналогічна, але безрозмірну температуру варто розраховувати за формулою:

$$\theta = k[j(Z + H) - j(Z - H)].$$

множника k . Безрозмірний комплекс β , що враховує теплообмін, визначається з виразу $\beta = \frac{2\alpha a}{\lambda V}$. При рідинно-

му охолодженні зі швидкістю витрати СОЖ 5 м/с безрозмірний комплекс $\beta=0,3$. З графіка рис. 5.22 визначається коефіцієнт $k=1,4$.

Безрозмірна температура на задній кромці теплового джерела при $Z=H$ визначається з виразу

$$\theta = k[j(-4,8 + 4,8) - j(-4,8 - 4,8)] = k[j(0) - j(-9,6)].$$

З графіка (рис. 5.20) по кривій $\beta=0,3$ знаходимо $j(-9,6) = -3,6$.

Безрозмірна температура буде дорівнювати

$$\theta = k[(0) - (-3,6)] = 1,4 \cdot 3,6 = 5,04.$$

Із зіставлення даних видно, що застосування СОЖ знижує температуру на поверхні з 695 до $503,8^\circ\text{C}$.

5.9 ВПЛИВ ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Якість поверхневого шару впливає на стійкість проти спрацювання поверхонь тертя, на корозійну стійкість деталей і на міцність нерухомих з'єднань.

5.9.1. ВПЛИВ ЯКОСТІ ПОВЕРХНІ НА СТІЙКІСТЬ СРАЦЬОВУВАННЯ ПОВЕРХОНЬ ТЕРТЯ

Стійкість проти спрацювання поверхонь тертя істотно залежить від висоти нерівностей і напрямку штрихів обробки. У початковий період роботи контакт тертьових поверхонь відбувається по вершинах нерівностей. Фактична поверхня контакту складає всього лише 5–10% від розрахункової, тому на площадках контакту виникають великі тиски, величина яких у ряді випадків перевищує границю текучості матеріалу. У точках контакту відбувається пластична деформація, зминання і зріз нерівностей, які приводять до інтенсивного початкового спрацювання поверхонь сполучених деталей і збільшення зазору між сполученими тертьовими деталями. Підвищення миттєвих температур у локальних точках контакту і зрив окисної плівки, що покриває метали, створюють сприятливі умови для молекулярного зачеплення контактуючих поверхонь з утворенням вузлів адгезійного схоплювання й інтенсивного спрацювання.

Дослідження А. А. Маталіна [18] показали, що форма нерівностей при однаковій висоті R_z впливає на спрацювання деталей тертя. На рис. 5.23 представлені криві спрацювання поверхонь, що мають різну форму нерівностей і однакову висоту R_z .

Приведені дані показують, що після 160000 подвійних ходів спрацювання поверхонь, які мають більший крок нерівностей, склало 66 мкм, а поверхні з малим кроком - тільки 45 мкм.

Експерименти професора П. Е. Д'яченко [67] показали, що під час початкового спрацювання, яке протікає в період прироблення, відбувається зміна розмірів і форми нерівностей.

Висота нерівностей у ряді випадків зменшується чи збільшується, наближаючись до якоїсь конкретної оптимальної висоти. На рис. 5.24 показана залежність зміни висоти шорсткості R_z від часу прироблення тертьових поверхонь.

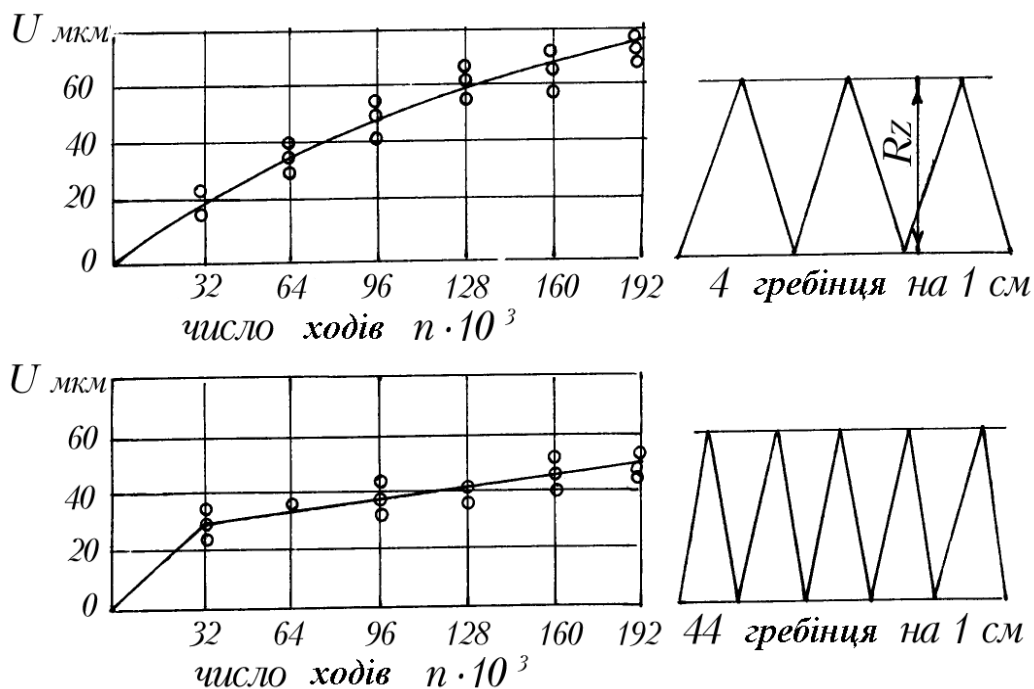


Рис. 5.23. Криві зносу.

З рис. 5.24 видно, що якщо висота шорсткості третьових поверхонь у вихідному стані має висоту шорсткостей R_z меншу оптимальної, то в процесі прироблення вона збільшиться до оптимального значення $R_{z\hat{i}\hat{o}}$ і, навпаки, якщо висота нерівностей у вихідному стані

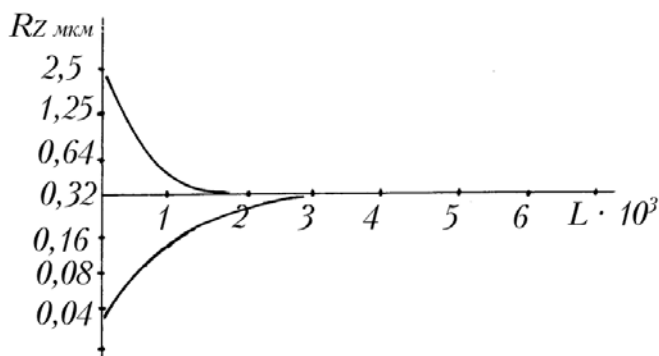


Рис. 5.24. Зміна шорсткості в міру прироблення.

має більше значення R_z в порівнянні з оптимальним, то в процесі прироблення вона зменшиться до оптимальної. Оптимальне значення висоти шорсткості сполучених деталей забезпечує оптимальну маслостійкість стику поверхонь тертя (рідинне тертя).

На рис. 5.25 показана залежність спрацювання від висоти нерівностей [67]. Криві 1 і 2 показують, що при оптимальній висоті нерівностей (точки C_1 і C_2) спрацювання металу має найменшу величину. У більш тяжких умовах роботи (крива 2) точки оптимальної висоти шорсткості зміщуються вбік більшої шорсткості, а величина оптимального спрацювання зміщується вправо і наверх. Збільшення висоти шорсткості, у порівнянні з оптимальною, збільшує спрацювання за рахунок зростання сколювання, зрізу і змінання виступаючих нерівностей поверхні. Зменшення висоти шорсткості, у порівнянні з оптимальною,

приводить до різкого зростання спрацювання у зв'язку з виникненням молекулярного зчеплення і заїдання щільно дотичних поверхонь підвищеної гладкості. Дзеркально чисті поверхні, маючи погану зволоженість, не утримують змащення між третювими поверхнями тертя.

Задачею конструктора, що проектує нові машини, є призначення такої шорсткості поверхонь тертя, яка відповідає її оптимальному значенню.

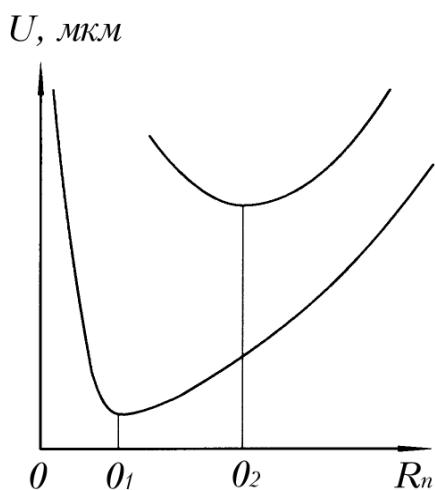


Рис. 5.25. Залежність зносу U від висоти шорсткості.

Однак варто відмітити, що в технічній літературі відсутні рекомендації, які дозволяють призначити оптимальну шорсткість, при якій спрацювання і коефіцієнт тертя при реальних умовах навантаження працюючої пари будуть мінімальні.

Щоб вирішити дану задачу, треба знайти умови, що забезпечують оптимальну маслоємкість стику, при якій між поверхнями зберігається стійкий масляний шар, який створює умови рідинного тертя пари.

Такі умови можна забезпечити, якщо на поверхнях пари тертя ковзання передбачити масляні кишені у виді поглиблень, що утримують змащення.

Масляні кишені можна наносити за допомогою спеціальної сегментної голівки на плоско- чи круглешліфувальних верстатах.

Даний спосіб [21] на відміну від відомих [25] способів нанесення масляних кишень, дозволяє створювати постійний рельєф на поверхні пари тертя ковзання з твердістю HRC 60 – 63. Масляні кишені мають закриту форму і наближаються до профілю, що створює гідродинамічний клин у момент запуску машини. Сегментні головки являють собою набір сегментів довжиною

$$l_1 = \frac{1}{3} \cdots \frac{1}{4} \pi d_{кр}.$$

5.9.2. ВПЛИВ ЯКОСТІ ПОВЕРХНІ НА МІЦНІСТЬ І КОРОЗІЙНУ СТІЙКІСТЬ ДЕТАЛЕЙ

Втомна міцність деталей істотно залежить від величини, знаку і глибини поширення залишкових напружень поверхневого шару. Наприклад, залишкові напруження стиску підвищують границю витри-

валості деталі, а напруження розтягу – знижують. Між границею витривалості і залишковими напруженнями поверхневого шару існує пряма залежність [18]:

$$\sigma_{-1} = A - B\sigma_{зал},$$

де σ_{-1} – границя витривалості деталі після шліфування; $\sigma_{зал}$ – залишкові напруження поверхневого шару, що виникають після шліфування на різних режимах; A і B - постійні коефіцієнти.

Залежність $\sigma_{-1} = f(\sigma_{зал})$ справедлива для кімнатної температури. Нагрівання матеріалу, наприклад, до температур, при яких працюють деталі в двигунах внутрішнього згорання, послаблює вплив залишкових напружень на втомну міцність.

Структурні зміни, що відбуваються під впливом високих температур у зоні контакту шліфувального кола з деталлю, знижують довговічність деталей машин. Наприклад, зниження твердості на бічних поверхнях зубів з HRC 60 - 62 до HRC 50 - 52 знижує довговічність зубчастих коліс у 5 - 8 разів [32]. Наявність припіку на кромках виробних штамів знижує їхню стійкість у 30 разів [56].

При обробці під впливом пластичної деформації металу в поверхневому шарі деталі виникають мікронеоднорідності, що сприяють появі корозійних мікроелементів. Більш наклепані феритні зерна стають анодами, а менш наклепані перлітні зерна - катодами. У зонах виходу дислокацій на поверхню виникає адсорбція і розвиваються корозійні і дифузійні процеси.

Пластично деформований поверхневий шар матеріалу має збільшений питомий обсяг і меншу щільність. Ця обставина сприяє більш інтенсивному протіканню дифузійних процесів, а при високих температурах - більш інтенсивному вигорянню легуючих елементів і зниженню опору металу відриву. Наклеп і залишкові напруження поверхневого шару при тривалій статичній нарузі в корозійних середовищах викликають корозійне розтріскування.

Однак варто відмітити, що після обдування дробом чи накочування роликками відбувається завальцювання шляхів проникнення корозійних середовищ всередину металу через дефекти поверхні пластично деформованого фериту. При цьому зменшуються корозійні процеси і підвищується втомна міцність деталей.

Наклеп поверхневого шару знижує магнітні властивості магнітом'яких матеріалів типу пермалой і ін. У зв'язку з цим при механічній обробці цих матеріалів наклеп неприпустимий.

5.10. КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНА СТАБІЛІЗАЦІЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ

5.10.1. ПРО МЕХАНІЗМ СТРУКТУРНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ ПРИ ШЛІФУВАННІ

Природа структурних перетворень при шліфуванні впливає з аналізу діаграми залізо-вуглець. Якщо при шліфуванні температура нагрівання поверхневого шару близька, але поки не перевищує критичну точку A_{C1} , то в поверхневому шарі мартенситна структура розпадається з утворенням троостита і троосто-мартенсита.

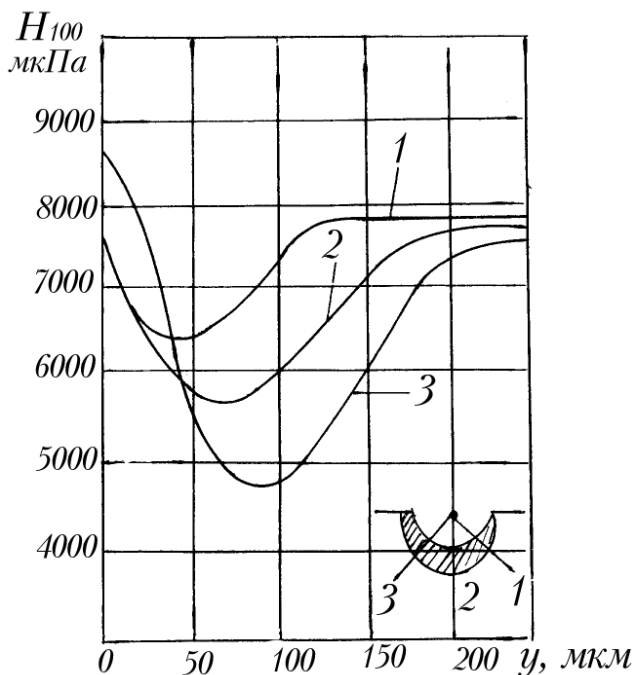


Рис. 5.26. Криві зміни мікротвердості в поверхневому шарі в різних перетинах профілю різьблення ходового гвинта.

На рис. 5.26 представлені криві зміни мікротвердості в поверхневому шарі нитки різьби ходових гвинтів з накопиченою похибкою в кроці 0,38 мм. Нерівномірність знімаємого припуску, $t=0,38$ мм (перетин 3), $t=0,15$ мм (перетин 2) $t=0,04$ мм (перетин 1) на різних ділянках профілю, обумовлена розтяжкою чи усадкою гвинта при термічній обробці, викликає різні структурні перетворення.

Граденти фізико-хімічних властивостей (твердість, пластичність, міцність) викликають на границях фаз появу концентраторів напруження, що істотно спотворюють загальну картину напруженого стану. Саме на границях розділу фаз чи на границях зерен, де най-

зпадається з утворенням троостита і троосто-мартенсита.

Якщо в поверхневому шарі температура перевищить точку A_{C1} при швидкості охолодження вище критичної швидкості гартування, то утвориться повторно-загартований шар з утворенням структури аустеніто-мартенсита.

На поверхні виявляється білий шар, що нетруїться, з підвищеним процентним вмістом аустеніту, що має твердість вищу, ніж до шліфування. За вдруге загартованим шаром залягає відпущений шар троостито-сорбітної структури з заниженою твердістю.

більш ймовірне скупчення інтерметалідних включень цементитної сітки й інших дефектів, можлива поява джерел руйнувань.

Варто відмітити, що при великих швидкостях нагрівання й охолодження структурні перетворення в матеріалах протікають згідно діаграми метастабільних перетворень Fe→C, що істотно відрізняється від звичайної діаграми рівноваги Fe→C.

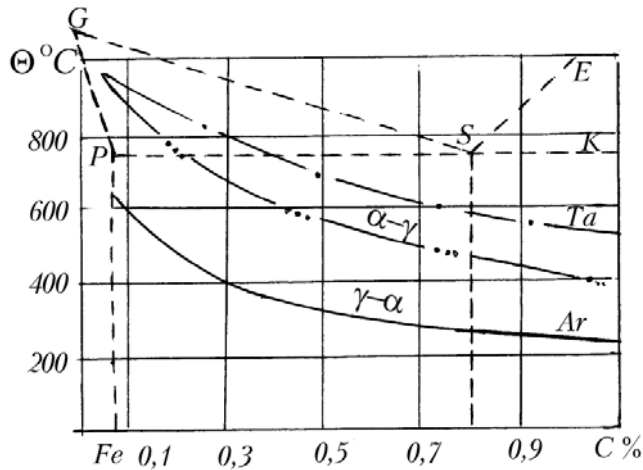


Рис. 5.27. Метастабільна діаграма сплаву Fe-C.

На рис. 5.27 [57], [58] представлена метастабільна діаграма сплаву Fe – C. На даній діаграмі лінії мають наступний фізичний зміст:

A_r – температура бездифузійного перетворення аустеніту в мартенсит;

T_a – температура бездифузійного перетворення мартенситу в аустеніт.

Штриховими лініями показана діаграма рівноваги.

Діаграма метастабільних перетворень дозволяє уточнити природу фазових перетворень при шліфуванні загартованих сталей.

При великих швидкостях нагрівання бездифузійне перетворення мартенситу в аустеніт настає при температурі T_a , яка значно нижча від температури A_{C1} . Наступне швидке охолодження фіксує утворений аустеніт формуючи повторно-загартований шар з аустеніто-мартенситною структурою. Під повторно-загартованим шаром залягає відпущений шар троостито-мартенситної структури, що переходить через усі стадії відпустки в структуру вихідного термічно обробленого матеріалу. При великих швидкостях нагрівання й охолодження розпад залишкового аустеніту може бути частково чи цілком подавлений.

Після шліфування загартованої сталі процентний вміст аустеніту коливається в широких межах. Наприклад, у роботах проф. Костецького Б. И. [59] показано, що після шліфування загартованої сталі У8А вміст залишкового аустеніту на поверхні досягає 90 - 95%.

Встановлено, що будь-який режим шліфування сталі 12Х2Н4А збільшує процентний вміст аустеніту. Обробка холодом і збільшення температури відпуску зменшує кількість залишкового аустеніту.

У табл. 5.4 представлені результати вимірювання процентного вмісту аустеніту загартованої сталі 12Х2Н4А після загартування і відпуску, після шліфування кругом 24А25НСМ2К5 і після обробки холодом у середовищі рідкого азоту.

Таблиця 5.4. Кількість аустеніту в %

Вид обробки	Температура відпуску °С				
	140	180	200	220	240
Після загартування	18,2	18,0	16,6	15,8	11,0
Після шліфування	35	31	23,4	20,5	18,0
Після обробки холодом	22,6	25,2	22	19	15

Приведені в таблиці дані показують, що після шліфування процентний вміст аустеніту зростає. Обробка холодом зменшує процентний вміст аустеніту.

Нами встановлено, що в різних плавках хромонікелевих сталей, наприклад, 12Х2Н4А, 18Х2Н4А й ін., перехід аустеніту в мартенсит при охолодженні відбувається при різних температурах.

Наприклад, у деяких плавках хромонікелевих сталей перетворення аустеніту в мартенсит $\gamma \rightarrow \alpha$ відбувається в діапазоні зміни температур $A_r = 400 \div 500^\circ\text{C}$, а в інших $A_r = 100 \div 150^\circ\text{C}$.

При охолодженні поверхневий шар матеріалу деталей у силу фізичних його властивостей зменшується в обсязі. Але цьому зменшенню чинять опір глибинні шари, що у даний момент часу мають значно велику температуру в порівнянні з поверхневою. Виникаюче силове поле викликає появу в поверхневому шарі тимчасових термопружних напружень розтягу, величина яких у міру охолодження поверхні зростає.

Таким чином, на формування тимчасових термопружних напружень у поверхневому шарі впливають два протилежних фактори: охолодження поверхневих шарів зменшує обсяг матеріалу, а структурні $\gamma \rightarrow \alpha$ перетворення збільшують обсяг.

Результуюча напруженість матеріалу буде залежати від температури, при якій відбудеться часткова компенсація теплових напружень за рахунок структурних перетворень. Отже, чим вища критична точка переходу аустеніту в мартенсит при охолодженні, тим меншою буде величина залишкових розтягуючих напружень.

Сталі, що мають критичну точку структурних $\gamma \rightarrow \alpha$ перетворень $350 - 400^\circ\text{C}$, не схильні до появи шліфувальних тріщин. Сталі, що мають критичну точку $\gamma \rightarrow \alpha$ перетворення $100 - 150^\circ\text{C}$ надмірно схильні до появи тріщин, тому що тут теплові напруження не врівноважуються

в області високих температур 350 – 400°С з напруженнями від структурних перетворень. При охолодженні в інтервалі температур від 750 – 800°С до 200 – 250°С тимчасові термопружні напруження досягають значень, порівнянних з границею міцності матеріалу деталі.

5.10.2. ВПЛИВ НЕРІВНОМІРНОСТІ РОЗПОДІЛУ ПРИПУСКУ НА ЯКІСТЬ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ

Особливістю сучасного етапу розвитку технології машинобудування є широке використання автоматизованих верстатів, що функціонують в нових організаційних умовах.

Стабілізацію якісних показників оброблюваних деталей можна здійснити тільки за умови оптимального керування засобами технологічного оснащення при розв'язку з єдиних методологічних позицій конструкторських, технологічних, економічних і організаційних задач. Для розв'язку технологічних задач необхідно мати технологічний об'єкт (засоби технічного оснащення), вихідне завдання (інформаційну модель чи креслення деталі, програму випуску, технічні умови), обмеження й основну мету (термін випуску, продуктивність, якість поверхневого шару і мінімальні витрати).

Технологічний процес повинний забезпечити виконання усіх вимог по точності і якості виробу, передбачених кресленням і технічними умовами при мінімальній собівартості в необхідній кількості й у встановлений програмою термін.

Як об'єкт виберемо зубчасте колесо $m=3$ мм, $Z=49$, $b=36$ мм 4-ої ступені точності, виготовлене з цементованої сталі 12Х2Н4А з глибиною цементації 1,2 – 1,4 мм, твердістю бічних поверхонь зубів HRC – 60–62.

Типовий технологічний процес:

1. Заготовка-штампівка піддалася термічній обробці (табл. 5.5).

Таблиця 5.5

Вид обробки	Температура °С	Тривалість, год
1.Нормалізація	900 ± 10	1.
2.Загартування	870 ± 10	2.
3.Відпуск	500 ± 10	3.

2. Токарна обробка по контуру зубчастого колеса (чорнова і чистова).

3. Нарізування зубчастого вінця однозаходною черв'ячною

фрезою ($m=3$ мм, $\alpha=20^\circ\text{C}$, $D_{\text{фр}}=80$ мм, $Z_{\text{фр}}=12$).

4. Цементация у твердому карбюризаторі при температурі $900 \pm 10^\circ\text{C}$ з витримкою 13 годин, високий відпуск при $T=650 \pm 10^\circ\text{C}$ з витримкою протягом двох годин, загартування при температурі 840°C , обробка холодом у середовищі рідкого азоту при температурі (-70°C) з витримкою 2 години і відпуском при $T=160 \pm 10^\circ\text{C}$ протягом 2,5 годин.

5. Після хіміко-термічної обробки створюється база для подальшої обробки зубчастого вінця (піддається шліфуванню зовнішній діаметр і торці з базуванням по отвору).

При обробці отвору як установча база використовується окружність виступів зубчастого вінця.

Після фрезерування зубів, хіміко-термічної обробки, відновлення комплекту установчих баз, контролювалися довжина загальної нормалі V_w , радіальне биття зубчастого вінця F_{rr} , відносна похибка окружних кроків і похибка напрямку зуба $F_{\beta r}$. За результатами вимірювання обчислювалися: коливання довжини загальної нормалі V_{wr} , найбільша різниця сусідніх кроків V_{pr} , коливання похибки напрямку зуба $V_{F\beta r}$, граничне відхилення кроку f_{ptr} і накопичена похибка кроку F_{pr} .

Показники точності зубчастих коліс у кількості 200 шт., обчислені за результатами вибіркового розподілу похибок, представлені в табл. 5.6.

Таблиця 5.6

Види обробки	Межі значень показників точності, мкм					
	F_{rr}	$V_{F\beta r}$	$F_{\beta r}$	F_{pr}	f_{ptr}	V_{wr}
Фрезерування	17–75	6–26	19–51	20–105	6–19	5–30
Цементация	20–85	12–75	30–80	–	6–17	10–35
Загартування	37–97	32–88	31–97	32–119	9–23	20–55
Відновлення баз	33–116	52–152	28–146	37–162	10–28	–

Після хіміко-термічної обробки на поверхні зубів утворюються дефекти у виді знеуглеводненого шару і наявність цементитної сітки. Глибина цього дефектного шару досягає 0,05 – 0,08 мм. На операції зубошліфування цей дефектний шар бажано видалити. У іншому випадку зазначені дефекти виявлять себе з негативної сторони в процесі експлуатації.

Припуск на операцію зубошліфування повинен компенсувати

товщину дефектного шару Z_a , неточності попередньої обробки Z_c і похибки, пов'язані з налагодженням верстата Z_b . Товщина дефектного шару Z_a містить висоту шорсткостей від попередньої обробки, окалину і знеуглеводнений шар від хіміко-термічної обробки. Шар металу, що компенсує похибки від попередніх операцій Z_c , містить похибку профілю f_{fr} , накопичену похибку колового кроку F_{pr} , похибку напрямку зуба $F_{\beta r}$

$$Z_c = f_{fr} + F_{pr} + F_{\beta r}.$$

Зазначені параметри регламентовані ГОСТом 1643–72. Однак із введенням хіміко-термічного зміцнення, призначення оптимальних величин припусків ускладнюється.

Високотемпературне нагрівання, різке охолодження, структурні перетворення металу викликають появу додаткових похибок, що виникають у результаті деформації зубчастого вінця. Теплові і структурні напруження змінюють діаметральні й осьові розміри колеса, змінюють товщину зубів, спотворюють площинність зубчастого торця. Причому величина цих переколювань залежить від конструкції зубчастого колеса. На операції відновлення баз часто не вдається підвищити точність взаємного розташування основної конструкторської бази і зубчастого вінця, тому часто на операцію зубошліфування надходять зубчасті колеса, що мають 9–11 ступінь точності (див. табл. 5.6).

Для компенсації зазначених похибок технологи змушені збільшувати припуски, вважаючи, що операція зубошліфування забезпечить необхідну точність. На операцію зубошліфування в цьому випадку покладають, крім основної її функції (підвищення точності), невласливу їй функцію – видалення збільшеного припуску. У результаті, крім зростаючих витрат часу на обробку, знижуються якість поверхні й експлуатаційні характеристики передач.

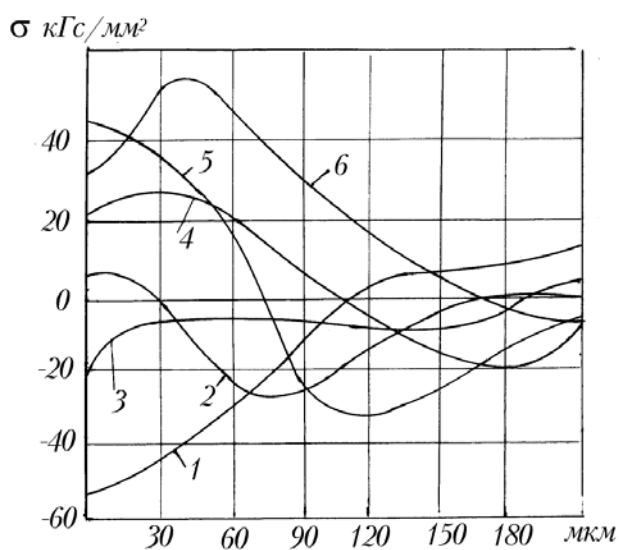


Рис. 5.28. Криві розподілу залишкових напружень у поверхневих шарах зубів після зубошліфування.

На рис. 5.28 представлені криві розподілу залишкових на-

пружень по глибині поверхневого шару в зубах того самого колеса із сталі 12X2H4A (HRC=64÷65) після операції зубошліфування [32]. На одному з зубів (крива 3) виявлені стискаючі напруження (20 кГс/мм^2), в інших (криві 2, 4, 6) – розтягуючі, але різної величини ($20 - 60 \text{ кГс/мм}^2$). На секторі, що складається з трьох зубів, у тому числі на зубі 6, виявлені припіки і шліфувальні тріщини, розташовані перпендикулярно траєкторії руху кола. Різна напруженість поверхневих шарів зубів на тому самому колесі пояснюється нерівномірністю знімаемого припуску з бічних поверхонь зубів через наявні відхилення в кроці і наявності кінематичних похибок і радіального биття. Ці похибки формуються, як видно з табл. 5.6, протягом усього технологічного процесу до операції зубошліфування.

Для розробки рекомендацій із стабілізації якісних показників зубчастих коліс необхідно з'ясувати причини, що викликають різну напруженість у зубах коліс.

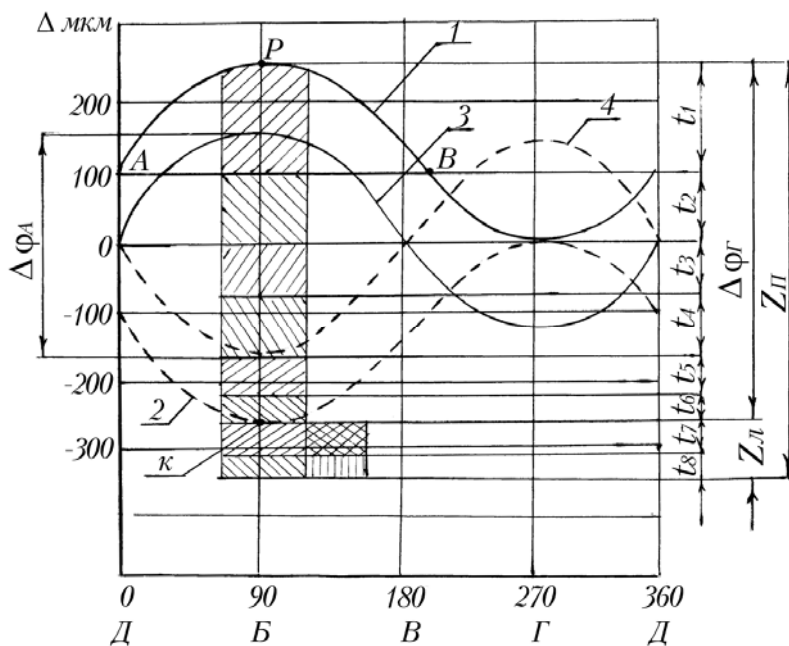


Рис. 5.29. Розподіл припуску на бічних поверхнях зубів на операції зубошліфування.

зубів при налагодженні зубошліфувального верстата по западині (Г). Налаштування по западині (Г) полягає в тому, що шліфувальне коло в западині (Г) вводиться в зіткнення з правою і лівою бічними поверхнями зубів. У цьому положенні зубчасте колесо закріплюється на оправці. Обробка зубів починається з максимально б'ючого зуба (позиція Р).

Контурна крива 1 рис. 5.29 показує характер зміни сумарної радіальної похибки правих евольвентних профілів зубів колеса, а штрихова крива 2 показує зміну сумарної радіальної похибки лівих евольвентних

напруженість у зубах коліс.

Для розв'язку поставленої задачі проаналізуємо процес шліфування зубчастого колеса, що має радіальне биття $F_{rr}=140 \text{ мкм}$ і коливання довжини загальної нормалі $V_{wr}=124 \text{ мкм}$.

На рис. 5.29 показаний розподіл припуску на бічних поверхнях правого (крива 1) і лівого (крива 2) профілів

профілів зубів. Щоб усунути чорновини на всіх зубах шестерні при даному налагодженні верстата, необхідно з бічної поверхні зуба P видалити припуск $\Delta\varphi_2=500$ мкм. При видаленні загального припуску $\Delta\varphi_2$ глибини різання t_1, t_2, t_3, \dots призначаються з умов бездефектної обробки. Шліфування роблять з такими режимами, щоб глибини дефектних шарів, що виникають у поверхневому шарі зуба, розташованого в позиції P , при шліфуванні на черговому проході не перевищували припуск, який залишився під наступні проходи. Заштрихованими зонами на рис. 5.29 показані глибини шарів, що зрізуються за кожен прохід. Варто звернути увагу, що на першому і другому проходах припуск знімається тільки з правих бічних поверхонь зубів. Причому на різних зубах глибини змінюються від нуля (точка Γ при повороті колеса на 270°) до максимуму (зуб P при повороті колеса на 90°)

$$\Delta_{max} = t_1 + t_2 = 150 + 100 = 250 \text{ мкм.}$$

У точці Γ (кут 270°) відбудеться торкання правого і лівого профілів зубів з кругом. На наступних проходах (3, 4, 5, 6) припуск буде видалятися з усіх правих і частково з лівих бічних поверхонь зубів. Причому з усіх правих бічних поверхонь зубів будуть видалятися однакові припуски (t_3, t_4, t_5, t_6).

У точці K буде вилучений з бічної поверхні правого профілю сумарний шар, рівний

$$\Delta\varphi_{max} \cos 20^\circ = 500 \cdot 0,9397 = 469,85 \text{ мкм,}$$

а з бічною поверхнею лівого профілю зуба K відбудеться тільки торкання кола. У цій точці K будуть цілком усунуті чорновини на всіх бічних поверхнях зубів колеса.

Однак у даному положенні, коли будуть усунуті чорновини і зубчасте колесо досягне необхідної точності, ще не можна вважати обробку закінченою. Після хіміко-термічної обробки в поверхневому шарі зубів утворяться дефекти у виді знеуглеводненого шару чи цементитної сітки. Цей дефектний шар повинний бути вилучений.

Варто відмітити, що за 6 проходів даний дефектний шар видалється майже з усіх зубів колеса за винятком декількох 3 – 4 зубів, що знаходяться поблизу точки K . Для видалення дефектного шару з лівих бічних поверхонь цих 3 – 4 зубів варто передбачити два додаткових проходи з глибинами різання $t_7=0,04$ мм, $t_8=0,02$ мм. Після завершення процесу зубошліфування в районі точки P з правих бічних поверхонь зубів колеса буде вилучений загальний припуск $Z_n=560$ мкм,

а з лівих бічних поверхонь зубів – $Z_n=60$ мкм.

Після цементації глибина цементованого шару на бічних поверхнях зубів коливається в межах 1,0–1,2 мм. Після видалення припуску з бічної поверхні зуба $Z_n=0,560$ мм глибина цементованого шару, що залишився, зменшується до 0,44 - 0,64 мм.

Отже, при розглянутій схемі налагодження зубошліфувального верстата по западині Г припуски, що видаляються з різних зубів колеса, будуть змінюватися в широких межах. Вихідна твердість бічних поверхонь зубів змінюється від 55 до 65 HRC, процентний вміст вуглецю змінюється від 1,1% до 0,7%.

Варто відмітити, що на деяких зубах, що знаходяться в секторі АВ (рис. 5.29), після першого проходу були виявлені тріщини. Для пояснення причин, що викликають появу шліфувальних тріщин на бічних поверхнях зубів шестерні, розглянемо залежність критичних точок структурних перетворень від змісту вуглецю в матеріалі цементованого шару (рис. 5.27).

Із збільшенням процентного вмісту вуглецю критична точка $\gamma \rightarrow \alpha$ перетворення (Мн) зміщується в бік більш низьких температур. Наприклад, із збільшенням вмісту вуглецю в сталі від 0,4% до 1,2% критична точка $\gamma \rightarrow \alpha$ перетворення зменшується від 350°C до 150°C.

Приведений аналіз показує, що при видаленні з бічних поверхонь зубів припуску в матеріалі відбуваються складні термодинамічні процеси, що протікають в умовах багаторазового накладення температурних полів і змінюючих фізико-механічних і хімічних властивостей оброблюваного матеріалу.

Для стабілізації якісних показників зубчастих коліс треба усунути чи хоча б зменшити коливання глибини припуску, що знімається, на операції зубошліфування. Для розв'язку цієї задачі треба зменшити деформацію заготовки при термічній обробці, усунути чи хоча б зменшити похибку, що виникає при відновленні баз і, нарешті, знайти спосіб оптимального налагодження верстата, тобто в міру можливості більш рівномірно розподілити знімання припуску на операції зубошліфування. Загартування в штампах зменшують деформацію зубчастого вінця. Зменшити похибку при відновленні баз можна шляхом правильного вибору установчих баз.

Наприклад, шліфування отвору, що слугує установчою базою на операції зубошліфування, варто робити не від зовнішнього діаметра, а від діаметра ділильного кола, встановлюючи зубчасте колесо за до-

помогою роликів по бічних поверхнях зубів.

I, нарешті, слід рівномірно розподілити припуск на операції зубошліфування, тобто - оптимізувати налагодження. Іншими словами, треба знайти таку западину для орієнтації зубчастого колеса щодо інструмента, що зведе до мінімуму коливання припусків на операції зубошліфування.

У розглянутому варіанті (рис. 5.29) на операції зубошліфування орієнтація кола по западині D є найбільш оптимальною. Щоб забезпечити торкання бічних поверхонь зубів з інструментом у западині D , треба забезпечити торкання правої і лівої бічних поверхонь зубів у цій точці. Для цієї мети потрібно криву 1 опустити вниз, сполучивши її з точкою 0, а криву 2 підняти нагору.

При налагодженні верстата по западині D у порівнянні з налагодженням по западині (Γ) максимальний припуск зменшується з $\Delta=500$ мкм до $\Delta=300$ мкм.

5.10.3. ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ТЕРМІЧНИХ ЦИКЛІВ НА ЯКІСНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ДЕТАЛЕЙ

Термічний цикл при механічній обробці характеризує динаміку процесу теплообміну: підведення тепла і розсіювання його в масі деталі. Термічний цикл складається з трьох основних стадій: нагрівання, витримка при високій температурі й охолодження. У стадії нагрівання підведення тепла до фіксованої точки переважає над його відводом у глибинні шари матеріалу за рахунок теплопровідності й у навколишнє середовище за рахунок конвективного теплообміну. В другій стадії встановлюється рівновага між підведенням і відведенням теплоти. Коли відведення теплоти перевищує її підведення, – настає охолодження.

У точках, вилучених від поверхні деталі, максимальна температура зменшується, збільшується тривалість циклу, зменшуються швидкості нагрівання й охолодження матеріалу.

На рис. 5.30 представлено температурне поле в поверхневому шарі плоского зразка із сталі 12Х2Н4А при шліфуванні кругом 24А25СМ16К на режимі $t=0,04$ мм, $S_n = 1,2$ мм/хв, $V_d=12$ м/хв.

У табл. 5.7 представлені швидкості нагрівання й охолодження на поверхні $x=0$ і в шарах, що залягають на глибинах $x=0,14$ мм і $x=0,28$ мм.

Таблиця 5.7

Швидкість столу, м/хв	Швидкість нагрівання °C/c			Швидкість охолодження °C/c		
	$x=0$	$x=0,14$	$x=0,28$	$x=0$	$x=0,14$	$x=0,28$
4	10000	7000	3800	6000	3200	1500
12	14000	9700	6500	7000	4200	2000

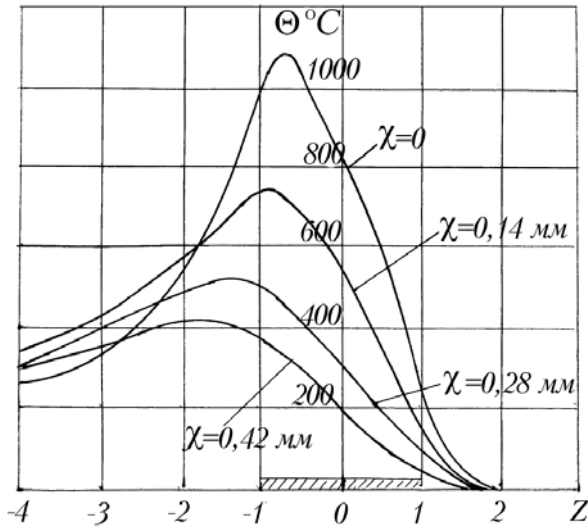


Рис. 5.30. Температурне поле.

У глибинних шарах деталі максимальні температури і швидкості нагрівання й охолодження зменшуються, але тривалість нагрівання збільшується. Варто звернути увагу, що на третій стадії термічного циклу глибинні шари мають більш високу температуру в порівнянні з поверхнею. Це явище найбільш помітно виявляється при малих швидкостях руху теплового джерела, наприклад, при глибинному шліфуванні.

Формування структури при шліфуванні пов'язано з рівнем енергетичного впливу на поверхню деталі, а також із рядом особливостей самого процесу шліфування, що протікає з надмірно великими швидкостями нагрівання й охолодження.

При деяких режимах шліфування контактні температури перевищують критичні точки структурних перетворень. Тривалість теплового впливу при температурі фазового переходу забезпечує умови переходу перліту і структурно вільного фериту в аустеніт. Наступне охолодження зі швидкостями, що явно перевищують критичні швидкості гартування, забезпечує умову для виникнення мартенситної структури. Однак механізм формування структури в поверхневому шарі деталі при шліфуванні залежить від цілого ряду додаткових факторів, які необхідно враховувати при забезпеченні стабільних фізико-механічних властивостей матеріалу. До числа факторів, що чинять істотний вплив на стабільність формування структури варто віднести: наявність процесу самовідпуску, багаторазовість накладання термічних циклів на оброблювану поверхню при багатопрохідному шліфуванні, короткочасність процесів аустенізації і наявність різних по величині питомих навантажень у зоні контакту кола з деталлю.

Під впливом зазначених факторів порушується стабільність формування структури поверхневого шару, що визначає, в остаточному підсумку, довговічність деталей машин.

При нагріванні поверхні до температури вище A_{C1} з наступним інтенсивним охолодженням у поверхневому шарі формується аустеніто-мартенситна структура загартування з твердістю, що перевищує вихідну твердість до шліфування.

При шліфуванні з малими швидкостями переміщення теплового джерела і наявності рясного охолодження температура поверхні стає нижчою від температури глибинних шарів. За цих умов тепловий потік із глибинних шарів буде спрямований не тільки у внутрішні шари металу, але й у більш холодний поверхневий уже раніше загартований шар. В результаті додаткового підігріву в поверхневому шарі відбудеться самовідпуск, утвориться структура троостито-мартенсита з заниженою твердістю.

При шліфуванні з малими глибинами різання і великими швидкостями переміщення теплового джерела в поверхневому шарі матеріалу процес повної аустенізації в ряді випадків не встигає завершитися.

5.11. МЕТОДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ДЕТАЛЕЙ

Остаточна обробка дуже впливає на якість поверхневого шару деталей і в зв'язку з цим на їх експлуатаційні властивості. Найбільш розповсюдженими методами остаточної обробки деталей є абразивно-алмазні процеси.

На машинобудівних заводах проблема поліпшення якості поверхневого шару деталей в основному вирішується підбором оптимальних режимів обробки і відповідної характеристики інструмента. Однак методи остаточної обробки деталей не дозволяють цілком виключити появу дефектів, що виникають у поверхневому шарі. Цьому перешкоджають неминучі коливання припуску у зв'язку з похибками від попередніх операцій механічної обробки, короблення деталей при термічній обробці, коливання шпинделя і наявність інших дефектів, що залежать від самого процесу обробки. У зв'язку з цим вивчення нових технологічних методів і параметрів, включаючи систему інструмент - деталь - робоче середовище, у розв'язку проблеми поліпшення якості поверхневого шару деталей, є важливою задачею і має велике наукове і практичне значення. Наприклад, стабільна якість поверхневого шару при шлі-

фуванні і високій продуктивності можна забезпечити при шліфуванні деталей кругами з переривчастою робочою поверхнею.

Для забезпечення стабільної якості поверхневого шару необхідно розробити спосіб керування теплонапруженістю процесу шліфування. Теплонапруженість процесу шліфування можна стабілізувати шляхом переривчастого процесу різання до того моменту, поки не відбулося теплове насичення, шляхом застосування адаптивних систем керування процесом шліфування і шляхом імпрегнування шліфувальних кругів.

5.11.1. СУТНІСТЬ ПРОЦЕСУ ПЕРЕРИВЧАСТОГО ШЛІФУВАННЯ

Температуру в зоні шліфування можна понизити, якщо шліфування робити з визначеними інтервалами, причому тривалість різання між цими інтервалами зробити меншою часу теплового насичення металу і за час розриву процесу остудити поверхню деталі. Під тепловим насиченням розуміється такий стан поверхні, коли її температура, досягнувши максимуму, зберігається визначений час.



Рис. 5.31. Осцилограма зміни температури в зоні контакту шліфувального кола.

За рахунок переривчастого процесу різання можна значно зменшити температуру в зоні різання й уникнути появи дефектів шліфування, що погіршують експлуатаційні властивості деталей. Такий процес можна здійснити при шліфуванні кругами, що мають на робочій поверхні ряд чергуючих виступів, і западин визначеної довжини.

На рис. 5.31 показана осцилограма запису температури спеціальною термопарою. На робочій поверхні круга 1 у спеціальних каналах (рис. 5.32) монтувалися термоелектроди з ніхромованого дроту під кутом 40° до осі обертання кола. Крок між рядами забезпечував перекриття контакту двох суміжних термоелектродів. Перекриття двох суміжних рядів забезпечило безперервність контакту термоелектродів з деталлю. Кінці термоелектродів 2 припаювалися до мідної прокладки. Сигнал з термоелектродів через струмознімач 3 реєструвався на осцилографі 4.

На осцилограмі чітко проглядається область теплового насичення

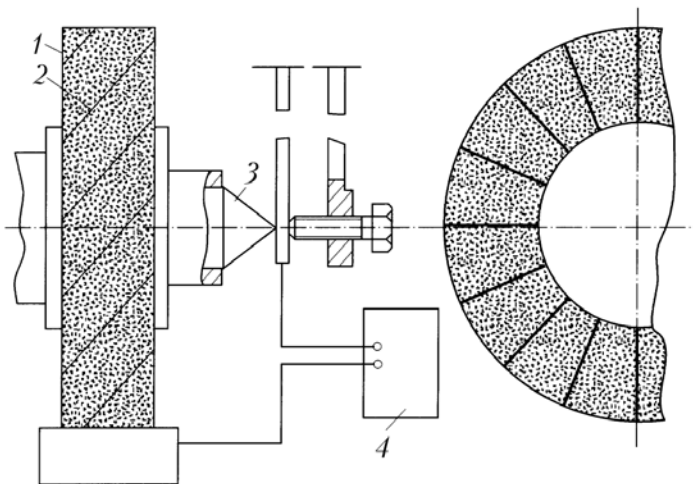


Рис. 5.32. Шліфувальний круг з нахиленими витками ніхромованого дроту.

рядок ($1/47 \dots 1/50$, с), що і період теплового насичення.

Отже, для досягнення граничного стану температурного поля (теплового насичення) шліфувальний круг повинен зробити тільки один повний оборот. Швидкість обертання шліфувального круга приблизно в 100 разів більша швидкості руху деталі. При цих умовах під кожною елементарною площинкою поверхні деталі круг обов'язково зробить повний оборот. Отже, процес шліфування при даних співвідношеннях швидкостей круга і деталі протікає з максимальною тепловою напруженістю. Якщо тривалість нагрівання елементарної площинки на поверхні деталі буде менша часу досягнення теплового насичення, то температура в зоні контакту не досягає свого максимального значення і може бути обмежена. Обмеження температури може бути забезпечене шляхом періодичного поновлення і переривання процесу нагрівання, поки температура поверхні не досягла максимального критичного значення.

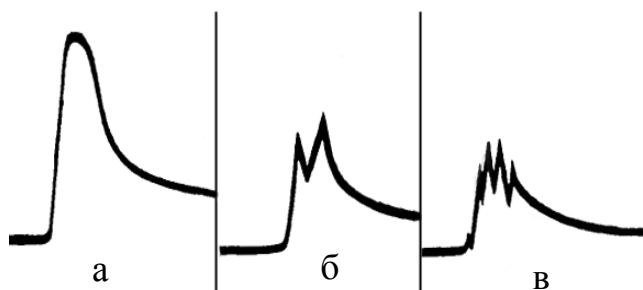


Рис. 5.33. Осцилограма зміни температури при шліфуванні колами: а – суцільним; б – переривчастим з 20 вирізами; в – переривчастим з 25 вирізами.

(ділянка АВ) (рис. 5.31). Записана на цій же осцилограмі постійна частота 250 Гц дозволяє судити про час теплового насичення. При шліфуванні машиновуглецевих сталей період теплового насичення змінюється від 0,01 до 0,03 с.

Час одного обороту шліфувального круга при частотах обертання шпинделя, наприклад, рівних 2800 – 3000 об/хв, має такий же по-

Такий нестационарний тепловий режим шліфування відкриває принципово нову можливість керування температурою в зоні контакту за рахунок періодичного переривання процесу шліфування.

На рис. 5.33 представлені осцилограми температури поверхні при шліфуванні деталей із сталі 12Х2Н4А суцільним і

переривчастим кругами. Температура визначалася напівштучною термopарою ніхром-сталь методом шліфування мікротермопари. З аналізу осцилограм видно, що температура поверхні при шліфуванні переривчастим кругом знижується приблизно на 30 – 40%.

5.11.2. ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЦЕСУ ПЕРЕРИВЧАСТОГО ШЛІФУВАННЯ

Проблема підвищення якості поверхневого шару досягається шляхом електрофізико-хімічних ефектів, що впливають на абразивний матеріал чи застосування переривчастих кругів.

Головна перевага першого напрямку - ефективне виправлення круга в процесі самого процесу шліфування. Перевага другого напрямку: виправлення шліфувального круга і наявність ефекту переривчастості. Ефективне виправлення забезпечує підтримку гострого рельєфу ріжучого круга у часі. Переривання процесу різання знижує температуру в зоні різання, збуджує високочастотні коливання в пружній системі, змінює баланс тепла між стружкою і деталлю.

При переривчастому шліфуванні зменшення температури відбувається по двох каналах: за рахунок переривання процесу різання до того моменту, поки температура не досягла квазістаціонарного стану, і за рахунок створення гострого ріжучого рельєфу на колі. Жоден з відомих процесів шліфування не має подвійного ефекту.

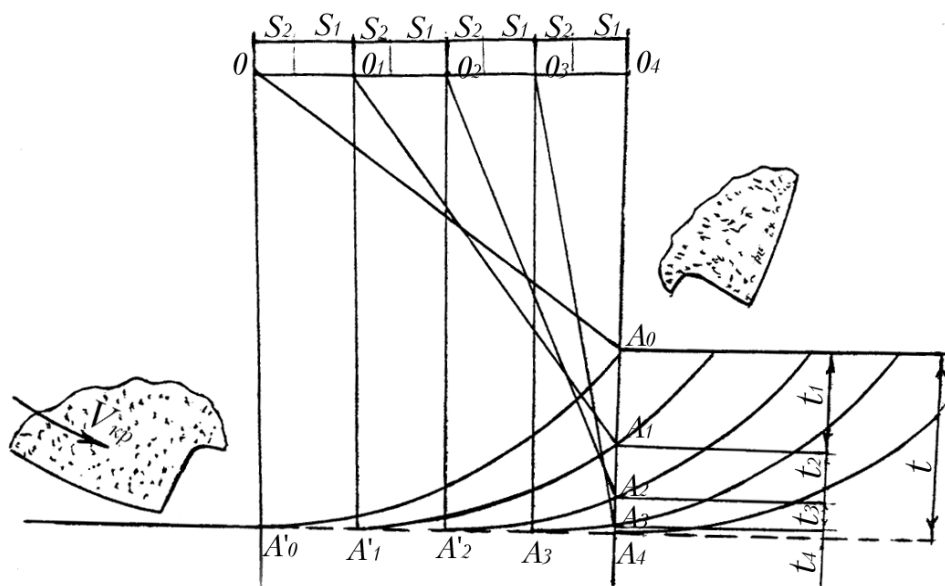


Рис. 5.34. Схема пошарового видалення припуску.

При шліфуванні переривчастими кругами припуск видаляється окремими шарами. На рис. 5.34 показана схема видалення припуску

окремими виступами переривчастого ріжучого круга. Число ріжучих виступів минаючих над кожною точкою поверхні, що шліфується, за період проходження зони контакту, визначається формулою

$$n = \frac{\sqrt{Dt} V_{kp}}{V_{\partial}(l_1 + l_2)}, \quad (5.13)$$

де D – діаметр шліфувального кола; t – глибина шліфування; V_{kp} – швидкість кола; V_{∂} – швидкість деталі; l_1 – довжина ріжучого виступу; l_2 – довжина пазів між виступами.

Для дослідження теплових явищ при переривчастому шліфуванні розглянемо наступну розрахункову схему. Теплове джерело із змінною інтенсивністю q_i переміщується по адіабатичному стрижню A_0A_4 (рис. 5.34), дискретно перерізаючи його. Для цих умов теплова схема описується одномірним диференціальним рівнянням теплопровідності

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (5.14)$$

при початкових і граничних умовах:

$$T(x, \tau)|_{\tau=0} = T_0; \quad T(x, \tau)|_{x=0} = T_u; \quad \left. \frac{\partial T(x, \tau)}{\partial x} \right|_{x=\infty} = 0,$$

Розв'язок диференціального рівняння має вигляд

$$T = 2q \sqrt{\frac{\tau}{c\rho\lambda}} \operatorname{ierfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{a\tau}}\right), \quad (5.15)$$

де T_0 – початкова температура деталі, рівна температурі середовища; T_u – температура теплового джерела на зрізі адіабатичного стрижня, °С; c – теплоємність оброблюваного матеріалу, (Дж/кг·°С); ρ – щільність оброблюваного матеріалу, кг/м³; λ – коефіцієнт теплопровідності, Дж/(м·с·°С); a – коефіцієнт температуропровідності, $a = \frac{\lambda}{c\rho}$.

Для математичного опису теплових процесів, що протікають у зоні

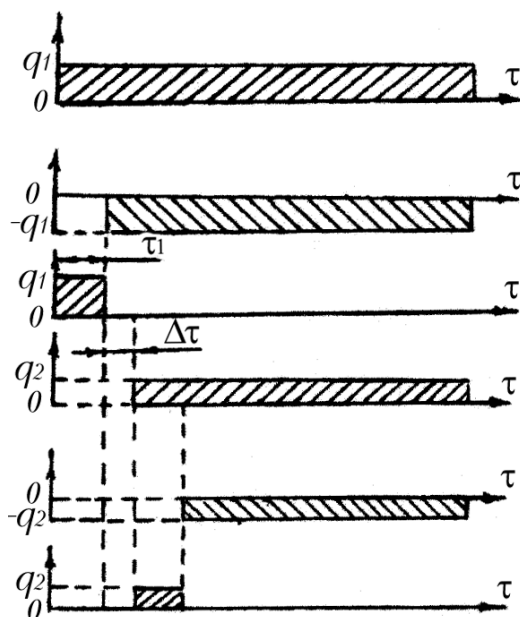


Рис. 5.35. Формування теплових імпульсів від роботи окремих виступів переривчастого ріжучого кола.

контакту переривчастого кола, розглянемо схему, представлену на рис. 5.35. Для формування теплового імпульсу застосуємо принцип суперпозиції, тобто змістивши початок координат у напрямку осі τ на величину $\tau_1 = \frac{l_1}{V_{kp}}$, що відповідає часу роботи ріжучого виступу, при-

кладемо до поверхні негативне (вдавання) теплове джерело.

Використовуючи принцип суперпозиції, виведене рівняння для розрахунку температури на поверхні, тобто в точці A_4 , (рис. 5.34).

$$T = \frac{2}{\sqrt{c\rho\lambda}} \sum_{i=1}^n q_i \left[\sqrt{i \frac{l_1}{V_{kp}} + (i-1) \frac{l_2}{V_{kp}}} \cdot \operatorname{ierfc} \left(\frac{t - \sum_{i=1}^n t_i}{2\sqrt{a} \sqrt{i \frac{l_1}{V_{kp}} + (i-1) \frac{l_2}{V_{kp}}}} \right) - \sqrt{(i-1) \frac{(l_1+l_2)}{V_{kp}}} \cdot \operatorname{ierfc} \left(\frac{t - \sum_{i=1}^n t_i}{2\sqrt{a} \sqrt{(i-1) \frac{(l_1+l_2)}{V_{kp}}}} \right) \right], \quad (5.16)$$

де c, ρ, λ – теплоємність, щільність, теплопровідність оброблюваного матеріалу відповідно; l_1, l_2 – довжина ріжучого виступу і довжина вирізу відповідно; t_i – товщини зрізуючих шарів окремими ріжучими виступами.

Вони визначаються з виразів

$$t_i = \begin{cases} \sqrt{R_{kp}^2 - \left(\sqrt{D \cdot t} - i \frac{V_{\dot{S}}}{V_{kp}} (l_1 + l_2) \right)^2} - \sqrt{R_{kp}^2 - D \cdot t}, & \text{êî èè} \quad i=1 \\ \sqrt{R_{kp}^2 - \left(\sqrt{D \cdot t} - i \frac{V_{\dot{S}}}{V_{kp}} (l_1 + l_2) \right)^2} - \left(\sqrt{R_{kp}^2 - D \cdot t} - \sum_{j=1}^{i-1} t_j \right), & \text{êî èè} \quad i \geq 2 \end{cases} \quad (5.17)$$

q_i – щільність теплового контакту на зрізі пропорційна силі різання F_{Z_i} . У свою чергу, сила різання пропорційна глибині різання $t_i^{0,855}$ ($F_{Z_i} \equiv t_i^{0,855}$). Отже $q_i \equiv t_i^{0,855}$.

$$\operatorname{ierfc} u = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp(-u^2) - u \operatorname{erfc} u, \quad \operatorname{erfc} u = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_u^{\infty} \exp(-t^2) dt$$

(див. таблицю додатку 15).

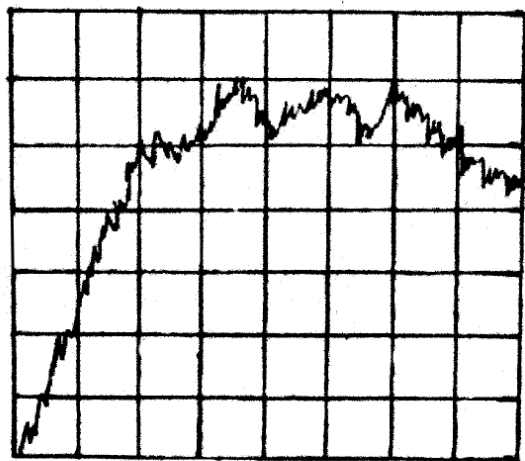
Для оцінки ступеня зниження температури шліфування при переривчастому шліфуванні були зроблені розрахунки температур.

Вихідні дані для розрахунку: сталь 12Х2Н4А ($\lambda=16,7$ Вт/(м²·°С); $a=3\cdot 10^{-6}$ м/с) $l_1=30$ мм; $l_2=22,4$ мм.

Режими шліфування: $V_{кр}=30$ м/с; $t=0,015$ мм; $V_{\partial}=5$ м/хв.

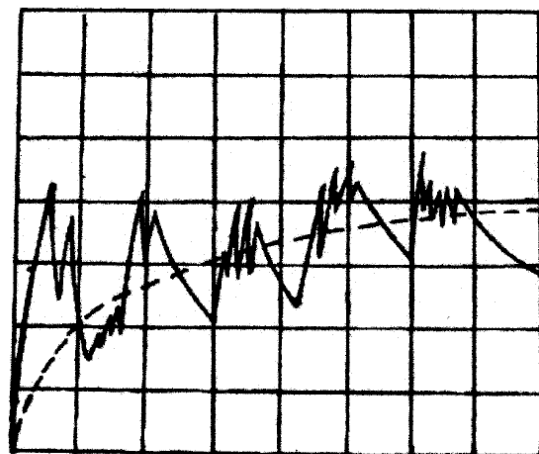
Таблиця 5.8

№ шару	Глибина зрізуючого шару t_i , м	$T_{спл}$ °С суцільне коло	$T_{пр}$ °С переривчасте коло	Ступінь зниження температури
1	$2,40\cdot 10^{-6}$	295,7	230,9	21,9
2	$2,20\cdot 10^{-6}$	433,5	321,4	25,8
3	$1,99\cdot 10^{-6}$	526,6	384,2	27,0
4	$1,78\cdot 10^{-6}$	597,6	432,7	27,6
5	$1,58\cdot 10^{-6}$	654,5	470,4	28,1
6	$1,40\cdot 10^{-6}$	698,8	498,5	28,7
7	$1,20\cdot 10^{-6}$	733,1	519,6	29,1
8	$0,93\cdot 10^{-6}$	755,9	533,4	29,4
9	$0,72\cdot 10^{-6}$	767,4	538,6	29,8
10	$0,51\cdot 10^{-6}$	767,3	534,9	30,3
11	$0,29\cdot 10^{-6}$	750,0	518,6	30,9
12	$0,09\cdot 10^{-6}$	702,4	479,8	31,7



0 3 6 9 12 15 18 21 $\tau \cdot 10^{-3}$ с

а



0 1,2 2,4 3,6 4,8 6,0 7,2 8,4 $\tau \cdot 10^{-3}$ с

б

Рис. 5.36. Осцилограми зміни температури на площині зрізу при звичайному (а) и переривчастому (б) шліфуванні ($l_1=30$ мм, $l_2=22,4$ мм, $V_{кр}=30$ м/с, $V_a=5$ м/хв).

У табл. 5.8 представлені розрахункові значення температур, що виникають на глибині зрізуючого припуску t по мірі видалення шарів з адіабатичного стрижня A_0A_4 (рис. 5.34) різними ріжучими виступами. Ступінь зниження температури $L = (1 - T_{np}/T_{cпл}) \cdot 100$ при переривчастому шліфуванні коливається в межах 22 – 30%.

На рис. 5.36 показані осцилограми температур при суцільному (а) і переривчастому (б) шліфуванні, отримані при швидкості розгорнення луча осцилографа $9,6 \cdot 10^{-3}$ с/см і $1,2 \cdot 10^{-3}$ с/см. Величини температурних сплесків на осцилограмі пропорційні глибинам зрізуючим шарів t_i (рис. 5.34).

5.11.3. РІЖУЧА ЗДАТНІСТЬ ПЕРЕРИВЧАСТИХ КРУГІВ

Ріжуча здатність переривчастих кіл оцінюється величиною коефіцієнта F_z/F_y шліфування, роботою, витраченою на видалення одиниці об'єму матеріалу, A (Дж/мм³) і питомим обсягом металу, що знімається в одиницю часу K (мм³/(с · Н)).

На рис. 5.37 представлені криві зміни параметрів, що характеризують ріжучу здатність суцільних і переривчастих ($l_1=3,6$ мм; $l_2=2,4$ мм) шліфувальних кіл 24A25CM16K5 від часу.

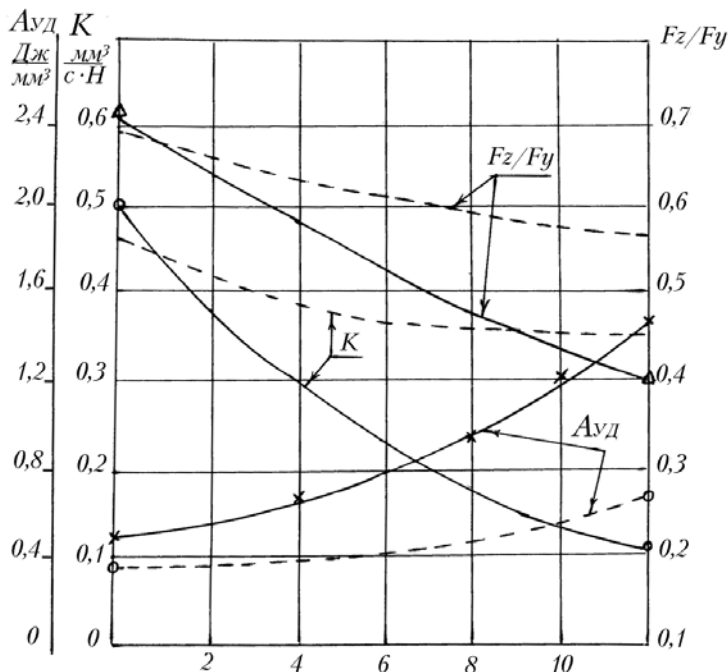


Рис. 5.37. Залежність питомої роботи шліфування $A_{уд}$, питомого знімання металу K і коефіцієнта шліфування F_z/F_y від часу. Контурні лінії - суцільне коло, пунктирні - переривчасте.

За 12-хвилинний період шліфування сталі X12M на режимі ($V_{кр} = 34,5$ м/с; $V_{\delta} = 0,1$ м/с; $S_{non} = 0$; $F_y = 1,2$ Н/мм) суцільним кругом 24A25CM16K5 питома робота шліфування збільшилася в 3,4 рази, тобто від 0,45 до 1,5 Дж/мм³. Після 12-хвилинного періоду шліфування переривчастим колом питома робота шліфування зросла від 0,38 до 0,6 Дж/мм³. Питоме знімання металу при шліфу-

ванні суцільним і переривчастим кругами зменшилось від 0,5 до 0,1 $\text{мм}^3/(\text{с}\cdot\text{Н})$ і від 0,45 до 0,35 $\text{мм}^3/(\text{с}\cdot\text{Н})$ відповідно.

Коефіцієнт шліфування F_z/F_y за досліджуваній період обробки суцільним кругом зменшився від 0,72 до 0,4, а після шліфування переривчастим кругом залишився майже незмінним.

З приведених даних видно, що переривчасті круги зберігають більш тривалий час гарну ріжучу здатність.

У первинний період часу роботи переривчастого круга, умови роботи ріжучих зерен майже не відрізняються від звичайного шліфування, якщо не вважати, що за рахунок вирізів зменшується загальна кількість зерен і, відповідно, зростає навантаження на них. Сила удару, що сприймається в основному зернами, розташованими в зоні, яка прилягає до передньої кромки ріжучого виступу викликає їхнє інтенсивне руйнування і викрашування із зв'язки. В міру спрацювання переривчастого круга відбувається самооформлення профілю, тобто на ріжучих виступах, формуються фронтальні поверхні, що мають деякий кут атаки до площини різання.

Слід зазначити, що оформлення фронтальної поверхні докорінно змінює умови видалення припуску. Після повного самооформлення профілю ріжучі виступи зберігають тривалий час стабільну роботу ріжучих зерен. Самозагострювання кола протікає рівномірно по всьому профілю із збереженням постійного кута атаки. Відбувається стабілізація ріжучої здатності кола. Ріжучі зерна на профілі круга, що сформувався, розташовуються на різних радіусах від центра обертання круга і зерна, переміщаючи по концентричних колах, видаляють загальний припуск окремими тонкими шарами. При такій схемі видалення припуску змінюється баланс тепла, що йде в стружку й оброблювану деталь.

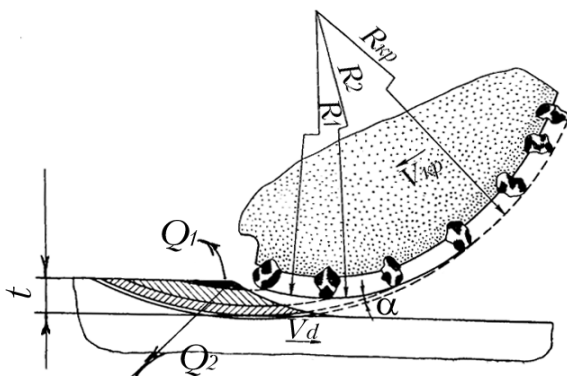


Рис. 5.38. Схема видалення припуску окремими тонкими шарами.

На рис. 5.38 представлена схема видалення припуску окремими тонкими шарами. Ріжучі зерна розташовані в зоні, що прилягає до передньої кромки ріжучого виступу, зрізують верхній шар металу. Тепло Q_2 , яке виділяється, прагне поширитися в глибинні шари металу. Але це тепло не встигає проникнути на глибину зрізуючого припуску t , тому що наступна група зерен, розташованих на більшому радіусі ріжучого виступу зрізує

розігрітий шар, несучи велику частку тепла зі стружкою Q_1 .

При переривчастому шліфуванні кількість тепла, що поглинається деталлю, на 50% менше в порівнянні зі звичайним шліфуванням.

5.11.4. МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПЕРЕРИВЧАСТИХ КІЛ

Спочатку необхідно вибрати ступінь зниження температури, що забезпечує протікання процесу шліфування без припиків і тріщин. Цей параметр характеризує відношення максимальних температур при переривчастому θ_n^* і при суцільному θ_c^* шліфуваннях $p = \theta_n^* / \theta_c^*$. Практика використання переривчастих кругів на машинобудівних заводах показує, що для забезпечення необхідної розмірної стійкості довжина ріжучих виступів l_1 повинна бути більше довжини паза l_2 . Приймаючи це положення за основу, проведена апроксимація залежностей $\theta^* = \theta^*(Fo_1, v)$ і побудовані графіки (рис. 5.39) безрозмірного комплексу $Fo_1 = a\tau/h^2$, що визначає час τ_1 роботи ріжучого виступу, від відношення $v = l_2/l_1$ в інтервалі зміни безрозмірного параметра u від 1 до 150 при трьох значеннях коефіцієнта p . У результаті обробки даних отримана загальна структурна формула

$$Fo_1 = \frac{v - v_0}{A + Bu}, \quad (5.18)$$

де v_0, A, B – постійні величини, що залежать від безрозмірного параметра u і коефіцієнта зниження температури p (табл. 5.9).

Таблиця 5.9. Значення постійних коефіцієнтів

Коефіцієнт зниження температури p	$1 < u \leq 15$			$15 < u \leq 90$			$90 < u \leq 150$		
	A	B	v_0	A	B	v_0	A	B	v_0
0,8	1	0,32	0,25	1	0,32	0,27	1	0,32	0,28
0,7	4	0,75	0,44	4	0,75	0,48	4	0,75	0,52
0,6	5	1,70	0,68	5	1,70	0,71	5	1,70	0,74

Ділянка $1 < u \leq 15$ відповідає малим швидкостям переміщення зони контакту. Наприклад, при $h = 1,5 \cdot 10^{-3}$ м, $a = 6 \cdot 10^{-6}$ м²/с, $u = 1$ і $u = 15$ швидкості переміщення відповідно рівні 0,004 і 0,005 м/с.

Наступні ділянки захоплюють діапазони зміни швидкостей джерела тепла від 0,05 до 0,33 м/с і від 0,33 до 0,66 м/с. При $v = v_0$ формула (5.18) втрачає зміст, тобто в цьому випадку ні при якому F_{01} не буде знижуватися температура в зоні контакту від переривання процесу шліфування. Для розрахунку геометричних параметрів переривчастих

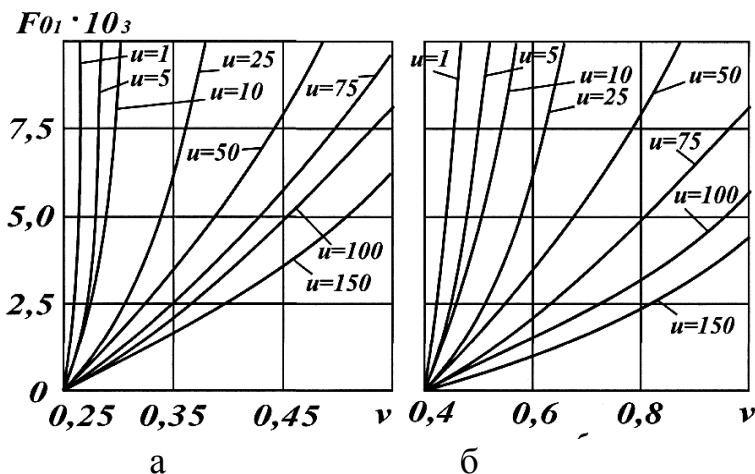


Рис. 5.39. Залежність безрозмірного часу Fo від відношення v для різних безрозмірних швидкостей u : а - ступінь зниження температури 20% ($P=0,8$); б - ступінь зниження температури 30% ($P=0,7$).

кругів необхідно мати наступні вихідні дані: швидкість V_δ переміщення деталі; глибину шліфування t ; діаметр кола d ; теплофізичні константи оброблюваного матеріалу – теплопровідність λ , теплоємність c , щільність γ . Розглянемо порядок розрахунку геометричних параметрів кругів з переривчастою поверхнею.

1. Визначаємо безрозмірний параметр швидкості $u = V_\delta h / a$.
2. Для плоского шліфування периферією кола $h = 0,5\sqrt{dt}$.
3. Задаючись необхідним ступенем зниження температури, з табл. 5.9 знаходимо значення коефіцієнтів $v_0 < v$. Відношення вибираємо з умови $v_0 < v \leq 1$.

4. По формулі (5.18) обчислюємо критерій Фур'є F_{01} , а за формулами $l_1 = h^2 / a \cdot V_{kp} F_{01}$; $l_2 = v l_1$ (V_{kp} – швидкість периферії кола) знаходимо параметри переривчастого кола.

Для зменшення дисбалансу шліфувального круга число ріжучих виступів рекомендується робити парним. З цією метою необхідне коректування розрахункових величин $l_1 + l_2$ з виконанням умови

$$z = \frac{\pi d_{kp}}{l_1 + l_2}, \text{ ціле парне число виступів кола, рівне } 4, 6, 8, \dots$$

Приклад 1. Режим обробки $V_\delta = 0,2$ м/с; $h = 1,5 \cdot 10^{-3}$ м; $V_{kp} = 30$ м/с; матеріал сталь Х12М ($a = 6 \cdot 10^{-6}$ м²/с).

Потрібно визначити геометричні параметри круга з переривчастою поверхнею, що повинний за рахунок переривання процесу до то-

го моменту, поки не відбулося теплове насичення, зменшити температуру в порівнянні з процесом шліфування суцільним кругом на 30% ($p = 0,7$).

Розв'язок:

1. Визначаємо безрозмірну швидкість переміщення деталі

$$u = \frac{V_{\partial} h}{a} = \frac{0,2 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3}}{6 \cdot 10^{-6}} = 50.$$

2. У формулу (5.18) підставляємо постійні коефіцієнти A, B і v_0 (з табл. 5.9), що відповідають заданому ступеню зниження температури $p = 0,7$ і розрахованій по формулі (5.18) безрозмірній швидкості $u = 50$

$$Fo_1 = \frac{v - 0,48}{4 + 0,75 \cdot 50}. \quad (5.19)$$

Відношення $v = l_1/l_2$ для даного випадку може змінюватися від 0,5 до 1,0. У зазначеному інтервалі значень v можна одержати велике різноманіття переривчастих кругів, з яких усі вони забезпечують постійний ступінь зниження температури $p = 0,7$.

З врахуванням розмірної стійкості кола рекомендується вибирати цей параметр мінімальним. Приймаючи $v = 0,65$, одержимо

$$Fo_1 = \frac{0,65 - 0,48}{4 + 0,75 \cdot 50} = 4,0 \cdot 10^{-3} \text{ Н},$$

$$l_1 = \frac{h^2 V_{kp}}{a} \cdot Fo_1 = \frac{2,25 \cdot 10^{-6}}{6 \cdot 10^{-6}} \cdot 30 \cdot 4,0 \cdot 10^{-3} = 45 \text{ мм},$$

$$l_2 = l_1 v = 45 \cdot 0,65 = 29 \text{ мм}.$$

3. Визначаємо кількість ріжучих виступів для кола

$$z = \frac{\pi d_{kp}}{l_1 + l_2} = \frac{3,14 \cdot 250}{45 + 29} = 10,6.$$

Приймаючи $z = 10$, робимо коректування геометричних параметрів переривчастого круга $l_1 = 48,5$ мм; $l_2 = 30$ мм.

Приклад 2. Шліфується деталь із сталі 12Х2Н4А ($a = 4 \cdot 10^{-6}$ м²/с), напівширина теплового джерела $h = 1,5 \cdot 10^{-3}$ м; $V_{kp} = 30$ м/с, швидкості переміщення теплового джерела $V_{\partial} = 0,083$ м/с; $0,166$ м/с; $0,249$ м/с.

Розв'язок:

1. Визначаємо безрозмірні параметри швидкості по формулі [8]: $u_1 = 31$; $u_2 = 62$; $u_3 = 93$.

2. Для коефіцієнта зниження температури $p = 0,6$ й $u_1 = 31$ і $u_2 = 62$ формула для розрахунку критерію Fo_1 має вигляд

$$Fo_1 = \frac{v - 0,71}{5 + 1,7u}.$$

Приймаючи $v = 0,8$, одержимо наступні величини ріжучих виступів $l_{1,1} = 27$ і і мм; $l_{1,2} = 13,8$ і і мм і, відповідно, западин $l_{2,1} = 21,6$ і і мм; $l_{2,2} = 11$ і і мм. Для коефіцієнта зниження температури $p = 0,6$ і $u_3 = 93$ формула для розрахунку критерію Fo_1 має вигляд

$$Fo_1 = \frac{v - 0,74}{5 + 1,7u}.$$

Приймаючи $v = 0,86$, одержимо наступні величини ріжучих виступів $l_{1,3} = 6,2$ і і мм; $l_{2,3} = 4,9$ і і мм. Зі збільшенням швидкості переміщення теплового джерела від 0,083 до 0,249 м/с довжина ріжучих виступів і западин переривчастих кругів, що забезпечують однаковий ступінь зниження температури $p = 0,6$, як показують розрахунки, зменшується від $l_{1,1} = 27$ і і мм; $l_{2,1} = 21,6$ і і мм до $l_{1,3} = 6,2$ і і мм; $l_{2,3} = 4,9$ і і мм.

5.11.5. УМОВИ ВИНИКНЕННЯ ПАРАМЕТРИЧНОГО РЕЗОНАНСУ І ВИЗНАЧЕННЯ ОБЛАСТЕЙ НЕСТІЙКОСТІ РОБОТИ ПРУЖНОЇ СИСТЕМИ ВЕРСТАТА ЗМ71

Періодичність зміни збуджуючої сили у режимі переривчастого шліфування приводить до зміни жорсткості пружної системи за часом (рис. 5.40).

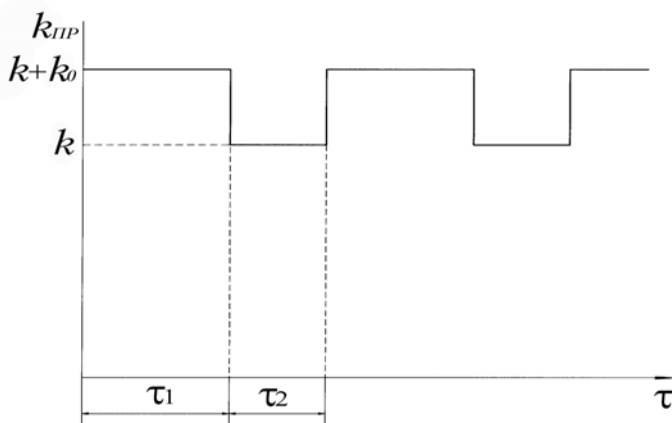


Рис. 5.40. Зміна твердості пружної системи плоскошліфувального верстата при переривчастому шліфуванні.

У момент контакту ріжучого виступу з оброблюваною деталлю жорсткість пружної системи дорівнює $k + k_0$, а в момент розриву, процесу різання - k . Жорсткість k характеризує властивості пружної системи верстата в розімкнутому стані і визначається

його конструкцією, а також умовами сполучення його елементів.

Статична жорсткість різання $k_0 = k \cdot \left(\frac{t_n}{t} - 1 \right)$, де t_n – задана по лімбу верстата глибина різання; t – дійсне знімання металу.

Відповідні коливання називають параметрично збудливими. Небезпеку представляють коливання із зростаючими амплітудами. Вони приводять до параметричного резонансу.

Встановлено, що чим більший інтервал зміни жорсткості, тим ширша область хитливих режимів шліфування. Для виявлення потенційно можливих областей виникнення параметричного резонансу розглянемо одномасову систему в сталому режимі. При переривчастому шліфуванні рух системи описується рівнянням

$$m\ddot{y} + b\dot{y} + ky = (F - k_0 y)f(\tau), \quad (5.20)$$

$$\text{де } f(\tau) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } 0 < \tau < \tau_1 \\ 0, & \text{якщо } \tau_1 < \tau < (\tau_1 + \tau_2) \end{cases}$$

Диференціальні рівняння руху системи в період контакту виступу з оброблюваною деталлю і розриву процесу різання мають вид

$$\begin{cases} m_{np}\ddot{y}_1 + by_1 + ky = -k_0 y_1 \\ \\ m_{np}\ddot{y}_2 + by_2 + ky = 0 \end{cases} \quad (5.21)$$

Таким чином, рух системи описується двома рівняннями з різними коефіцієнтами при координаті y . У даному випадку перемінний коефіцієнт при координаті y змінюється за законом прямокутного імпульсу (рис. 5.40) з періодом $\tau_1 + \tau_2$.

Протягом часу $\tau_1 + \tau_2$ рівняння мають постійні коефіцієнти, тому можна скористатися способом припасування. Розв'язок системи рівнянь (5.21) прийме вигляд

$$\begin{cases} y_1 = e^{-\eta\tau} [A \sin(\omega_1\tau) + B \cos(\omega_1\tau)] \\ \\ y_2 = e^{-\eta\tau} [C \sin(\omega_2\tau) + D \cos(\omega_2\tau)] \end{cases}, \quad (5.22)$$

де $\omega_1 = \sqrt{\frac{k+k_0}{m} - \eta^2}$; $\omega_2 = \sqrt{\frac{k}{m} - \eta^2}$; m – приведена маса; η – коефі-

цієнт затухання.

Для визначених постійних A, B, C, D необхідно врахувати граничні умови. Дві умови віднесемо до моменту часу τ_1

$$y_1(\tau_1) = y_2(\tau_2); \quad \dot{y}_1(\tau_1) = \dot{y}_2(\tau_2) \quad (5.23)$$

дві інших умови – до моменту часу $(\tau_1 + \tau_2)$

$$\lambda_0 y_1(0) = y_2(\tau_1 + \tau_2); \quad \lambda_0 \dot{y}_1(0) = \dot{y}_2(\tau_1 + \tau_2), \quad (5.24)$$

де λ_0 – деяке постійне число.

Якщо $|\lambda_0| > 1$, то коливання в кожному періоді підсилюються, а якщо $|\lambda_0| < 1$, те вони будуть поступово затухати. Таким чином, стійкість системи визначається значенням модуля λ_0 .

Після підстановки у вираз (5.22) умов (5.23) і (5.24) і розв'язок системи однорідних рівнянь щодо постійних A, B, C, D одержимо наступне квадратне рівняння

$$\lambda_0^2 - 2L\lambda_0 + M = 0,$$

де

$$L = \frac{1}{2} e^{-\eta(\tau_1 + \tau_2)} \left[\frac{\omega_1^2 + \omega_2^2}{\omega_1 \omega_2} \sin(\omega_1 \tau_1) \sin(\omega_2 \tau_2) - 2 \cos(\omega_1 \tau_1) \cos(\omega_2 \tau_2) \right];$$

$$M = e^{-2\eta(\tau_1 + \tau_2)}.$$

Корені цього рівняння

$$\lambda_{0,2} = L \pm \sqrt{L^2 - M}.$$

Для того, щоб $\lambda_{0,1}$ і $\lambda_{0,2}$ були дійсними, повинна дотримуватися нерівність $L^2 > M$. Умову нестійкості $|\lambda_0| > 1$ можна записати як $|L| > 1 + M/2$.

Області нестійкості пружної системи верстату 3Г71 визначаються геометричними параметрами переривчастого круга, динамічними характеристиками пружної системи і чисельним значенням жорсткості різання k'_0 . Області нестійкої роботи пружної системи верстату при шліфуванні переривчастими кругами представлені на рис. 5.41.

Приведені дані дозволяють оцінювати переривчасті круги по динамічній стійкості. Оцінка динамічності пружної системи верстату на підставі отриманих областей нестійкої роботи пружної системи верстату дозволила рекомендувати застосування на плоскошліфувальних верстатах кругів з визначеним числом ріжучих виступів [12, 14, 16, 18].

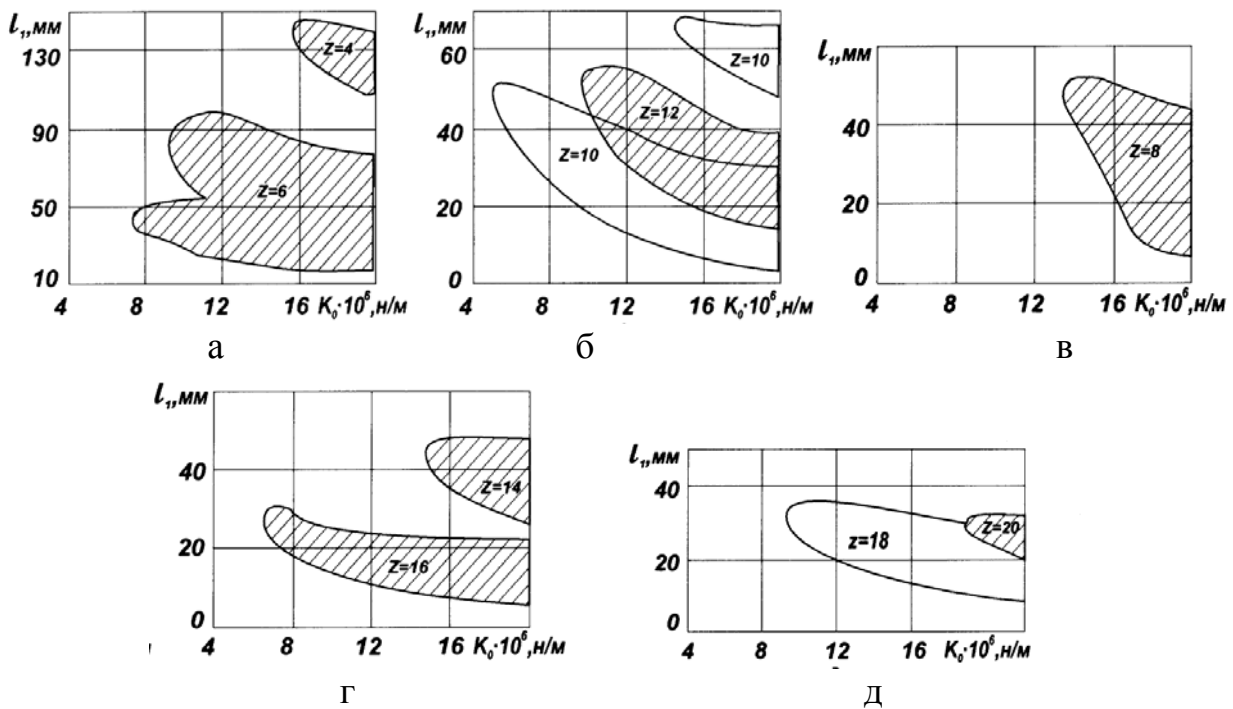


Рис. 5.41. Области нестійкої роботи пружної системи плоскошліфувального станка 3Г71 при різних z : а - $z=4...6$; б - $z=8$; в - $z=10...12$; г - $z=14...16$; д - $z=18...20$.

Залежність l_1 (мм) від геометричних параметрів переривчастих шліфувальних кіл з діаметром $d_{kp}=250$ мм і глибиною прорізування пазів 20–30 мм можна представити в наступному виді

Таблиця 5.10

z	$v=0,3$	$v=0,5$	$v=1,0$
12	50	44	32
14	42	38	28
16	38	34	25
18	34	30	–

З аналізу наведених даних видно, що області нестійкої роботи пружної системи верстата визначаються геометричними параметрами переривчастого круга. Великі амплітуди коливань при переривчастому шліфуванні викликають істотне погіршення якості поверхні. У зв'язку з цим оптимізація геометричних параметрів переривчастих кругів з метою усунення резонансних і нестійких режимів роботи пружної системи верстата є задачею першорядної важливості.

Відомо, що для усунення резонансних умов роботи переривчастих кругів необхідно забезпечити частоту імпульсного впливу ударів від ріжучих виступів 1,1 рази більше резонансної. З урахуванням цієї умови довжина ріжучих виступів, що виключають виникнення ударного і параметричного резонансу [14], повинна бути

$$l_1 = \frac{\pi d_{kp} n}{(3 \dots 4,6) \omega i_{max}},$$

де d_{kp} – діаметр шліфувального кола; n – частота обертання шпинделя шліфувального кола; ωi_{max} – максимальна частота вигинаючих коливань спектра власних коливань пружної системи верстата в напрямку нормалі до оброблюваної деталі. Зазначений у формулі інтервал (3...4,6) характеризує довжину ріжучих виступів, що забезпечують необхідне зниження температури в зоні різання і високу стійкість кола.

5.12. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ СТАБІЛІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ

Проблема забезпечення заданої якості поверхневого шару деталей при їхній обробці для кожного конкретного випадку вирішується дослідним шляхом - підбором умов обробки, які не завжди виявляються досить продуктивними й економічними. Експериментальне рішення зазначеної проблеми вимагає в кожному конкретному випадку проведення самостійної науково-дослідної роботи, найчастіше досить трудомісткої. Подальший розвиток технології виготовлення деталей, підвищення якості і продуктивності обробки можливі лише на базі теорії, що описує основні закономірності динамічної стабілізації технологічних параметрів з урахуванням кінетики формування фізико-механічних властивостей поверхневого шару деталей. Такий підхід дозволяє свідомо керувати технологічними параметрами процесу з метою забезпечення заданої якості обробки при максимальній продуктивності.

Силкові і теплові явища, а також спрацювання інструмента визначають технологічні можливості процесу обробки: оброблюваність матеріалів, стійкість інструмента, продуктивність і економічність обробки. Для забезпечення динамічної стабілізації зазначених параметрів необхідно вивчити контактні, силкові і теплові процеси, а також явища, пов'язані із спрацюванням інструмента, що формують якість поверхневого шару і визначають продуктивність і економічність обробки. Необхідно також розробити способи їхньої конструктивно-технологічної реалізації, які забезпечують динамічну стабілізацію і розширення технологічних можливостей процесу обробки, сформулювати і вирішити задачу оптимізації режимів шліфування згідно заданих характеристик якості поверхневого шару.

5.12.1. ПРОБЛЕМА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ СТАБІЛЬНОСТІ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ШЛІФУВАННЯ

У зв'язку з підвищенням міцності оброблюваних матеріалів, точності виготовлення деталей і розвитком методів одержання точних заготовок обсяг абразивної обробки безупинно збільшується. В окремих видах виробництва на операції шліфування припадає до 60% від загальної трудомісткості механообробки [68].

Процес шліфування супроводжується великою кількістю взаємозалежних чи незалежних явищ, до числа яких відносяться:

- мінливість фізико-механічних властивостей абразивних матеріалів, наприклад, мікротвердість електрокорунда нормального змінюється в межах 18000 - 25000 МПа, електрокорунда білого 19000 - 29000 МПа, монокорунда 21000 - 28000 МПа, карбиду кремнію зеленого 25000 - 37000 МПа, кубічного нітриду бора 73000 - 100000 МПа;
- велика різноманітність форм і розмірів абразивних зерен на робочій поверхні шліфувального кола;
- розкид фізико-механічних властивостей зв'язування інструмента;
- розходження коефіцієнтів термічного розширення зерен у різних кристалографічних площинах;
- випадковий характер розмірів пор і їхній розподіл в обсязі шліфувального круга.

Зазначені недосконалості створюють неоднорідний температурно-силовий режим у мікрообсягах зони шліфування, що змінюється в часі.

Шліфувальний круг треба розглядати як головний збуджуючий фактор процесу шліфування, стабільність роботи якого визначає стабільність протікання процесу різання. Стійкість шліфувального круга стає лімітуючим параметром при визначенні часу безвідмовної роботи всієї технологічної системи.

Робота шліфувального круга в режимі самогострювання забезпечує найбільш стабільні умови протікання процесу обробки. При цьому продуктивність, сила і температура різання зберігаються практично постійними протягом усього періоду обробки.

Однак більш розповсюдженим випадком є робота круга в режимі часткового затуплення, при якому порушуються умови стаціонарності і стабільності процесу шліфування.

Рельєф круга, отриманий після виправлення, змінюється за період шліфування. У процесі роботи зерна вириваються із зв'язки, збільшується відстань між зернами, на вершинах зерен з'являються спрацьовані площинки. Відстань між ріжучими зернами є параметром, що характеризує динаміку зміни рельєфу круга з врахуванням одночасно протікаючих процесів самозагострювання і затуплення зерен. Зміна рельєфу в часі добре апроксимується виразом [69, 70]

$$\delta(\tau) = \delta_0 \exp(k\tau + c\tau^2), \quad (5.25)$$

де δ_0 – відстань між зернами після виправлення круга; τ – час шліфування; k, c – коефіцієнти самозагострювання і затуплення кола відповідно.

У процесі шліфування змінюється також інший важливий параметр рельєфу – відносна опорна довжина профілю круга η_p . З часом вона зростає.

$$\eta_p = \eta_0 \exp(\alpha\tau^2), \quad (5.26)$$

де η_0 – відносна опорна довжина профілю кола після виправлення; τ – час шліфування, хв; α – коефіцієнт ($\alpha \approx 10^{-3}$).

Збільшення η_p за час шліфування відбувається за рахунок двох одночасно протікаючих процесів: затуплення і появи нових ріжучих зерен. Варто помітити, що обидва фактори викликають збільшення η_p , але їхній вплив різний [70].

Процеси затуплення зерен і самозагострювання кола істотно залежать від виникнення вібрацій [71, 72].

У роботі [71] стверджується, що вібрації, які виникають при шліфуванні, впливають на точність і якість поверхні деталі, а також зменшують стійкість інструмента.

У роботах [72, 73], навпаки, встановлено, що застосування різання з вібраціями на оптимальних режимах підвищує оброблюваність і зменшує інтенсивність спрацьовування інструмента.

Однак варто помітити, що наявна інформація з використання вібрацій при шліфуванні нечисленна, роз'єднана і не дозволяє розробити конкретні рекомендації з керування процесом. З появою багатоопераційних верстатів із ЧПК проблема підвищення динамічної стійкості процесу шліфування стає винятково актуальною. Підвищення ефективності процесу шліфування багато в чому залежить від оптимі-

зації процесу і підвищення якості абразивного інструмента.

Розробка способів стабілізації технологічних параметрів і її практична реалізація дозволяють здійснити розрахунок технологічних характеристик і режимів обробки з врахуванням забезпечення необхідних параметрів якості при мінімальних витратах, а також оптимальне керування режимами обробки. Параметри, що визначають протікання процесу різання при шліфуванні, можна розділити на вхідні, функціональні і вихідні.

Стабільність вихідних параметрів (продуктивність, економічність процесу різання, точність обробки і якість поверхні) залежить від стабільності функціональних параметрів (сила різання, температура, ріжучої здатності кола в часі). Величина і характер розсіювання цих параметрів визначається інтенсивністю і стабільністю фізико-хімічних явищ, що протікають у зоні обробки. Стабілізація одного з функціональних параметрів чи їхнього набору в процесі обробки лежить в основі адаптивного керування процесом шліфування [74].

Сили шліфування виникають від роботи деформації і тертя, чиненої всіма одночасно працюючими абразивними зернами і зв'язками. У шліфувальному крузі в результаті різновисотності зерен вони розділяються на ріжучі, давлячі і неріжучі. За даними роботи [75] при шліфуванні число ріжучих зерен складає 10% від загальної кількості виступаючих із зв'язки зерен, число давлячих - 12% і неріжучих - 78% [75].

Кожне ріжуче зерно проходить три послідовні стадії руйнування: поверхневе (внаслідок стирання), мікрооб'ємне (руйнування в межах зерна) і макрооб'ємне (виривання зерна із зв'язки). Відповідно до цих стадій руйнування зерен розрізняють три режими роботи круга: режим затуплення, часткового самозагострювання (змішаний режим) і інтенсивного опадання (режим інтенсивного самозагострювання). Розмірне спрацьовування круга за період стійкості (за час між двома виправленнями) складає 0,02 - 0,05 мм. Абразив витрачається в основному при виправленні круга [75].

При шліфуванні процеси деформування і теплоутворення в зоні контакту протікають зі швидкостями значно більшими, ніж при обробці лезв'їними інструментами. При шліфуванні деформуючий фактор значно ослаблений у порівнянні з тепловим. Тому основною причиною теплотворення при шліфуванні варто вважати процеси тертя, що протікають у зоні контакту інструмента і деталі.

5.12.2. ВПЛИВ КОНТАКТНИХ ЯВИЩ НА ДИНАМІЧНУ НЕСТАБІЛЬНІСТЬ ПРОЦЕСУ ШЛІФУВАННЯ

При шліфуванні процеси деформування і теплоутворення являють собою суперпозицію одиничних впливів від безлічі ріжучих зерен шліфувального кола. Математичний опис окремих таких впливів з наступним їхнім підсумовуванням приводить до надзвичайно складних математичних виразів. Тому при моделюванні зони контакту круга і деталі

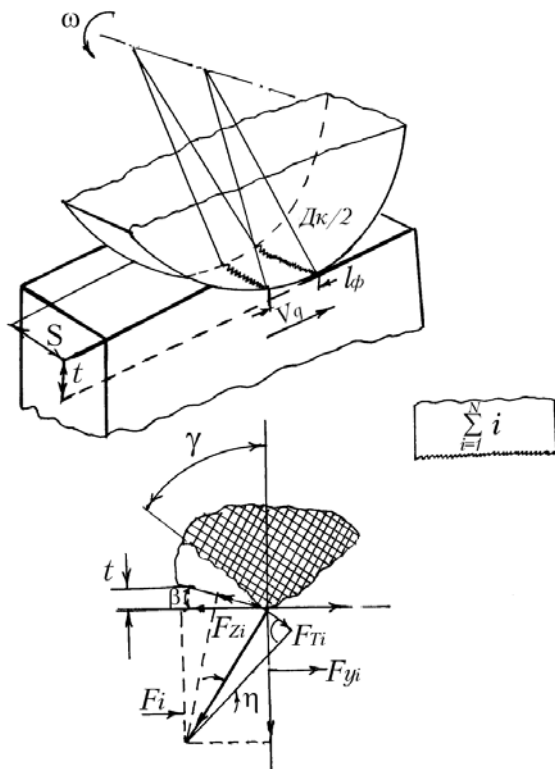


Рис. 5.42. Схема формування ріжучої крайки узагальненого різця.

приймається усереднене по всіх абразивних зернах джерело деформаційних і теплових впливів.

Процес шліфування розглядається як процес різання багатьма абразивними зернами, що знаходяться в площинах, які проходять через вісь обертання кола. Причому відстань між цими площинами (ріжучими контурами) на периферії круга дорівнює середній відстані між зернами l_ϕ (рис. 5.42).

У межах деякої ділянки робочої поверхні круга контури абразивних ріжучих зерен послідовно зрізують метал, створюючи ефект різання узагальненими різцями з прямолінійними ріжучими крайками.

Тангенціальна сила різання на одиничному узагальненому різці може бути знайдена з виразу [76]

$$F_{zi} = 0,185 H_v t S \cdot \zeta \frac{\xi \cos(\eta + \gamma)}{\xi \cos(\eta + \gamma) - \sin \eta}, \quad (5.27)$$

де H_v – твердість оброблюваного матеріалу по Віккерсу; t – глибина шліфування; S – ширина одиничного різця; ξ – усадка стружки; η – кут тертя ковзання; ζ – відносний зсув; γ – передній кут одиничного зерна.

Відносний зсув при різанні одиничним різцем з від'ємним переднім кутом γ відповідно до розрахункової схеми (рис. 5.43) знаходиться з виразу $\zeta = \frac{\Delta S}{\Delta x}$,

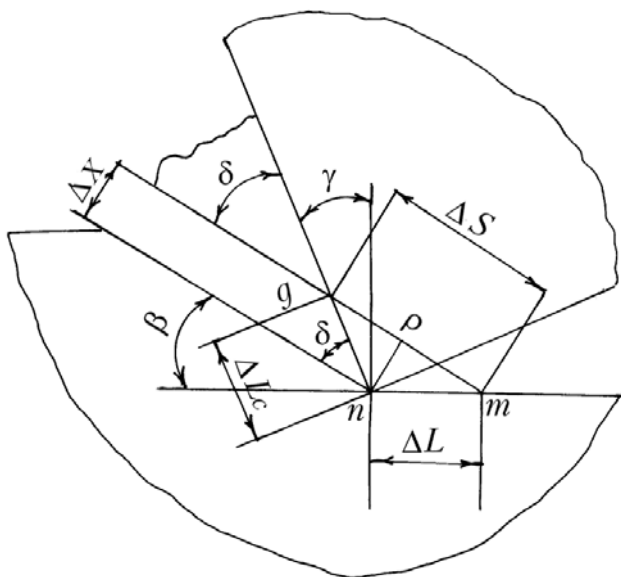


Рис. 5.43. Розрахункова схема.

$$\zeta = \operatorname{ctg} \beta + \operatorname{tg}(\beta + \gamma). \quad (5.28)$$

Після перетворень вираз (5.28) прийме вигляд

$$\zeta = \frac{\xi^2 + 2\xi \sin \gamma + 1}{\xi \cos \gamma}, \quad (5.29)$$

де ξ – усадка стружки,
 $\xi = \frac{\Delta L}{\Delta L_c}$.

Складові сили різання F_z і F_y при шліфуванні абразивним кругом виникають від роботи зерен узагальненого різця:

$F_z = MF_{zi}$, де M – відношення числа контактуючих зерен в узагальненому різці N_0 до числа всіх зерен N :

$$M = \frac{N_0}{N} = \frac{N_0 t_i}{t},$$

де t – глибина шліфування; t_i – товщина шару, що знімається одним узагальненим різцем.

Середню відстань між узагальненими різцями можна визначити з виразу

$$l_\phi = K_\delta d(d/y)^n, \quad (5.30)$$

де K_δ – параметр, що залежить від об'ємної будови стандартного абразивного інструмента й умов виправлення його робочої поверхні; d – характерний розмір абразивного зерна інструмента; y – відстань від найбільш виступаючого зерна на периферії круга до центра; n – показник степеня, що залежить від матеріалу абразивних зерен, наприклад, для електрокорундових кіл на керамічній зв'язці ($n = 1,5$); для ельборових на керамічній зв'язці ($n = 1$) [77]. Коефіцієнт K_δ , що входить у вираз (5.30), знаходиться по формулі [77].

$$K_\delta = K_n \cdot K_{ск} \cdot K_{np}, \quad (5.31)$$

де $K_n = \beta_n / \beta_c$; β_n – об'ємний вміст пор в абразивному колі; β_c – об'ємний вміст зв'язок в абразивному крузі; $K_{ск}$ – коефіцієнт структури абразивного круга

$K_{ск} = \frac{\beta_c}{\beta_3 n_m}$; β_3 – об'ємний вміст зерен в аб-

разивному крузі; n_m – максимальне число мостів зв'язки на одне зерно; K_{np} – коефіцієнт виправлення робочої поверхні.

На підставі стандартних співвідношень β_z , β_c , β_n в абразивному крузі побудовані номограми для визначення K_{np} і $K_{ск}$ (рис. 5.44 і 5.45).

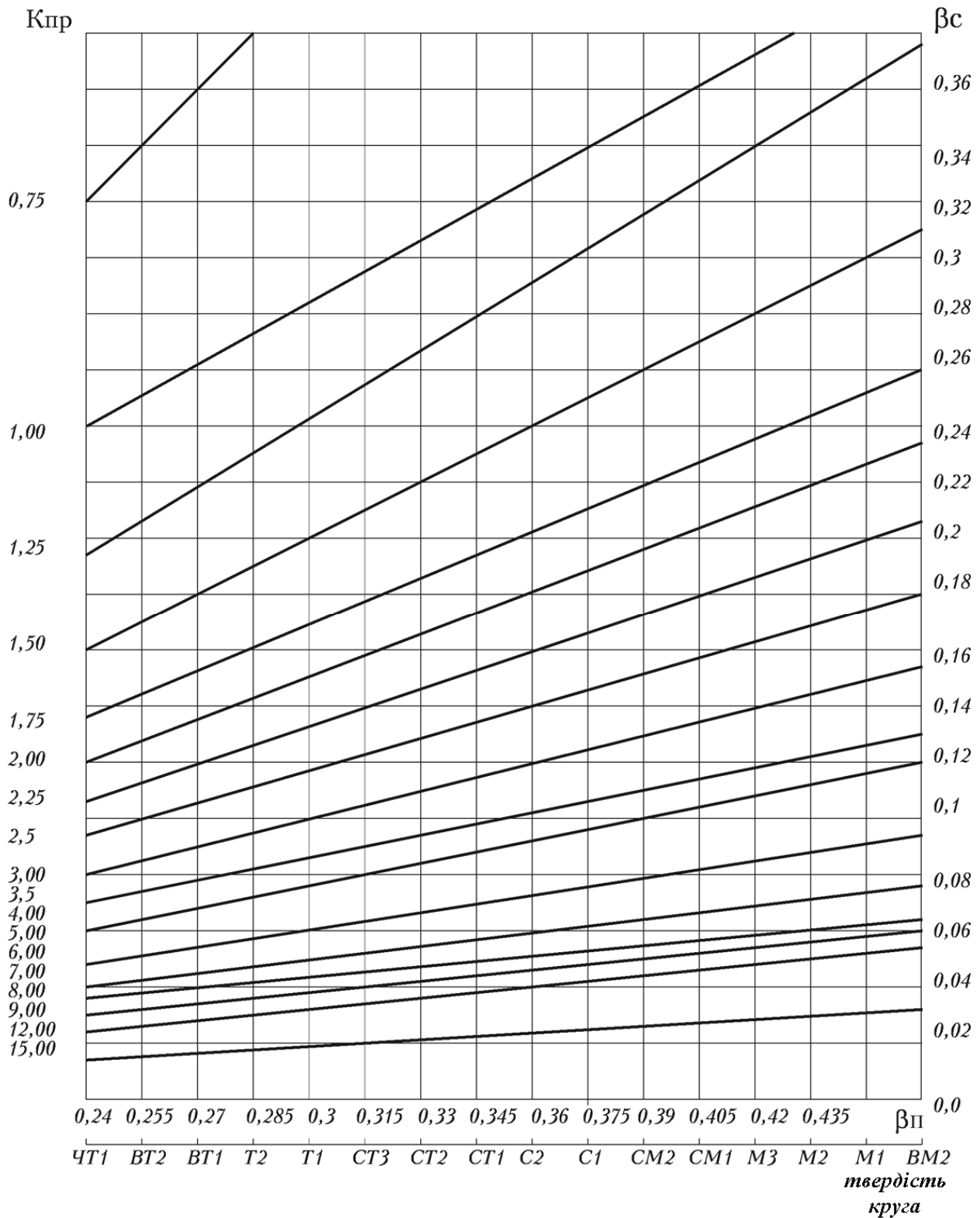


Рис. 5.44. Номограма для визначення коефіцієнта K_{np} .

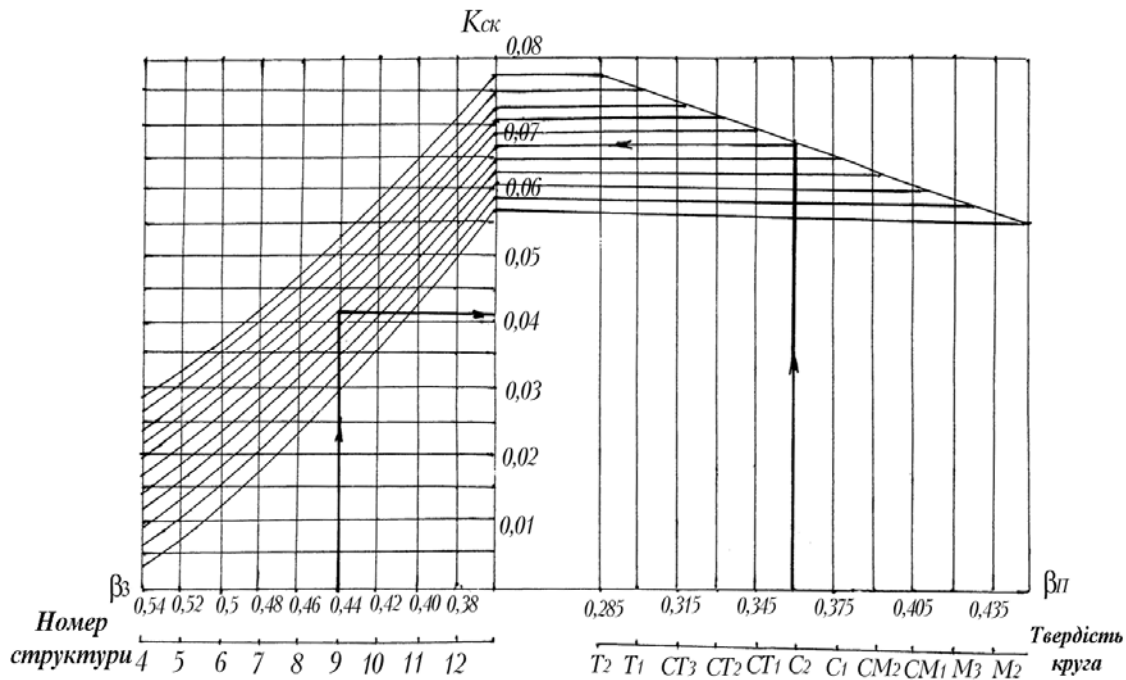


Рис. 5.45. Номограма для визначення коефіцієнта $K_{ск}$.

З врахуванням формули (5.30) вираз для N_0 при плоскому шліфуванні периферією круга прийме вигляд [77]

$$N_0 = \frac{\sqrt{D_{кр} t}}{K_{\delta} d (d/t)^n} = \frac{\sqrt{D_{кр} t}^{n+0,5}}{K_{\delta} d^{n+1}}. \quad (5.32)$$

Товщина шару, що знімається одним узагальненим різцем t_i , при шліфуванні кругом на керамічній зв'язці, визначається з виразу

$$t_i = \frac{V_{к} \cdot V_{\partial}}{(V_{к} + V_{\partial})} \cdot \sqrt{\frac{t}{D_{к}}} \cdot l_{\phi} = \frac{V_{к} \cdot V_{\partial} \cdot K_{\delta} \cdot d (d/t)^{3/2}}{(V_{к} + V_{\partial})} \cdot \sqrt{\frac{t}{D_{к}}},$$

де $V_{к}$ і V_{∂} – швидкості круга і деталі.

З врахуванням твердості оброблюваного матеріалу при підвищених температурах і з врахуванням спрацювання шліфувальних кругів Свирщевим В. И. [78] запропонована формула для розрахунку складової сили різання F_z

$$F_z = \frac{\left(0,185 \cdot u \cdot \frac{K_{\sigma}}{K_{\delta}} \cdot d^{-(0,5+n)} \cdot \psi \right)^{\frac{1}{1+p}} \cdot S \cdot V_{\partial}^{2 \cdot (1+p)} \cdot t^{4 \cdot (1+p)} V_{к}^{-1} (t+u)^{\frac{n+0,5}{1+p}}}{\left(2 \sqrt{\frac{a}{\pi}} \cdot \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{1}{\sqrt[4]{D_{кр}}} \right)^{\frac{p}{1+p}}}, \quad (5.33)$$

де u – коефіцієнт, що залежить від марки оброблюваного матеріалу [79].

Наприклад, Ст ШХ15 – $u = 4 \cdot 10^{10}$; Ст Х18Н9Т – $u = 29,9 \cdot 10^{10}$; ВТ6 – $u = 87,48 \cdot 10^{10}$; Ст 3 – $u = 4,33 \cdot 10^{10}$. p – параметр, що залежить від марки оброблюваного матеріалу. Наприклад, Ст ШХ15 – $p = 1,06$; Ст Х18Н9Т – $p = 0,71$; ВТ6 – $p = 0,91$; Ст3 – $p = 0,46$ [79].

Вираз (5.33) дозволяє виділити для аналізу ряд окремих комплексів, що чинять роздільний вплив на силу F_z . Наприклад, комплекс, що характеризує вплив геометричних характеристик інструмента на силу різання F_z , має вид:

$$F_z = f \left[\frac{\left[\frac{K_\epsilon}{K_\delta} d^{-(0,5+n)} \cdot \psi(\xi, \eta, \gamma) \right]^{\frac{1}{1+p}}}{\left(\sqrt[4]{\frac{1}{D_k}} \right)^{\frac{p}{1+p}}} \right]. \quad (5.34)$$

В цьому комплексі показник степеня $\frac{1}{1+p}$ при K_ϵ , K_δ , d і $\psi(\xi, \eta, \gamma)$ визначаються ступенем зниження модифікованої твердості оброблюваного матеріалу. Із збільшенням діаметра шліфувального круга збільшується площа контакту, зростає число ріжучих зерен і, як наслідок, збільшується сила F_z . Збільшення коефіцієнта вершини зерен K_ϵ викликає ріст сили F_z , а збільшення параметра, що характеризує об'ємну будову абразивного круга K_δ , – зменшення. У виразі (5.34) тангенціальна сила різання F_z залежить від переднього кута γ і кута тертя ковзання η . Причому дані параметри виявляються через функцію $\psi(\xi, \eta, \gamma)$. Із зростанням цієї функції збільшується сила різання. Вона має наступний вид [79]

$$\psi(\xi, \eta, \gamma) = \frac{6 \cos(\eta + \gamma) \cdot (1 + \sin \gamma)}{\cos \gamma \cdot [3 \cos(\eta + \gamma) - 2 \sin \eta]}. \quad (5.35)$$

Теплофізичні характеристики матеріалу деталі у виразі (5.33) враховуються наступним комплексом

$$F_z = f \left[\frac{1}{\left(\left(\sqrt{\frac{a}{\pi}} \cdot \frac{1}{\lambda} \right)^{\frac{p}{1+p}} \right)} \right]. \quad (5.36)$$

Показник степеня $\frac{P}{1+P}$ тут визначається ступенем зниження модифікованої твердості оброблюваного матеріалу через параметр p . Варто звернути увагу, що із збільшенням коефіцієнта теплопровідності λ сила різання F_z , як видно з (5.36), зростає, а температура шліфування зменшується.

Для оцінки впливу коефіцієнта теплопровідності на температуру шліфування розглянемо розв'язок одномірного диференціального рівняння теплопровідності [80]

$$\theta(x, \tau) = \frac{2q}{\lambda} \sqrt{a\tau} \cdot \text{ierfc} \frac{x}{2\sqrt{a\tau}}, \quad (5.37)$$

де q – інтенсивність теплового потоку $q = \frac{F_z V_{кр}}{S}$.

З аналізу виразів (5.37) і (5.36) видно, що коефіцієнт теплопровідності λ на температуру шліфування робить не однозначний вплив. Із збільшенням λ , як видно з рівняння (5.37), температура зменшується. З іншого боку, із збільшенням λ зростає сила різання F_z , пропорційно якій збільшується інтенсивність теплового потоку і, відповідно, температура. Неоднозначний вплив коефіцієнта теплопровідності λ на температуру шліфування пов'язаний із зміною модифікованої твердості поверхневого шару оброблюваного матеріалу.

Зменшення теплопровідності матеріалу викликає концентрацію тепла в поверхневому шарі деталі і збільшення температури шліфування. З підвищенням температури зменшується твердість оброблюваного матеріалу. Із зменшенням твердості матеріалу зменшується сила різання й інтенсивність теплового потоку. Отже, із збільшенням теплопровідності λ збільшується відвід тепла з зони різання і, як наслідок, зменшується температура і збільшується сила різання F_z . Із збільшенням відводу тепла з зони шліфування температура шліфування зменшується, а із збільшенням сили різання F_z і, як наслідок, інтенсивності теплового потоку температура шліфування збільшується.

Проведений аналіз показав, що збільшення коефіцієнта теплопровідності і зменшення коефіцієнта температуропровідності сприяють зменшенню сили різання F_z .

З залежності (5.33) можна виділити залежність, яка встановлює вплив режимів шліфування на силу різання.

$$F_z = f \left(S \cdot V_\delta^{\frac{2+p}{2(1+p)}} \cdot t^{\frac{4+p}{4(1+p)}} V_k^{-1} \right). \quad (5.38)$$

З виразу (5.38) випливає, що сила F_z зростає пропорційно зросту поперечної подачі S .

Показник степеня при швидкості деталі V_δ залежить від ступеня зниження твердості матеріалу, викликаного збільшенням температури. Для більш теплостійких матеріалів він вищий.

Показник степеня при глибині шліфування t також залежить від ступеня зниження твердості матеріалу і рельєфу робочої поверхні кола.

Вплив швидкості різання на силу F_z має більш складний характер. Показник степеня при V_k не залишається постійним, він у залежності від множника $tg(\eta + \gamma)$ може бути більшим і меншим одиниці.

Залежність сили різання F_z від спрацювання зерен шліфувального круга має степеневий характер:

$$F_z = f \left(U^{\frac{n+0,5}{1+p}} \right). \quad (5.39)$$

Показник степеня $\frac{n+0,5}{1+p}$ завжди більший одиниці ($n = 1 \div 2,5$),

тому з виразу (5.39) випливає, що із збільшенням радіального спрацювання зерен кола, сила різання F_z буде завжди зростати.

5.12.3. КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНА СТАБІЛІЗАЦІЯ ДИНАМІКИ ВЗАЄМОДІЇ ІНСТРУМЕНТА З ДЕТАЛЮ І ЇЇ ВПЛИВ НА ПАРАМЕТРИ ПРОЦЕСУ

Виникнення автоколивань залежить від твердості і деформуючої здатності елементів системи, міцності і пластичності оброблюваного матеріалу, виду обробки і режимів різання.

Фізичний зміст виникнення автоколивань полягає в наступному. Будь-яке випадкове збурювання (поштовх), яких у реальних умовах багато, приводить до виникнення власних згасаючих коливаний технологічної системи. Це приводить до зміни товщини зрізу, і, відповідно, до зміни складових сили різання.

Якщо зміна сили різання відстає в часі від зміни товщини зрізу чи якщо із збільшенням швидкості різання відбувається зменшення радіальної складової сили різання, то власні згасаючі коливання перейдуть у незатухаючі автоколивання.

Ці два фактори - відставання сили різання від зміни товщини зрізу і зменшення сили різання від збільшення швидкості різання - є основними джерелами виникнення автоколивань.

Кудинов В. К. [80] вперше вказав, що сила різання робить роботу, яка йде на збудження коливань внаслідок відставання її по фазі від зміни товщини шару, який зрізується. Такої ж думки про причини порушення автоколивань дотримуються Л. К. Кучма [81], Хон Лонг [82] і ін.

Частота сталих автоколивань близька до власної частоти переважаючої коливальної системи чи трохи її перевищує. Для стабілізації технологічних параметрів необхідно знати вплив інтенсивності автоколивань на стійкість інструмента, продуктивність обробки і якість поверхні.

Проведені в Пермському політехнічному інституті дослідження [78] показали, що при амплітуді коливань $A=8-20$ мкм стійкість інструмента має максимальне значення. Залежність стійкості $T = f(A)$ від амплітуди коливань має екстремальний характер.

Наявність екстремуму пояснюється тим, що коливання, які виникають при різанні, з одного боку, полегшують протікання пластичної деформації за рахунок зменшення коефіцієнта тертя і зниження сили різання, що сприяє підвищенню стійкості інструмента, з іншої сторони циклічне навантаження інструмента, починаючи з визначеної межі автоколивань, викликає втомне руйнування елементів ріжучого інструмента, що приводить до зниження його стійкості. Крім амплітуди, на стійкість інструмента чинить також вплив частота автоколивань.

Для кожного конкретного режиму обробки існує оптимальна (за критерієм стійкості) амплітуда автоколивань і відповідна їй частота коливань.

Наприклад, амплітудам коливань $A_{opt} = 30-150$ мкм відповідає зона низьких частот порядку $f = 20-150$ Гц. Коливання такої інтенсивності полегшують процес пластичної деформації, не викликаючи при цьому зниження стійкості.

Друга зона коливань з частотами $f = 150-1000$ Гц (іноді до 3000 Гц) охоплює область автоколивань. У цій зоні оптимальними є автоколивання з амплітудами $A_{opt} = 8-20$ мкм. Підтримка амплітуди коливань на цьому рівні значно підвищує стійкість інструмента і

якість обробленої поверхні.

Третя зона містить у собі ультразвукові змушені коливання, що вводяться в зону обробки з частотами $f=15-35$ кГц.

Тут оптимальними є коливання з амплітудами $A_{opt} = 1-5$ мкм. Такі коливання поліпшують оброблюваність. Для визначення оптимальних параметрів технологічної системи в змінних умовах взаємодії інструмента з оброблюваною деталлю необхідно знати амплітуду і частоту коливань інструмента щодо оброблюваної деталі.

У першому наближенні пошук оптимальних амплітудно-частотних діапазонів з переносом надалі на реальний процес шліфування може бути виконаний при різанні металу одиничним абразивним зерном.

Різання абразивним зерном, на відміну від лезвійної обробки, здійснюється в несприятливих умовах. Абразивні зерна мають від'ємний передній кут і неправильну геометричну форму, підвищену шорсткість, що ускладнює схід стружки і впливає на характер і розташування зон деформацій. Відомо [75], що в залежності від відношення a_z / ρ , можуть бути три види взаємодії абразивного зерна з оброблюваним матеріалом: тертя ковзання, пластичне деформування, мікрорізання. За період проходження зерна над зоною контакту, передній кут і товщина зрізу не залишаються постійними, отже, також змінюється відношення a_z / ρ . У межах одного сліду абразивного зер-

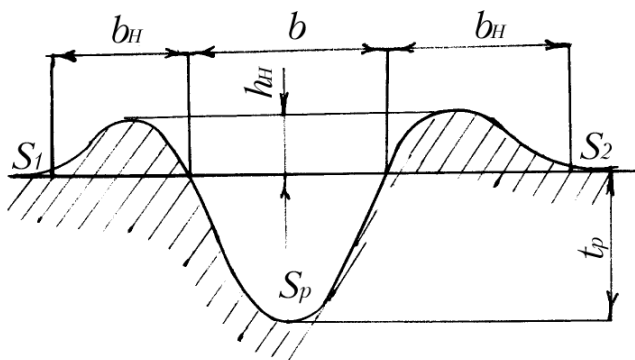


Рис. 5.46. Поперечний профіль шліфувальної риски з напливами.

на можуть бути всі три види взаємодії. Шліфувана поверхня являє собою сукупність по-вздожніх рисок, що є результатом пластичної деформації і мікрорізання від ріжучих кромок зерен (рис. 5.46). На бічних сторонах рисок (5.46) утворюються напливи металу з рваними краями. При мікрорізанні загартованої сталі вони менші, ніж при шліфуванні незагартованої сталі. Наприклад, при мікрорізанні сталі X18H9T коефіцієнт видавлювання $\zeta_H = (S_1 + S_2) / S_p = 0,45$, а для сталі 45 $\zeta_H = 0,23$. Отже, із збільшенням пластичності матеріалу, коефіцієнт видавлювання ζ_H збільшується. Абразивні зерна в цьому випадку не зрізують метал, а видавлюють його в різні сторони. Це є однією з причин, що

приводять до збільшення тангенціальної складової сили різання і підвищенню нерівностей шліфованої поверхні. Із збільшенням глибини мікрорізання (починаючи з 8 – 10 мкм), коефіцієнт видавлювання зменшується, процес мікрорізання стає більш ефективним.

У Пермському політехнічному університеті [78] для дослідження оптимальних амплітудно-частотних діапазонів була створена спеціальна апаратура для вимірювання сил різання і температури при мікрорізанні. Ефективність процесу мікрорізання оцінювалася по наступним функціональних залежностях:

$$\frac{h_n}{t_p} = \varphi(t, A, f); \quad \frac{\theta}{t_p} = \varphi(t, A, f); \quad \frac{S_1 + S_2}{S_p} = \varphi(t, A, f);$$

$$\frac{F_z}{F_y} = \varphi(t, A, f); \quad \frac{F_z}{S_p} = \varphi(t, A, f).$$

Критеріями оптимальності були мінімальні значення характеристик $\frac{h_n}{t_p}$; $\frac{S_1 + S_2}{S_p}$; $\frac{F_z}{S_p}$; $\frac{\theta}{t_p}$ і максимум значення $\frac{F_z}{F_y}$.

Результати досліджень дозволили встановити амплітудно-частотний діапазон, у якому процес стружкостворення найбільш ефективний [78]. Оптимальні діапазони частот 160 ÷ 200 Гц і амплітуд – 30 – 50 мкм. Числові значення коефіцієнта ріжучої здатності алмазного зерна P_z / P_y близькі до значень, отриманих при шліфуванні переривчастими кругами [60]. Оптимальне значення амплітудно-частотного діапазону (160 - 200 Гц) підтверджується мінімальним значенням умовного напруження мікрорізання (рис. 5.47).

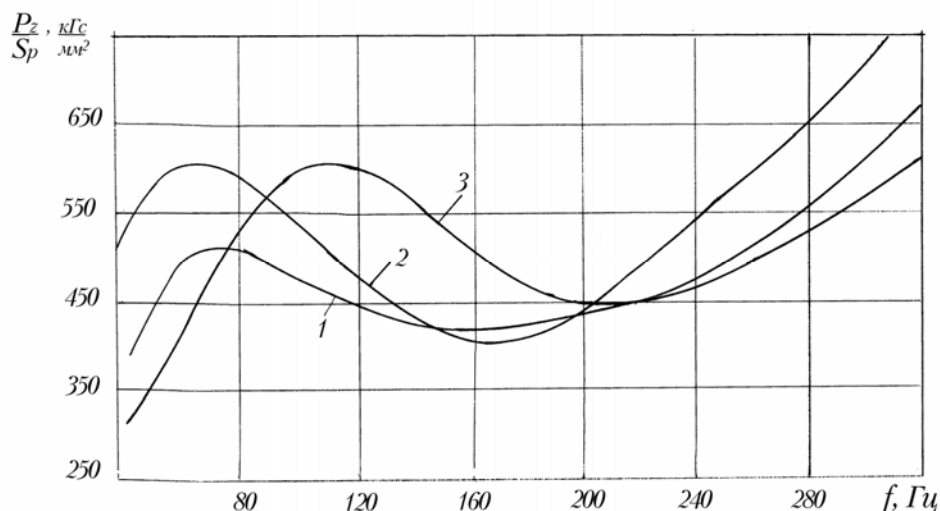


Рис. 5.47. Залежність умовного напруження мікрорізання від частоти коливань: 1 – $t=0,01$ мм, $A=0,002$ мм; 2 – $t=0,01$ мм, $A=0,03$ мм; 3 – $t=0,02$ мм, $A=0,06$ мм.

Динамічні процеси безпосередньо впливають на продуктивність шліфування і формування якості поверхневого шару оброблюваних деталей. У зв'язку з цим керування амплітудно-частотним діапазоном взаємодії інструмента з деталлю є одним із шляхів підвищення ефективності процесів шліфування.

Коливання при шліфуванні - це складний процес, що має різноманітні джерела їхнього збудження. У коливальному процесі приймають участь власні, змушені й автоколивання. За певних умов змушені коливання можуть синхронізувати автоколивання, викликані процесом різання. Амплітудно-частотні діапазони вібрацій визначаються умовами шліфування і динамічними властивостями пружної системи верстата. При цьому варто розрізнити енергетичну ефективність процесу шліфування, обумовлену узгодженням частот змушених коливань з частотами власних коливань пружної системи верстата.

Для порушення коливань бажано використовувати як джерело вібрацій сам процес шліфування.

Виникнення вібрацій примусовим способом пов'язано з певними витратами, що включають виготовлення спеціальних пристроїв і застосування складної дорогої апаратури - генераторів і підсилювачів.

Найбільш доступним і більш дешевим способом порушення коливань є застосування кругів з переривчастою робочою поверхнею. Спосіб переривчастого способу дозволяє з позиції енергетичної ефективності здійснювати керування динамікою процесу й оптимізувати амплітудно-частотні характеристики. За рахунок переривання процесу різання можна забезпечити безрезонансну й стійку роботу пружної системи й одержання необхідних показників якості поверхневого шару.

5.12.4. СПОСОБИ ФОРМУВАННЯ РЕГУЛЯРНОГО МАКРОРЕЛЬЄФУ НА РОБОЧІЙ ПОВЕРХНІ ШЛІФУВАЛЬНОГО КРУГА

Існуюча технологія виготовлення переривчастих кругів закономірно звернула увагу дослідників на виправлення.

Дійсно, виправлення круга є невід'ємною частиною процесу шліфування і, оскільки робити її періодично все рівно необхідно, то дуже привабливим і перспективним є розробка способів, що дозволяють формувати переривчастий рельєф на поверхні круга в процесі виправлення.

У роботі [83] запропонований пристрій для формування регуля-

рного рельєфу за рахунок змушених механічних коливань (рис. 5.48). Кулачок, що є шаблоном необхідної поверхні круга, встановлюється на шпиндель верстата. Правлячий інструмент, жорстко зв'язаний із штовхачем кулачкового механізму, оснащеним механізмом для регулювання глибини виправлення.

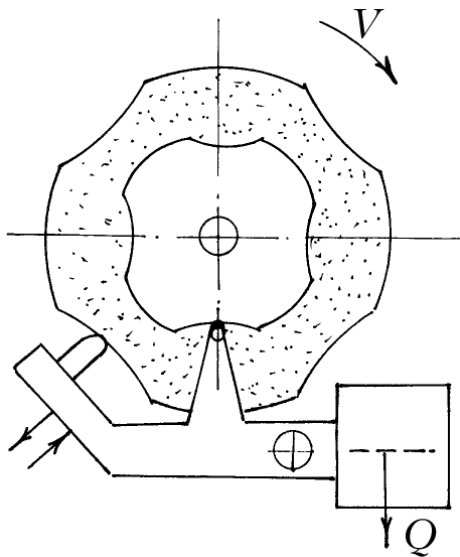


Рис. 5.48. Схема формування регулярного рельєфу на крузі за рахунок змушених механічних коливань.

Дослідження П. Н. Стефанкова показали, що при профілюванні круга на робочій швидкості виникають великі динамічні навантаження і відбувається інтенсивне спрацювання кулачків.

Регулярний переривчастий рельєф на поверхні круга можна наносити при виправленні за рахунок порушення автоколивань правлячого інструмента. Для порушення автоколивань правлячий інструмент – алмаз – повинний мати площинку при вершині (рис. 5.49). Ріжуча крайка правлячого інструмента встановлюється із зсувом від центра круга на відстань a , а від периферії на відстань t_0 .

Параметр t_0 пов'язаний із глибиною виправлення, що встановлюється по лімбу верстата. На робочій поверхні круга прорізається канавка з миттєвою глибиною різання

$$t_2 = R_{кр} - S(\tau). \quad (5.40)$$

Тангенціальна складова сили виправлення F_{ep} визначається по формулі [78]

$$F_{ep} = K' \cdot [t_1(d - \Delta) + t_2\Delta], \quad (5.41)$$

де d – ширина ріжучої частини алмазного наконечника (рис. 5.49); Δ – подача інструмента на оборот круга; K' – коефіцієнт пропорційності, що залежить від умов виправлення; t_1 – глибина різання по обробленій поверхні круга $t_1 = S(\tau) - S(\tau - \tau_0)$; $\tau_0 = 1/\nu$ – період обертання; ν – частота обертання, Гц.

Функція $S(\tau)$ характеризує миттєве положення вершини інструмента щодо центра деталі

$$S(\tau) = \sqrt{(R - t_0)^2 - [a + x(\tau)]^2}, \quad (5.42)$$

де $x(\tau)$ – пружні зсуви вершини інструмента вздовж осі x щодо по-

чаткового положення.

Рівняння коливань інструмента в напрямку осі x має вид

$$m\ddot{x} + \eta\dot{x} + Kx = \xi f[x(\tau)], \quad (5.43)$$

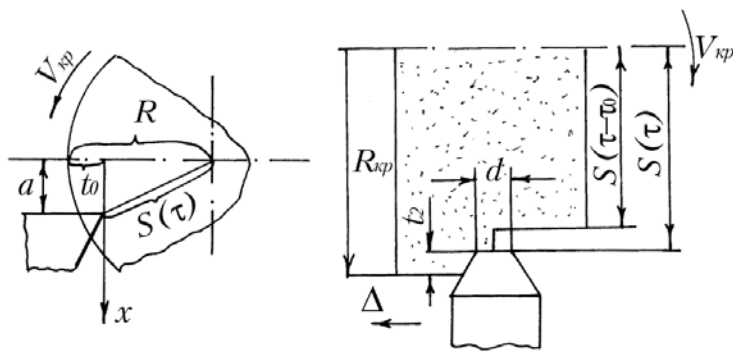


Рис. 5.49. Розрахункова схема.

де m – приведена маса інструмента; η – коефіцієнт згасання; K – твердість інструмента в напрямку осі x .

Рівняння (5.43) відноситься до класу нелінійних рівнянь з малим параметром $\xi \ll 1$.

Застосовуючи метод малого параметра в роботах [84,85] з розв'язку рівняння (5.43) отриманий вираз для визначення амплітуди автоколивань

$$A^2 = \frac{8r^2}{3} \left[1 + \frac{\eta\omega_0}{\xi K'(d - \Delta) \sin(\omega - \tau_0)} \right], \quad (5.44)$$

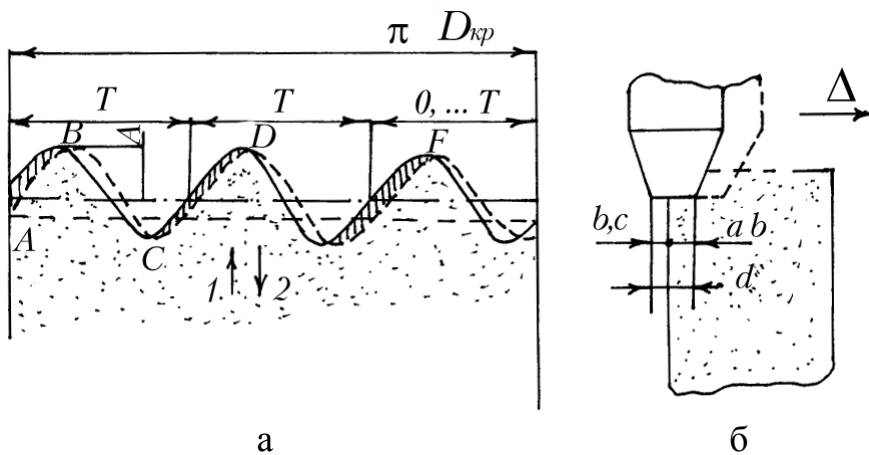
де ω – частота автоколивань рівна $(\omega_0 + \delta)$; δ – виправлення на частоту власних коливань інструмента; $\omega_0 = \sqrt{K/m}$; $r = \sqrt{(R_{kp} - t_0)^2 + a^2}$.

Виправлення на частоту автоколивань визначають з виразу

$$\delta = \eta \cdot \frac{(d - \Delta) \cdot \cos(\omega_0 \tau_0) - d}{2(d - \Delta) \cdot \sin(\omega_0 \tau_0) \cdot m}.$$

У роботі [78] доведено, що при виправленні кола збудити автоколивання інструмента можна тільки на частотах, не кратних частоті обертання круга. Крім того, кожен наступний одиничний виступ на

кругу повинний бути зміщений щодо попереднього в напрямку, протилежному напрямку обертання.



а

б

Рис. 5.50. Схема нанесення канавок на колі змінної глибини.

На рис. 5.50 показана схема нанесення канавок змінної глибини на поверхню круга. За

період одного обороту шліфувального круга алмаз робить неповних три цикли коливань.

При першому різанні алмаз, врізавшись на величину поперечної подачі $S_{non} = ab$ (рис. 5.50, б) прорізає канавку змінної глибини (контурна лінія) (рис. 5.50, а). За другий оборот круга ділянка алмаза ab прорізає аналогічну канавку, глибина якого змінюється по тому ж закону. Друга канавка зміщена щодо першої вбік, протилежний напрямку обертання кола (штрихова крива).

Принципово важливим є те, що на другому обороті круга ділянка площадки алмаза bc ($bc \leq ab$) описуючи ту ж траєкторію, що і ділянка ab , здійснює зрізання абразиву на відрізках AB , CD , EF і т.д. (рис. 5.50, а). Об'єми, які зрізуються, на рис. 5.50 заштриховані.

У результаті виходить наступна картина. При виході інструмента з круга (по стрілці 1) алмаз врізається в попередні шари обробки, а при врізанні в круг (по стрілці 2) він зависає над ними. Отже, при цих умовах сила різання при виході інструмента буде більше, ніж при впровадженні в круг.

Розходження сил забезпечує приплив енергії, необхідної для компенсації розсіювання енергії в системі.

Таким чином, на підставі теоретично встановлених умов збудження автоколивань з'ясована причина їхнього виникнення і підтримки автоколивань при виправленні.

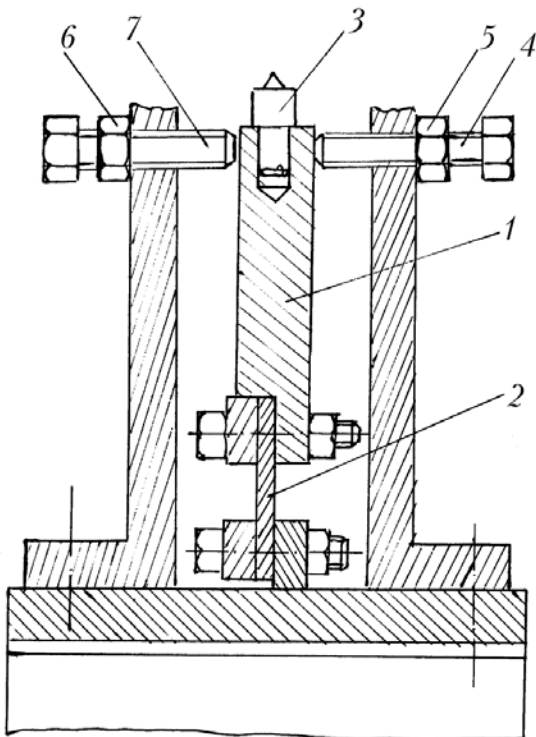


Рис. 5.51. Пристрій для нанесення регулярного рельєфу на круг.

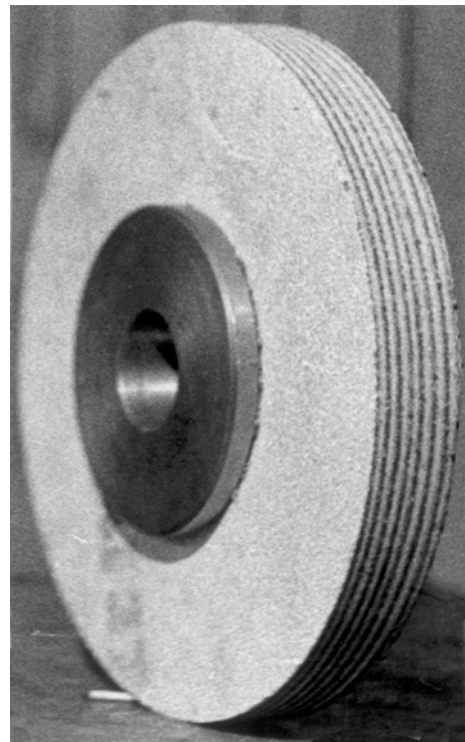


Рис. 5.52. Зовнішній вигляд переривчастого круга з гвинтовою канавкою.

Для нанесення регулярного рельєфу на коло з використанням автоколивань було виготовлене пристосування (рис. 5.51) [87].

З малюнка випливає, що головка з алмазом 3 за рахунок гнучкого пружного елемента 2 може робити прогинаючі коливання. З різних сторін головки встановлені регульовані упори 4 і 7. Упори зрізують верхівки синусоїди, і коливання, трансформуючись, наближаються по виду до трикутної форми.

Налагодження пристрою здійснюється в наступній послідовності. Один з гвинтів (упор) підводиться до торкання з держакком 1 і контрється гайкою 5. Між другим гвинтом (упором) 7 і держакком за допомогою щупа встановлюється необхідний зазор, і в цьому положенні гвинт також контрється гайкою 6.

Пристрій встановлюється на магнітний стіл верстата таким чином, щоб сила виправлення відривала держак від болта 4, підведеного до торкання з держакком 1.

Вершина алмаза повинна бути зміщена від осі кола вбік його обертання на 0,05 – 0,06 мм. Ця рекомендація ґрунтується на тому, що, виходячи з залежності (5.44), амплітуда автоколивань за інших рівних умов буде тим більшою, чим більше a . Це дозволяє розширити технологічні можливості способу. Обмеженням тут є те, що при надмірному збільшенні a , коло може зрізати основу, що утримує алмаз в держакку.

Зовнішній вигляд круга з гвинтовими виступами показаний на рис. 5.52. Такі конструкції можуть застосовуватись для шліфування циліндричних деталей на круглих-шліфувальних верстатах. При шліфуванні цими кругами не виникає параметричний резонанс, тому що процес протікає з постійним притиском кола до деталі.

Гвинтові переривчасті круги мають більш високу продуктивність, працюють без динамічних ударів, забезпечуючи більш високу якість поверхневого шару.

5.12.5. ДИНАМІКА ЗМІНИ ТЕМПЕРАТУРИ ПРИ ШЛІФУВАННІ ГВИНТОВИМИ ПЕРЕРИВЧАСТИМИ КРУГАМИ

Розрахункова схема для визначення теплонапруженості процесу шліфування кругами з гвинтовими канавками представлена на рис. 5.53.

По поверхні $X = 0$ напівнескінченного простору рухається нескінченно довге теплове джерело шириною $2h$ зі швидкістю V_0 в на-

прямку осі Z . В середині цього джерела переміщуються із швидкістю V_i мікроджерела шириною l_1 . Відстань між мікроджерелами l_2 .

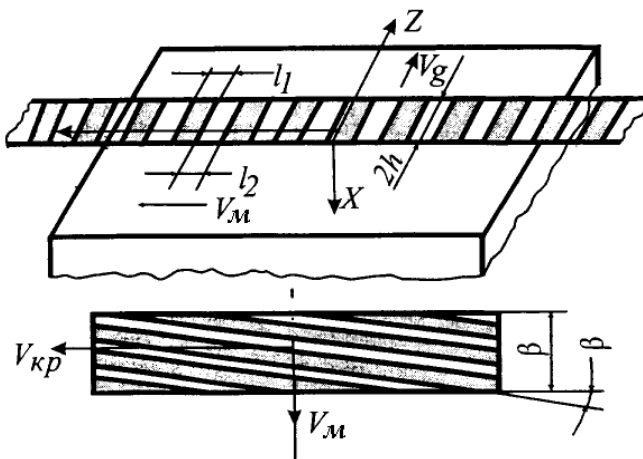


Рис. 5.53. Розрахункова схема.

У період розриву процесу, тобто за час проходження западини l_2 , буде відбуватися охолодження поверхні на величину $\Delta\theta$. Динаміку зміни температури поверхні з врахуванням нагрівання й охолодження можна представити у вигляді наступного виразу

$$\theta = \theta_0 - \Delta\theta_1, \quad (5.45)$$

де θ_0 – зростання температури за період проходження ріжучого виступу [78].

$$\theta_0 = \frac{2q_0 \sqrt{az}}{\lambda \sqrt{\pi V_\delta}}, \quad (5.46)$$

де z – координата макроджерела, рівна $V_\delta \tau$; q_0 – щільність теплового потоку при шліфуванні кругом із суцільною робочою поверхнею, Вт / м²; a – коефіцієнт теплопровідності, м² / с; λ – коефіцієнт теплопровідності Дж / (м² · с · град); V_δ – швидкість переміщення зони контакту в напрямку повздовжньої подачі столу в напрямку осі, м / с; $\Delta\theta_1$ – ступінь зниження температури від стоку тепла за рахунок переривання процесу різання.

$$\Delta\theta = \frac{2(q_0 - \psi \cdot q_0) \cdot \sqrt{a}}{\lambda \cdot \sqrt{\pi V_m}} \cdot f(y'), \quad (5.47)$$

де ψ – коефіцієнт, що враховує характер зміни інтенсивності теплового потоку q_0 .

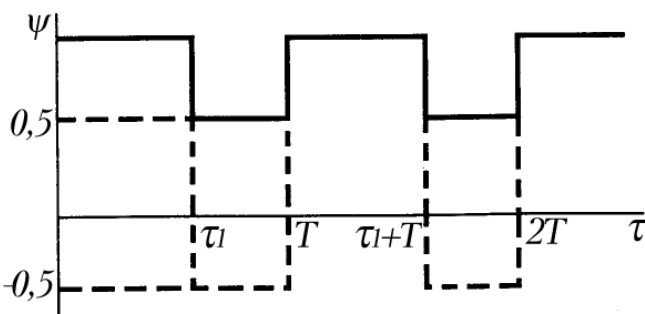


Рис. 5.54. Функція зміни щільності теплового потоку в часі.

В залежності від конструкції переривчастого круга параметр ψ може змінюватися від 1 до 0.

Якщо за період розриву процесу різання з зони контакту буде виділятися тепло за рахунок охолоджуючих засобів,

то параметр ψ може мати від'ємне значення (рис. 5.54).

Функція $f(y')$ у виразі (5.47) враховує багаторазовість дії мікроджерел на фіксовану точку деталі. Вона може бути представлена у вигляді [86]

$$f(y') = \sum_{i=0}^{n-1} (\sqrt{y' - i\Delta} - \sqrt{y' - i\Delta - l_2}), \quad (5.48)$$

де $\Delta = l_1 + l_2$; y' – координата мікроджерела (відстань, що пройде мікроджерело до фіксованої точки за час $\tau = z/V_\partial$), $y' = (V_M/V_\partial) \cdot z$; z – шлях, пройдений мікроджерелом за час τ ; $V_M = V_{kp} \operatorname{tg} \beta$; β – кут нахилу гвинтових канавок (рис. 5.53).

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{(l_1 + l_2) \cdot m}{\pi \cdot D_{kp}},$$

де m – число заходів гвинтових канавок; D_{kp} – діаметр круга; n – кількість мікроджерел, що пройшли через фіксовану точку деталі за час τ .

$$n = E \left\{ \frac{V_M z}{V_\partial \Delta} \right\},$$

де E – ціла частина.

Температура шліфування досягає свого максимального значення на задній кромці теплового джерела, тобто при $z = 2h$.

Вираз (5.48) прийме вигляд

$$f(y') = \sum_{i=0}^{n-1} \left(\sqrt{\frac{2h}{V_\partial} V_M - i\Delta} - \sqrt{\frac{2h}{V_\partial} V_M - i\Delta - l_2} \right). \quad (5.49)$$

Приймаючи максимальну кількість мікроджерел, що пройшли над фіксованою точкою в області задньої кромки теплового джерела

$$N = E \frac{V_M 2h}{V_\partial \Delta}, \quad (5.50)$$

одержимо функцію

$$f(y') = \sum_{i=0}^{N-1} \left(\sqrt{(N-i)\Delta} - \sqrt{\Delta(N-i) - \frac{l_2}{\Delta}} \right). \quad (5.51)$$

Вираз (5.51) можна представити у вигляді

$$f(y') = \sqrt{N\Delta} f_N \left(\frac{l_2}{\Delta} \right). \quad (5.52)$$

Прирівнюючи вираз (5.51) і (5.58), одержимо

$$f_N\left(\frac{l_2}{\Delta}\right) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{i=0}^{N-1} \left(\sqrt{N-i} - \sqrt{N-i-\frac{l_2}{\Delta}} \right). \quad (5.53)$$

З врахуванням виразу (5.53) величину зниження температури за рахунок мікропереривання процесу різання можна знайти з виразу

$$\Delta\theta_1 = \frac{2(q_0 - \psi q_0)\sqrt{2ha}}{\lambda\sqrt{\pi V_\partial}} f_N\left(\frac{l_2}{\Delta}\right). \quad (5.54)$$

Температура шліфування на задній кромці теплового джерела визначається формулою

$$\begin{aligned} \theta_{max} = \theta_{0max} - \Delta\theta_1 &= \frac{2q_0\sqrt{2ha}}{\lambda\sqrt{\pi V_\partial}} - \frac{2(q_0 - \psi q_0)\sqrt{2ha}}{\lambda\sqrt{\pi V_\partial}} \cdot f_N \cdot \frac{l_2}{\Delta} = \\ &= \frac{2q_0\sqrt{2ha}}{\lambda\sqrt{\pi V_\partial}} \left[1 - (1 - \psi) \cdot f_N \cdot \left(\frac{l_2}{l_2 + l_1} \right) \right]. \end{aligned} \quad (5.55)$$

Вираз (5.55) можна представити так

$$\theta_{max} = \frac{2q_0\sqrt{2ha}}{\lambda\sqrt{\pi V_\partial}} \cdot K, \quad (5.56)$$

де K – коефіцієнт, що враховує динаміку зниження температури, з врахуванням наявності на робочій поверхні кола гвинтових канавок

$$K = 1 - (1 - \psi) \cdot f_N \cdot \left(\frac{l_2}{l_1 + l_2} \right). \quad (5.57)$$

Для оцінки впливу ступеня зниження температури $\Delta\theta$ проведений розрахунок параметра K .

Вихідні дані для розрахунку: $t=0,05$ мм; $D_{кр} = 200$ мм; $l_1 = 2,5$ мм; $l_2 = 2,5$ мм; $V_{кр} = 30$ м/с; $m = 4$.

$$tg\beta = \frac{(l_1 + l_2)m}{\pi D} = \frac{20}{3,14 \cdot 200} = 0,03185,$$

$$V_m = V_{кр} \cdot tg\beta = 30 \cdot 0,03185 = 0,9554 \text{ м/с.}$$

У табл. 5.11 представлені розрахункові дані параметра K для різних значень швидкостей деталі V_∂ і коефіцієнта ψ

Таблиця 5.11

V_∂ , м/хв	N	$f\left(\frac{l_2}{\Delta}\right)$	K			
			$\psi = -0,5$	$\psi = 0$	$\psi = 0,5$	$\psi = 1$
6	6	0,400	0,400	0,600	0,800	1,0
8	4	0,378	0,433	0,622	0,811	1,0
10	3	0,382	0,457	0,638	0,819	1,0

З даних, наведених у табл. 5.11, випливає, що найбільш істотний вплив на температуру шліфування робить не число макроджерел N , а параметр ψ .

При $\psi = 1$ ступінь зниження температури дорівнює нулю. Цей варіант обробки відповідає суцільному шліфуванню.

При $\psi = 0,5$ температура в зоні контакту знижується на 19 – 20%. Ця умова відповідає процесу шліфування композиційним кругом, тобто кругом, проміжки між ріжучими канавками якого заповнені, наприклад, графітовими вставками.

При $\psi = 0$ температура шліфування в порівнянні із суцільним кругом знижується на 30 – 40%. Ця умова відповідає процесу шліфування з прорізними на периферії круга похилими пазами.

РОЗДІЛ 6

ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ВИРОБУ

6.1. ЯКІСТЬ ПРОДУКЦІЇ

Якість продукції – сукупність властивостей, що обумовлюють придатність продукції задовольняти визначеним вимогам відповідно до її призначення (ГОСТ 15467–79).

В умовах ринкової економіки якість продукції охоплює не тільки споживчі і технологічні властивості, але і конструкторсько-художні особливості, надійність, необхідний рівень стандартизації й уніфікації деталей і вузлів.

Якість машин характеризується рядом показників, який можна розділити на наступні три групи.

1. Технічний рівень, що визначає ступінь досконалості машини: потужність, ККД, продуктивність, економічність і ін.

2. Виробничо-технологічні показники (показники технологічної конструкції), які характеризують ефективність конструктивних рішень з погляду забезпечення оптимальних витрат праці і засобів на виготовлення виробу, його експлуатацію, технічне обслуговування і ремонт.

3. Експлуатаційні показники:

а) надійність виробу;

б) ергономічна характеристика чи ступінь обліку комплексу гігієнічних, фізіологічних і інших потреб людини в системі людина - машина – середовище;

в) естетична оцінка, тобто досконалість художньої композиції, зовнішнє оформлення виробу й ін.

Рівень якості – це відносна характеристика, яка заснована на порівнянні показників якості даного виробу з базовими показниками.

До вищої категорії якості відноситься продукція, що за техніко-економічними показниками знаходиться на рівні світових досягнень.

Така продукція характеризується стабільністю показників якості, суворим дотриманням технологічної дисципліни і високим рівнем культури виробництва.

До першої категорії якості відноситься продукція, що відповідає її нормативно-технічним документам і має зареєстроване рішення державної атестаційної комісії.

6.2. ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ І НАДІЙНІСТЬ МАШИН

Надійність – властивість виробу зберігати значення встановлених параметрів функціонування у визначених умовах, що відповідають заданим режимам і умовам використання, технічного обслуговування, збереження і транспортування протягом наперед заданого проміжку часу.

Надійність – комплексна властивість, що в залежності від призначення виробу й умов його експлуатації включає безвідмовність, довговічність, ремонтоздатність і заощадження цих властивостей. Основне поняття, що використовується в теорії надійності, - поняття відмови.

Відмова – ця подія, пов'язана з порушенням працездатності виробу, що настає або раптово, або поступово.

Працездатний стан – такий стан об'єкта, при якому він здатний виконувати задані функції, зберігаючи значення заданих параметрів у межах, встановлених нормативно-технічною документацією.

Надійність виробів, які можуть знаходитися в двох можливих станах – працездатному і непрацездатному, оцінюється ймовірністю безвідмовної роботи $P(t)$

$$P(t) = 1 - F(t) = \exp\left(-\int_0^t \lambda(t) dt\right), \quad (6.1)$$

де $F(t)$ функція розподілу часу роботи об'єкта до відмови; $\lambda(t)$ – інтенсивність відмови.

Аналітична інтенсивність відмови визначається формулою

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{p(t)},$$

де $f(t) = F'(t)$ – щільність розподілу часу безвідмовної роботи.

Рівень надійності і необхідність її підвищення повинні вирішуватися в першу чергу з економічних позицій.

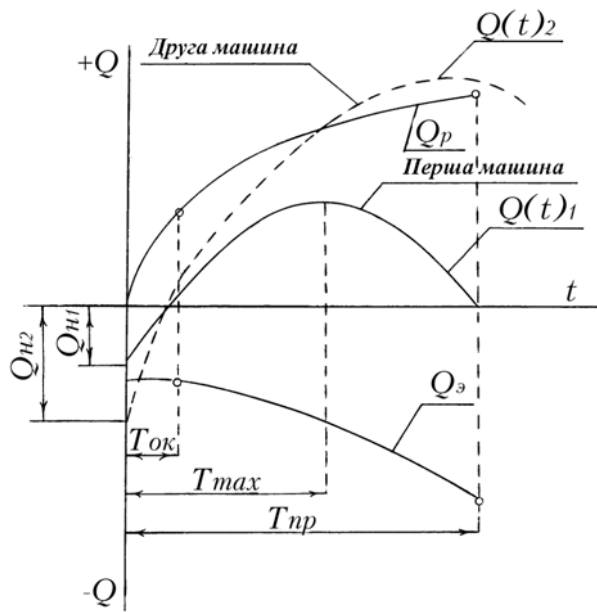


Рис. 6.1. Залежність сумарної ефективності $Q(t)$ від часу експлуатації машин з врахуванням прибутку Q_n і витрат на виготовлення Q_n і експлуатацію Q_e .

Для досягнення необхідної якості виробів витрати можуть бути настільки високі, що ефект від підвищення надійності об'єкта їх не відшкодує, і сумарний ефект від проведених заходів буде негативним.

Наука і практика підкажуть широкий діапазон різноманітних можливих варіантів для підвищення якісних характеристик машини на період її експлуатації. Наприклад, застосування більш якісних матеріалів, підвищення точності деталей, ретельний контроль якості їхнього поверхневого шару і т.д.

Однак при порівнянні різних варіантів досягнення необхідного рівня надійності, потрібно виходити з умов одержання найбільшого сумарного економічного ефекту з врахуванням витрат Q_n , які включають витрати на проектування, виготовлення, випробування, налагодження, транспортування до місця роботи й інші, а також витрати на експлуатацію Q_e , включаючи технічне обслуговування, ремонт, профілактичні заходи, тобто все те, що пов'язано з підтримкою і відновленням працездатності машини. Ці витрати є негативними (рис. 6.1).

З іншого боку, робота машини дає позитивний економічний ефект Q_p (прибуток) у залежності від цільового призначення. Наприклад, для технологічного устаткування – виготовлення нової продукції, для транспортних машин – перевезення вантажів, для двигунів – перетворення енергії і т.д.

Зміна прибутку Q_p в часі, навпаки, має тенденцію до зменшення інтенсивності зросту, оскільки більш часті простої машин у ремонті знижують її продуктивність. Тому залежність сумарної ефективності буде мати вигляд

$$Q(t) = Q_n + Q_e(t) + Q_p(t). \quad (6.2)$$

У період часу $t = T_{ок}$ машина за рахунок прибутку при її експлу-

атації компенсує витрати на її виготовлення. Цей період називається строком окупності. Починаючи з моменту $t = T_{ок}$ машина починає давати реальний прибуток.

Однак інтенсивність приросту прибутку з часом роботи машини поступово буде зменшуватися через зростання експлуатаційних витрат, і при $t = T_{np}$ економічна ефективність дорівнюватиме нулю. При $t > T_{np}$ витрати на експлуатацію будуть перевищувати економічний ефект, який може забезпечити машина (рис. 6.1). Тривалість економічно доцільної експлуатації машини T_e знаходиться в діапазоні між T_{max} і граничним терміном служби машини T_{np}

$$T_{max} < T_e < T_{np}.$$

Вибір варіанта конструкції машини з позиції надійності повинен виходити з співставлення витрат на виготовлення й експлуатацію машини з тим економічним ефектом, який вона може забезпечити.

Наприклад, як видно з рис. 6.1, початкові витрати $Q_{н2}$ на виготовлення машини №2 значно перевищують витрати $Q_{н1}$ на виготовлення машини №1, але за рахунок більш високих експлуатаційних показників (за продуктивністю, якістю і надійністю) машина №2 дає більший економічний ефект і її доцільно експлуатувати більш тривалий час.

Показником надійності, з економічної точки зору, може служити сума витрат пов'язаних з виготовленням Q_n і експлуатацією Q_e машини віднесена до тривалості її експлуатації T_e :

$$K_e = \frac{Q_n + Q_e}{T_e}, \quad (6.3)$$

де K_e – економічний показник надійності, грн/год; Q_n – вартість виготовлення нової машини, грн; Q_e – сумарні витрати на експлуатацію, ремонт і обслуговування, грн; T_e – період експлуатації машини, година.

Необхідно прагнути до мінімального значення цього показника за рахунок раціонального розподілу капіталовкладень між сферою виробництва і сферою експлуатації. Варто помітити, що чим дешевший виріб, тим більше витрат припадає на його експлуатацію.

На рис. 6.2 наведені витрати на виготовлення й експлуатацію вагонеток ВД-4 для вугільних шахт у залежності від ймовірності забезпечення вантажопотоку $P(t)$ [42]. При зміні вимог безвідмовності $P(t)$ від 0,53 до 0,95 витрати Q_e зростають, відповідно, від 25 до

170 тис. гривень, а експлуатаційні витрати Q_e знижуються з 210 до 30 тис. гривень. У результаті оптимальний рівень надійності в даному випадку відповідає $P(t)=0,75$ (рис. 6.2).

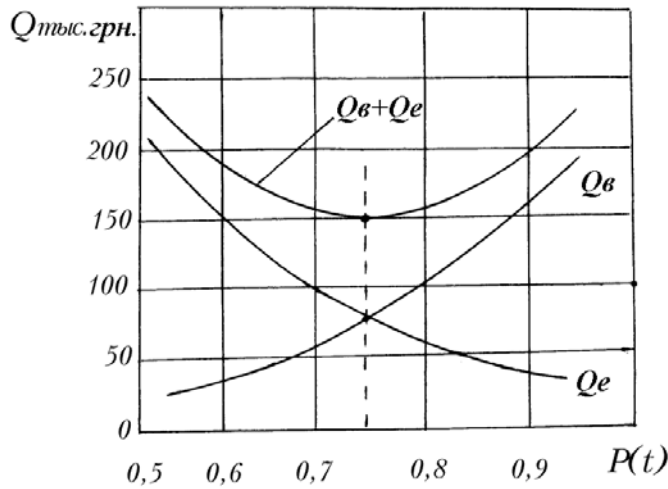


Рис. 6.2. Залежність витрат на виготовлення Q_v й експлуатацію Q_e вагонеток ВД-4 для вугільних шахт від ймовірності забезпечення вантажопотоку.

З економічних позицій варто мати на увазі, що вимоги безвідмовності пов'язані з витратами на виготовлення й експлуатацію виробу. При більш високих вимогах до безвідмовності роботи виробу необхідно підвищувати витрати на його виготовлення Q_v , зменшуючи при цьому витрати на експлуатацію Q_e .

У процесі експлуатації машини діють різні види енергії, що викликають у її вузлах і деталях процеси, які знижують початкові параметри виробу.

Ці процеси пов'язані, як правило, зі складними фізико-хімічними явищами, що викликають спрацювання, корозію, деформацію й інші види ушкоджень. Нагромадження ушкоджень з часом може привести до відмови роботи машини.

6.3. ПРИЧИНИ, ЩО ВИКЛИКАЮТЬ ПЕРЕДЧАСНИЙ ВИХІД З ЛАДУ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Надійність машини відзеркалює властивість зберігати необхідні якісні показники протягом усього періоду її експлуатації. Вона залежить від конструкції машини, застосовуваних матеріалів, якості виготовлення деталей і складання вузлів, способу контролю й випробування, а також від умов і режимів роботи, методів технічного обслуговування і прийнятої системи ремонту.

Проблема підвищення надійності машин пов'язана із сферами проектування, виробництва й експлуатації. При експлуатації машини в структурі матеріалу деталей відбуваються оборотні і необоротні процеси, що змінюють її експлуатаційні характеристики. До категорії оборотних відносяться процеси, пов'язані із зміною температури деталей самої машини і навколишнього середовища, а також із зміною

вологості. До необоротних процесів відносять спрацьовування деталей, корозію, втому, перерозподіл внутрішніх напружень і короблення деталей з часом.

Тому для збереження експлуатаційних характеристик деталей машин необхідно мати чітке представлення про джерела і причини їхнього зниження; знати реакцію деталей машин на різні впливи і на підставі цієї інформації створювати нові системи і технологічні процеси, що забезпечують протягом заданого періоду необхідні експлуатаційні характеристики.

Причинами, що викликають появу раптових відмов роботи окремих деталей машин, є: наявність на робочих поверхнях деталей шліфувальних тріщин і припиків, заклинювання елементів передачі в результаті недостатньої маслоємкості стику поверхонь тертя і т.д. Відмови також виникають в результаті тривалого нагромадження ушкоджень в матеріалі деталей або в результаті спрацьовування їх поверхонь.

Втомні явища, які відбуваються в поверхневих шарах деталей, відіграють особливу роль у протіканні процесів старіння і руйнування матеріалу при експлуатації. Тому стан поверхневого шару, що формується в основному на стадії фінішних операцій, визначає інтенсивність спрацьовування, величину контактних деформацій, втомні і корозійні процеси.

Руйнування деталей у більшості випадків починається з поверхні і залежить від її стану. Вплив поверхневого шару матеріалу деталей на експлуатаційні характеристики пов'язаний з наявністю надлишкової поверхневої енергії, тому що молекули й атоми, які знаходяться в поверхні, мають вільні зв'язки, що сприяють протіканню явищ поглинання (адсорбції), зчеплення (когезії), прилипання (адгезії) і інших видів взаємодії з навколишнім середовищем.

У процесі обробки під впливом сил різання і високих температур у поверхневому шарі виникає ряд побічних явищ, що змінюють властивість матеріалу. Фізико-хімічні параметри, структура і напружений стан поверхневого шару матеріалу після обробки істотно відрізняються від властивостей матеріалу глибинних шарів.

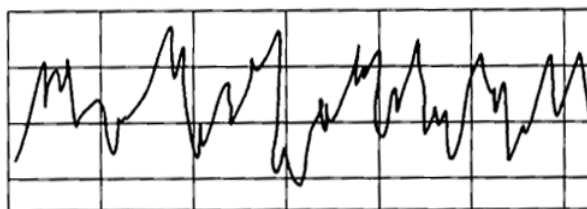
Основними параметрами, що характеризують експлуатаційні властивості деталей, є: геометрія поверхні (включаючи шорсткість, хвилястість і окремі поверхневі дефекти); напруженість поверхневих шарів матеріалу деталей, яка виникає в макро- і мікрообсягах; структура поверхневого шару, сформована в умовах пластичної деформа-

ції, високих температур, окисних процесів і інших впливів.

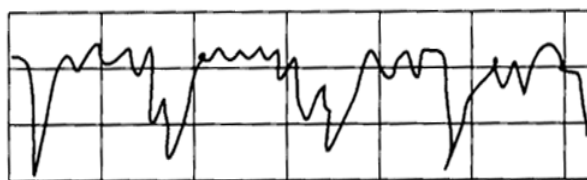
Для прогнозування фізико-механічних властивостей поверхневих шарів матеріалу деталей і керування ними в процесі виготовлення необхідно знати функціональні зв'язки цих параметрів з експлуатаційними властивостями виробів і технологічні шляхи керування якістю.

6.4. ЗВ'ЯЗОК ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБРОБЛЮВАНОЇ ПОВЕРХНІ З ЕКСПЛУАТАЦІЙНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Експлуатація будь-якої машини неминуче супроводжується тертям. У результаті відбувається поступова зміна розмірів і шорсткості поверхні тертя деталей, тобто спрацювання робочих ділянок. Це викликає зміну характеру сполучень деталей, що шкідливо позначається на їхній нормальній роботі (збільшуються зазори між поверхнями тертя, виникають вібрації, удари, погіршуються умови змащення, зменшується твердість і міцність деталей, знижується точність машини). За період початкового спрацювання висота нерівностей зменшується на 50 – 70% при одночасному збільшенні фактичної поверхні



а



б

Рис. 6.3. Профілограми поверхні деталей 10-го класу шорсткості оброблених: а – шліфуванням; б – шліфування з наступним алмазним вигладжуванням (вертикальне збільшення X1000, горизонтальне збільшення X200).

контакту. Однак варто помітити, що в період приробки висота нерівностей поверхонь тертя у ряді випадків не зменшується, а, навпаки, збільшується, прагнучи до деякого оптимального значення, яке залежить від конкретних умов тертя. Криві, що показують наявність оптимальної висоти нерівностей, наведені на рис. 5.25. Оптимальні значення шорсткостей відповідають точкам O_1 і O_2 . Більш важкі умови експлуатації машин зміщують криву спрацювання вправо і нагору, а точку оптимальної шорсткості - убік збільшення висоти нерівностей.

Збільшення висоти нерівностей у порівнянні з оптимальною

обумовлене змінанням, зрізом і сколюванням нерівностей. Із зменшенням висоти нерівностей у порівнянні з оптимальною зменшується маслоємкість зони контакту, погіршується зволоженість поверхонь тертя. При цих умовах роботи деталей змащення видавлюється з зони контакту і спостерігається молекулярне зчеплення і заїдання пар тертя.

При проектуванні машин конструктор повинен призначити оптимальну висоту шорсткості поверхонь, при якій спрацювання і коефіцієнт тертя при заданих умовах роботи будуть найменшими. Однак вирішити цю задачу конструктор не може через відсутність рекомендацій з вибору оптимальної висоти шорсткості.

Спрацювання поверхонь тертя залежить не тільки від висоти шорсткостей, але і від форми і напрямку нерівностей.

Показані на профілограмах (рис. 6.3) шорсткості однакової висоти $R_a=0,125$ мкм, але отримані різними оздоблювальними методами, відрізняються формою нерівностей. Шліфувана поверхня (а) має нерівності у вигляді гострих виступів. Для вигладженої поверхні (б) характерна згладжена, округлена форма нерівностей. Збільшена опорна поверхня забезпечує кращі експлуатаційні якості.

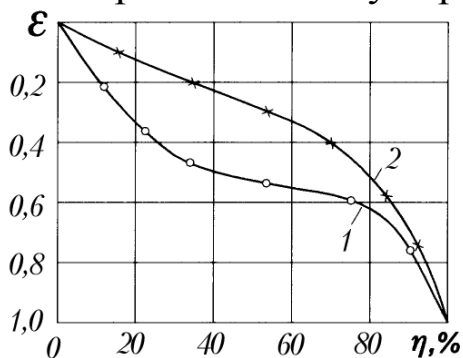


Рис. 6.4. Криві опорних поверхонь 10-го класу оброблених: 1 - шліфуванням; 2 - шліфуванням з наступним витягуванням.

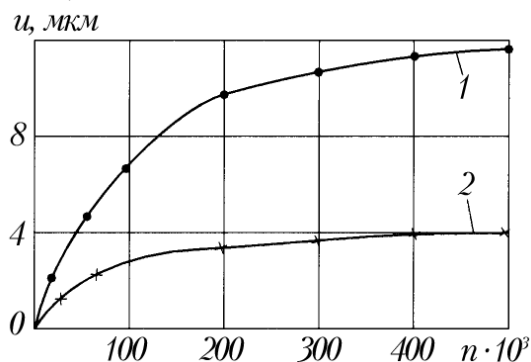


Рис. 6.5. Форма масляної кишені, отриманої накаткою на верстаті (РОТО-ФЛО, ФРН).

З рис. 6.4 видно, що на рівні перетину $p = 0,3$ мкм відносна опорна довжина профілю після алмазного вигладжування складає 55%, а після шліфування – тільки 17%.

Спрацювання шліфуваної поверхні значно більше в порівнянні з вигладженою (рис. 6.5). Через $n = 400 \cdot 10^3$ циклів радіальне спрацювання шліфованих зразків із сталі 45 (HRC 54 – 56) склало 11,5 мкм, а спрацювання таких же зразків, але підданих після шліфування алмазному вигладжуванню, тільки 4,2 мкм. Шорсткість вигладженої поверхні має закруглену форму вершин, значно більшу опорну поверхню і наявність заглиблень (масляних кишень). Найбільший ефект дають

масляні кишені, які мають закриту форму з кутом підйому лунки менше $1-2^\circ$. Така форма масляних кишень створює гідродинамічний ефект у момент запуску і забезпечує необхідну маслоємкість стику в процесі роботи машини.

Відомі і широко використовувані на машинобудівних заводах методи нанесення масляних кишень на поверхні тертя деталей, не забезпечують їхньої оптимальної геометрії. Наприклад, відомий метод нанесення регулярного мікрорельєфу віброобкатування. Як інструмент застосовуються кулькові вібраційні головки чи тримачі з алмазним наконечником.

Віброголовки з механічним, електромагнітним чи пневматичним приводом встановлюються на супорт токарного верстата. Кулька притискається до оброблюваної деталі, встановленої в центрах, із силою 200 – 400 Н.

В залежності від необхідного кроку й амплітуди осциляції вибирається число подвійних ходів головки і число обертів заготовки за хвилину. На поверхні деталі формується канавка заданої траєкторії. В западині канавки мікротвердість за рахунок наклепу збільшується на 15 – 18% у порівнянні з вихідною твердістю матеріалу $H_{100}=8000$ МПа і досягає $H_{100}=9200$ МПа. На вершині напливу мікротвердість досягає $H_{100}=9700$ МПа.

Геометричні параметри профілю канавки для матеріалів різних марок у сирому і розжареному стані представлені в табл. 6.1.

Якщо напливи не видаляти, то вони викликають у процесі експлуатації машин задирання на поверхнях деталей і збільшують їхнє спрацювання. З внутрішніх поверхонь втулок напливи можна видалити методом хонінгування, а з поверхонь тертя деталей типу валів тільки шліфуванням.

Таблиця 6.1. Геометричні параметри профілю канавок

Найменування деталі	Діаметр обробленої деталі, мм	Матеріал	Радіус кульки, мм	Висота канавки H_k , мкм	Висота напливу, H_n , мкм
Обертові кільця	58	Ст45 HRC 30–32	1,9	10	6,0
Корпус супорта токарного автомата	30	СЧ 32–52	2,0	7,5	4,0
Направляюча втулка	40	СтХ12 HRC 62–63	1,2	1,9	0,53
Калібр	35	СтУ12А HRC 58–60	1,2	3,1	1,27

Потрібно, однак, мати на увазі, що величина похибки встановлення в центрах порівнювалась з глибиною масляних кишень. За цих умов при шліфуванні напливів можуть бути вилучені масляні кишень.

Відома технологія нанесення масляних кишень на вторинний вал коробки передач автомобіля ВА32101. На циліндричні ділянки вала перед термічною обробкою накочуються повздовжні заглиблення (масляні кишень) (рис. 6.6).

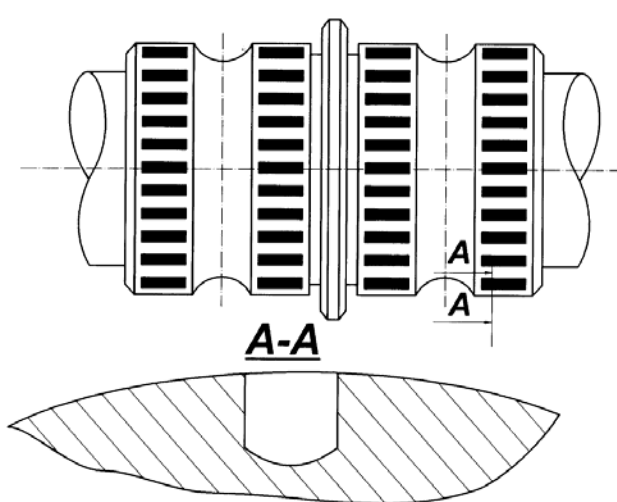


Рис. 6.6. Зовнішній вигляд масляних кишень.

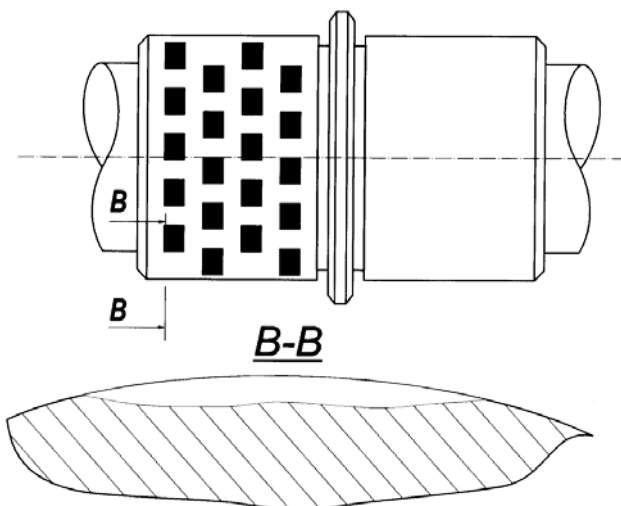


Рис. 6.7. Форма масляної кишень, отриманої при шліфуванні переривчастим кругом.

Після термічної обробки вала опорні поверхні шийок шліфують для зняття напливів навколо кишень двома операціями, забезпечуючи шорсткість $Ra = 0,4$ мкм. Розглянуті технологічні процеси формують масляні кишень, які є резервуарами для підживлення олією поверхні тертя, але не забезпечують одержання гідродинамічного ефекту.

Для одержання гідродинамічного ефекту масляні кишень повинні мати закриту форму з кутом підйому не більше $1 - 2^\circ$. Масляні кишень зазначеної форми можна одержати шліфувальним кругом з переривчастою робочою поверхнею.

Встановлено, що шліфування переривчастими кругами з одним-чотирма ріжучими виступами l_1 ($\frac{1}{12} \pi R \leq l_1 \leq \frac{11}{12} \pi R$), де R - радіус круга при переміщенні виробу зі швидкістю 25 - 100 м/хв, забезпечує одержання масляних кишень необхідної геометрії. Форма масляних кишень представлена на рис. 6.7.

6.5. ФІЗИКА ВІДМОВ

Аналіз закономірностей, що описують зміни, які відбуваються в матеріалах у процесі експлуатації машин

Зміни, що відбуваються в матеріалах, з яких виготовлені деталі виробу, є однією з головних причин втрати її працездатності. Ці зміни можуть привести до пошкодження виробу і виникнення відмов. Для з'ясування причин втрати виробом працездатності необхідно розкрити фізичну сутність необоротних змін, які відбуваються в матеріалах деталей.

Закони перетворення пов'язані з фактором часу. Типовим прикладом законів перетворення є процеси пов'язані з корозією. Встановити закономірність протікання корозії в часі складно, тому що інтенсивність ушкоджень через виникнення корозії залежить від великого числа факторів, які діють одночасно й у ряді випадків здійснюють протилежний вплив. Наприклад, при хімічній корозії металів і сплавів, що виникає при контакті з газами чи деякими мастилами, мають місце окисні реакції.

Для одержання закону старіння металу необхідно розкрити механізм зміни властивостей і стану матеріалу в часі. Закон старіння описує ступінь ушкодження матеріалу у функції часу. Він дозволяє прогнозувати хід процесу старіння, виявляти найбільш істотні фактори, що впливають на інтенсивність протікання процесу. Типовим прикладом таких залежностей є закономірність спрацювання матеріалів.

Спрацювання – це процес поступової зміни розмірів тіла при терті, що виявляється у знятті з поверхні тертя матеріалу (ГОСТ 16429–70).

Спрацювання супроводжується процесами корозії і є складним фізико-хімічним процесом. Його вивченням займалися багато вчених.

Широко відомі роботи вчених А. К. Зайцева, Д. В. Кузнецова, І.В. Крагельського, Б. І. Костецького, М. М. Хрушова, Д. Н. Гаркунова, Ф. Боудена і Д. Тайбора (Англія), Г. Флайшера (Німеччина), Мак-Грегера, Е. Робиновича (США), М. Данова (Болгарія) і ін. У цих роботах розкривається механізм спрацювання матеріалів і закономірності, які визначають його протікання.

При контакті двох сполучених поверхонь і їхньому відносному переміщенні в поверхневих шарах виникають механічні і молекулярні

взаємодії, що приводять до руйнування дотичних поверхонь, тобто до їхнього спрацювання.

З робіт проф. І. В. Крагельського [43] відомо, що при дискретному торканні поверхонь тертя спрацювання залежить від навантаження, виду тертя, геометричного обрису мікронерівностей і фізичних властивостей матеріалу.

Дискретний характер торкання і наявність великого числа плям контакту і фрикційних зв'язків є наслідком того, що реальні поверхні мають складний рельєф, що характеризується шорсткістю і хвилястістю. Крім того, поверхневі шари деталей наділені надлишком енергії, тому що молекули й атоми, що знаходяться в поверхні, мають вільні зв'язки, які сприяють виникненню таких явищ, як поглинання, зчеплення, прилипання, змочування й інші види взаємодії з речовинами зовнішнього середовища.

При виготовленні деталей поверхневий шар формується в умовах великих тисків і високих температур, які викликають ряд побічних явищ, що змінюють фізико-хімічні властивості твердого тіла в його поверхні. Фізико-механічні параметри поверхневого шару, його структура і напружений стан відрізняються від властивостей глибинних шарів матеріалу. У процесі експлуатації також йде безупинна зміна (трансформація) параметрів поверхневого шару. Тому більшість відмов машин пов'язані з процесами, що протікають у поверхневих шарах при виготовленні й експлуатації.

Поверхневий шар з геометричної точки зору являє собою досить складну картину. На роботоздатність деталей впливають не тільки основні характеристики хвилястості (висота хвилі H і її крок t) і шорсткості (R_z , R_a , середній крок S і максимальна висота нерівності R_{max}), але і форма нерівностей, їхній напрямок і інші параметри мікрорельєфу. На поверхні часто виявляються окремі дефекти у виді тріщин, відколів, подряпин і інших локальних ві-

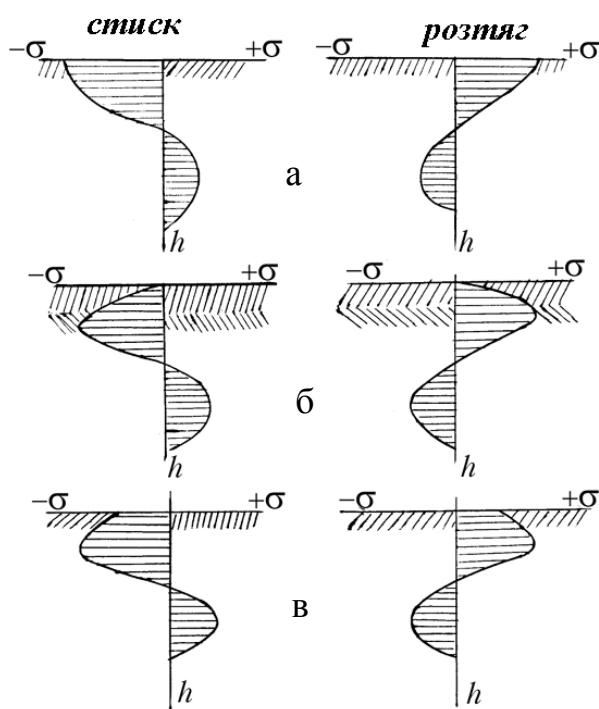


Рис. 6.8. Епюри залишкових напружень.

дхилень від сталого рельєфу.

Нарешті, специфічною особливістю поверхневого шару є виникнення в ньому внутрішніх тимчасових і залишкових напружень. Внутрішні напруження виникають у процесі нагрівання й охолодження деталі і виявляються у виді мікронапружень, які охоплюють великі обсяги деталі (напруження 1-го роду), мікронапруження в межах одного чи декількох кристалічних зерен (напруження 2-го роду) і субмікроскопічних напружень, що діють між елементами кристалічних ґраток (напруження 3-го роду). Вони, як правило, є наслідком визначеного технологічного процесу, тому розрізняють ливарні, зварювальні, гартівні, шліфувальні й інші залишкові напруження.

На рис. 6.8 наведені типові епюри залишкових напружень 1-го роду. Найбільші напруження в поверхні можуть бути як стискаючі (лівий стовпець), так і розтягуючі (правий стовпець) (рис. 6.8, а). Максимальні напруження можуть розташовуватися на деякій глибині від поверхні (у поверхні вони дорівнюють нулю) (рис. 6.8, б) чи мають вигляд, показаний на рис. 6.8, в. Розмаїтість епюр напружень залежить від силових і температурних впливів. Так як обидва фактори - температурний (викликає стан повзучості) і силовий (пластичну деформацію) - діють одночасно, то знак залишкового напруження в зовнішньому шарі залежить від того, який з цих факторів переважає.

При шліфуванні в поверхневому шарі виникають напруження, що розтягують, тут домінуючу роль грає тепловий фактор. При фрезеруванні і точінні в залежності від швидкості різання можуть виникати розтягуючі (при великих швидкостях) і стискаючі (при малих швидкостях) напруження.

Після зміцнюючої технології, загартування ТВЧ, азотування, цементації виникають стискаючі напруження. Після нанесення гальванічних покриттів чи при обезвуглеводненні поверхні сталевих деталей у поверхневому шарі виникають залишкові напруження розтягу (рис. 6.8, а, праворуч). При нанесенні захисних покриттів гальванотермічним методом, а також при дифузійному відпалюванні деталі з гальванічним покриттям на границі розділу покриття – підкладка виникають максимальні стискаючі напруження (рис. 6.8, б). При хіміко-термічній обробці сталей із зневуглеводненим шаром на границі розділу виникають максимальні розтягуючі напруження (рис. 6.8, б, праворуч). Іноді внаслідок релаксаційних процесів найбільші значення стискаючих і залишкових розтягуючих напружень зміщуються від поверхні на деяку глибину.

У процесі механічної обробки в поверхневому шарі деталей відбувається перекручування кристалічних ґраток, змінюється форма і розмір зерен, утворюється текстура. Пропорційно ступеню пластичної деформації зменшується щільність матеріалу, збільшується кількість дислокацій і вакансій, підвищується за рахунок наклепування твердість і зменшується пластичність.

Зміна фізико-механічних властивостей матеріалу поверхнього шару пов'язана не тільки із зміцненням чи з втратою міцності, а і з окисними процесами. Наприклад, при шліфуванні вуглецевої сталі в поверхневому шарі виникають знеуглеводненні ділянки, а на самій поверхні утворюються тонкі окисні плівки.

Наявність окисних плівок на поверхні полегшує дифузію кисню і його взаємодію з металом. Пластично деформований і насичений киснем шар під дією циклічних навантажень крихко руйнується, охоплюючи більш глибокі шари. Внаслідок теплового і силового впливу на поверхневий шар деталі з боку інструмента в ньому виникають залишкові напруження як комплекс процесів пластичного плинину матеріалу й об'ємних змін структурних складових матеріалу.

6.6. НАДІЙНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ МАШИН

Технологічний процес - це складна динамічна система, в якій у єдиний комплекс об'єднані устаткування, засоби контролю і керування, транспортні пристрої, які обробляє інструмент і, нарешті, люди, які здійснюють процес або керують ним. Для виконання поставлених задач технологічний процес повинен мати високу надійність. При цьому технологічний процес забезпечує необхідний рівень якості і високу продуктивність. Однак, ці дві сторони нерідко вступають у протиріччя - підвищення продуктивності може привести до зниження якості і, навпаки, більш висока якість може бути отримана за рахунок низької продуктивності.

Тому надійність технологічного процесу виготовлення машин повинна бути забезпечена як якісними, так і кількісними показниками.

Властивість надійності технологічного процесу відрізняється від поняття точності і стабільності. Згідно ГОСТ 16949–71, під точністю розуміється здатність технологічного процесу забезпечувати відповідність поля розсіювання значень показника якості виготовлення продукції заданому полю допуску і його розташуванню.

Стабільність - властивість технологічного процесу зберігати по-

казники якості продукції, що виготовляється, у заданих межах протягом деякого часу. З визначення випливає, що точність характеризує технологічний процес у деякий фіксований момент часу, тобто в статистиці. Надійність технологічного процесу - поняття динамічне.

Поняття стабільності характеризує технологічний процес виготовлення машин тільки з позиції збереження в заданих межах показників якості продукції, не торкаючись питань про зміну з часом продуктивності.

Технологічний процес може бути стабільним, але мати низьку надійність. З іншого боку, технологічний процес може мати високу надійність, хоча одержувана при його реалізації продукція буде відноситися до низької категорії якості чи морально застаріла.

Розглянемо оцінку надійності технологічного процесу, що складався з n послідовних операцій. Технологічний процес забезпечує m параметрів $x_1, x_2, x_3, \dots, x_m$ у межах заданих допусків. Ймовірність $p(t)$ виходу кожного з параметрів за межі допуску протягом заданого періоду часу $t = T$ визначає безвідмовність даного технологічного процесу. Вихідні параметри формуються в результаті послідовної обробки на операціях $1, 2, \dots, n-1, n$. Ймовірність здійснення технологічного процесу на всьому ланцюжку повинна бути рівною добутку ймовірностей $p_i(t)$ окремих операцій:

$$p(t) = p_1 \cdot p_2 \cdot \dots \cdot p_n = \prod_{i=1}^n p_i.$$

Технологічні процеси з великою кількістю операцій мають низьку надійність. Наприклад, якщо технологічний процес складається з 50 операцій, а ймовірність виходу параметрів оброблюваної деталі за межі допуску на кожній операції склала $P_i(t) = 0,99$, то ймовірність забезпечення точності наприкінці обробки буде дорівнювати

$$P_{\Sigma}(t) = (0,99)^{50} \cong 0,55.$$

Однак у реальних технологічних процесах формування вихідних якісних параметрів відбувається в основному на останніх (фінішних) операціях, а контрольовані параметри проміжних операцій істотного впливу на остаточний результат не мають. Якісні параметри деталей машин формуються на фінішних операціях. Найбільш розповсюдженою фінішною операцією є шліфування, що забезпечує досить високу точність, але з його застосуванням пов'язують появу на поверхні шліфувальних дефектів (припиків і тріщин).

З досвіду експлуатації машин відомо, що наявність припиків, наприклад, на бічних поверхнях зубів шестірен, знижує довговічність їхньої роботи в 5 - 8 разів; наявність припиків на ріжучих кромках матриці і пуансона вирубних штампів, знижує їхню стійкість у 20 - 30 разів.

Проблема забезпечення заданої якості поверхневого шару деталей при шліфуванні вирішується шляхом підбору умов і режимів обробки. Процес шліфування протікає в безупинно змінних умовах взаємодії інструмента з оброблюваним матеріалом у зоні різання, які в цілому характеризують нестабільність процесу обробки в часі. Це викликає негативну зміну теплової і силової взаємодії на інструмент, приводить до нераціонального використання його ресурсу і погіршує якість поверхневого шару оброблюваних деталей. Інтенсивність відзначених процесів залежить від динамічних властивостей технологічної системи і технологічних умов обробки і найбільшою мірою виявляється при обробці деталей з важкооброблюваних матеріалів. Особливу актуальність динамічна нестабільність процесів шліфування має в умовах автоматичного виробництва.

При зміні процесів обробки змінюються й оптимальні значення параметрів режиму. При оптимальному керуванні процесом шліфування при безупинно змінних умовах обробки потрібно не тільки забезпечити задану точність траєкторії переміщення інструмента, але також здійснити безупинне керування параметрами режиму шліфування.

Нестабільність характеристик шліфувальних кругів і зміна їх, а також припуску на окремих ділянках заготовки в процесі обробки і багато інших факторів приводять до неконтрольованих змін теплового і силового навантаження на інструмент. Для стабілізації якісних параметрів необхідно підтримувати на заданому рівні потужність різання за рахунок зміни глибини шліфування чи повздовжньої подачі або величини пружних деформацій системи. Однак зазначені способи керування забезпечують стабілізацію потужності шліфування тільки на останньому проході. У реальних умовах шліфування знімання припуску здійснюється за кілька проходів. Причому на попередніх проходах дефектний шар може проникнути на таку глибину, що наступні проходи не дозволять видалити дефектний шар.

Отже, видалення припуску при багатопродічному шліфуванні варто робити із зменшуваними від проходу до проходу глибинами. Причому глибина дефектного шару, що виникає при шліфуванні, не повинна перевищувати величину припуску, що залишився на наступні проходи.

6.7. ОПТИМАЛЬНИЙ РОЗПОДІЛ ПРИПУСКУ ПО ПРОХОДАХ

Для одержання необхідної якості поверхневого шару, точності розмірів і форми оптимальний цикл обробки потрібно будувати таким чином, щоб інтенсивність знімання матеріалу зменшувалася до кінця циклу. При цьому мова йде про фактичну інтенсивність знімання припуску, тому що за рахунок пружних деформацій значення фактичних глибин відрізняються від номінально встановлених по ноніусі верстата.

Глибина проникнення шліфувального дефекту $\delta_{зmn}$ залежить від умов шліфування, режимів, стану робочої поверхні круга.

У загальному випадку вираз для $\delta_{зmn}$ можна записати у вигляді

$$\delta = C_1 V_\partial^x S^y t^k \tau^z, \quad (6.4)$$

де C_1, x, y, k, z – постійні коефіцієнти.

Експериментально встановлено, що незалежно від швидкості V_∂ і подачі S глибина дефектного шару δ пропорційна глибині шліфування t [65].

У табл. 6.2 представлені режими шліфування зубчастих коліс, температура в зоні контакту і глибина дефектного шару [65].

Таблиця 6.2

Модель верстата	Глибина різання, мм	Поперечна подача	Повздовжня подача	τ, c	$\theta^\circ C$	$\delta, мкм$
5851 $\alpha_n=0$	0,03	1,67 мм/хит	93 хит/хв	0,003	501	18-25
	0,05			0,0037	719	35-45
	0,07			0,0043	918	60-70
5851 $\alpha_n=15^\circ$	0,03	1,67 мм/хит	93 хит/хв	0,0215	490	58-65
	0,05			0,0286	591	90-100
	0,07			0,0326	870	130-145
5831	0,03	1,27 мм/хит	100 хит/хв	0,034	557	75-80
	0,05			0,039	620	130-135
	0,07			0,043	665	150-170

З приведених даних випливає, що із збільшенням часу впливу теплового джерела зростає глибина дефектного шару.

На підставі даних, наведених у табл. 6.2, побудована залежність глибини дефектного шару δ від глибини шліфування зубчастих коліс на верстаті 5851 з $\alpha_n = 0$ (крива 1) і $\alpha_n = 15^\circ$ (крива 2) і на верс-

таті 5831 (крива 3) (рис. 6.9). Штриховою лінією представлена залежність питомого знімання металу від глибини шліфування. Розрахунки зроблені для шліфування зубчастих коліс на верстаті 5851 з нульовою вихідною ріжучою рейкою кіл ($\alpha_e = 0$) на режимі $S_{non} = 1,67$ мм/хід; $V_{обк} = 38,87$ мм/с; і на верстаті 5831 на режимі $S_{кр} = 1,27$ мм/хід $V_e = 51,2$ мм/с.

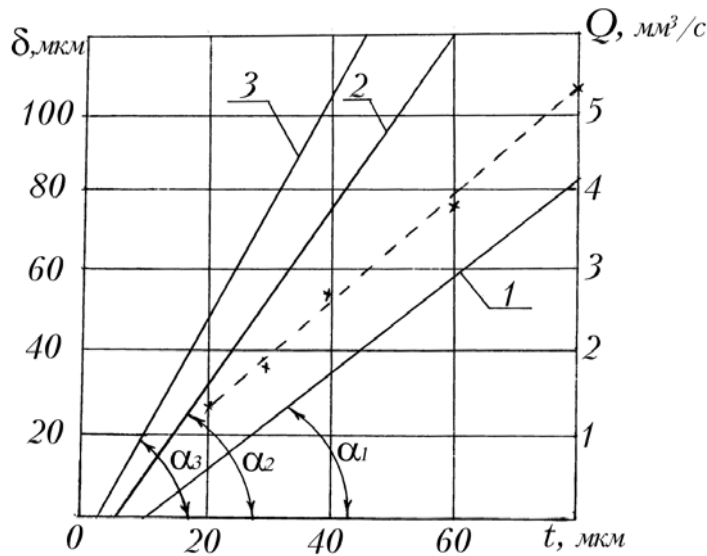


Рис. 6.9. Залежність глибини дефектного шару δ від глибини шліфування. 1. Верстат 5851 $\alpha_a = 0$; 2. Верстат 5851, $\alpha_a = 15$; 3. Верстат НАИЛС (5831).

зання $t_0 = 0,005$ мм, при шліфуванні на верстаті 5851 з 15-ти градусним налагодженням кіл – $t_0 = 0,008$ мм, а при шліфуванні на верстаті 5851 з $\alpha_e = 0$, $t_0 = 0,012$ мм.

Величину дефектного шару можна розрахувати за формулою

$$\delta = (t - t_0)tg\alpha, \quad (6.5)$$

де δ – величина дефектного шару, мкм; t – глибина шліфування, мкм; t_0 – глибина шліфування, при якій починають з'являтися дефекти, мкм; $tg\alpha$ – параметр, що характеризує вплив кінематики верстатів на теплонапруженність процесу шліфування.

Наприклад, для умов шліфування, приведених у табл. 6.2, для зубошліфувального верстата 5851 з $\alpha_e = 0^\circ$ – $tg\alpha_1 = 1,14$, для зубошліфувального верстата 5851 $\alpha_e = 15^\circ$ – $tg\alpha_2 = 2,18$, для зубошліфувального верстата 5831 – $tg\alpha_3 = 2,78$.

З аналізу залежностей $\delta = f(t)$ (рис. 6.9) видно, що дефектний шар при шліфуванні зубчастих коліс ($m = 5$, $z = 30$, $\alpha = 20$ сталь 12Х2Н4М) з'являється при глибині різання t_0 . Розглянуті схеми зубошліфувальних верстатів мають різні значення початкових глибин t_0 .

Наприклад, при шліфуванні зубчастих коліс на верстаті 5831 дефектний шар починає з'являтися при глибині рі-

Для усунення шліфувальних дефектів необхідно видалення припуску робити з таким розрахунком, щоб дефектний шар від попереднього проходу не перевищував припуск, що залишився на наступну обробку (рис. 6.10). Наприклад, при виконанні рівності (6.5) глибина дефектного шару не повинна перевищувати припуск, що залишився під наступну обробку

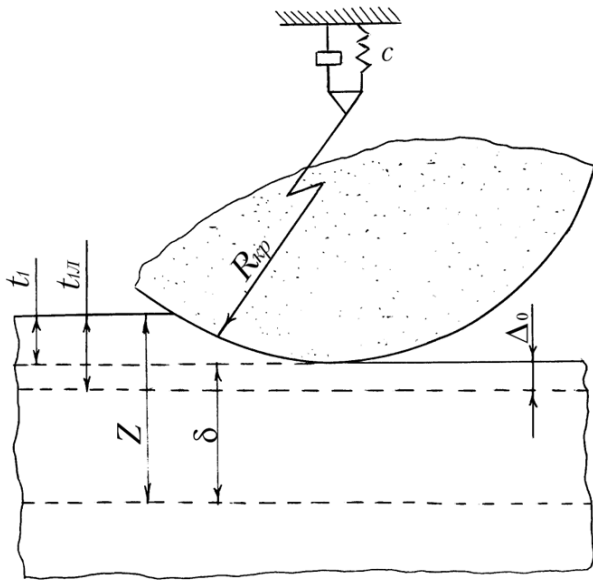


Рис. 6.10. Розрахункова схема для визначення глибини дефектного шару.

$$t_1 + tg\alpha(t_1 - t_0) = z, \quad (6.6)$$

де t_1 – глибина різання на першому проході; z – загальний припуск на шліфування.

Глибина різання на першому проході буде дорівнювати

$$t_1 = \frac{z + t_0 tg\alpha}{1 + tg\alpha}. \quad (6.7)$$

Глибина різання на i -му проході

$$t_i = \frac{\left(z - \sum_{i=1}^{n-1} t_i \right) + t_0 tg\alpha}{1 + tg\alpha}. \quad (6.8)$$

Розглянемо послідовність розрахунку операційних припусків на конкретному прикладі.

Приклад. Потрібно видалити з бічних поверхонь зубів припуск $z = 0,2$ мм. Верстат 5851, $\alpha_g = 0$ ($t_0 = 0,012$ і і , $tg\alpha = 1,4$) $S_n = 1,67$ мм/хит, число хитань столу $n = 93$ хит/хв. За формулою (6.8) проводимо розрахунок t_i доти, поки не буде виконана умова $t_n \leq t_0$

$$t_1 = \frac{z + t_0 tg\alpha}{1 + tg\alpha} = 0,094 \text{ і і мм}, \quad t_2 = \frac{z - t_1 + t_0 tg\alpha}{1 + tg\alpha} = 0,05 \text{ і і мм},$$

$$t_3 = \frac{z - (t_1 + t_2) + t_0 tg\alpha}{1 + tg\alpha} = 0,027 \text{ і і мм},$$

$$t_4 = \frac{z - (t_1 + t_2 + t_3) + t_0 tg\alpha}{1 + tg\alpha} = 0,014 \text{ і і мм},$$

$$t_5 = \frac{z - (t_1 + t_2 + t_3 + t_4) + t_0 tg\alpha}{1 + tg\alpha} = 0,007 \text{ і і мм}.$$

Отриманий розподіл глибин шліфування забезпечує стабілізацію якості поверхневого шару, тобто усуває появу шліфувальних дефектів.

На п'ятому проході умова $t_5 < t_0$ виконується. Отже, подальшу обробку можна було б припинити, якщо б сумарна величина знятого шару металу за 5 проходів досягла величини загального припуску на обробку $z = 0,2$. Однак величина сумарного знімання металу $\sum_{i=1}^5 t_i = 0,192$ мм виявилася меншою величини загального припуску $z = 0,2$ мм. Тому для видалення залишеної частини загального припуску $z_{зал} = z_{заг} - \sum_{i=1}^n 0,2 - 0,192 = 0,008$ мм, необхідно призначити додатковий шостий прохід. З глибиною $t_6 = 0,008$ мм.

Під дією сил різання відбувається деформація шпиндельного вузла шліфувального верстата. У результаті фактичне (розрахункове) знімання металу буде відрізнятися від глибини шліфування, встановленої по ноніусу верстата

$$t = t_n - \Delta_0, \quad (6.9)$$

де t – фактичне знімання металу (розрахункове); t_n – лімбава глибина шліфування; Δ_0 – величина зсуву круга в напрямку нормалі до кола.

Величину Δ_0 можна визначити з виразу [47].

$$\Delta_0 = \frac{k_0}{c_{жс} + k_0} \cdot t_n, \quad (6.10)$$

де $c_{жс}$ – статична жорсткість пружної системи шпиндельного вузла, Н/мм; k_0 – динамічна жорсткість, що характеризує силу різання, яка припадає на одиницю заглиблення шліфувального круга в метал, Н/мм.

У технологічних картах технолог вказує лімбові глибини. Після підстановки виразу (6.10) у (6.9) і деяких перетворень отримана формула для визначення лімбових глибин шліфування

$$t_l = \frac{t}{1 - \frac{k_0}{k_0 + c_{жс}}}. \quad (6.11)$$

Для зубошліфувального верстата 5851 жорсткість шпиндельного вузла $c_{жс} = 7000$ Н/мм, динамічна жорсткість визначається формулою

$$k_0 = c_{жс} \left(\frac{t_l}{t} - 1 \right); k_0 = 4666 \text{ Н/мм.}$$

Лімбові глибини шліфування для верстата 5851 із $\alpha_e = 0^\circ$ згідно

зі зробленим розрахунком дорівнюють $t_{1л} = 0,157$ мм, $t_{2л} = 0,083$ мм, $t_{3л} = 0,045$ мм, $t_{4л} = 0,023$ мм, $t_{5л} = 0,011157$ мм, $t_{6л} = 0,013$ мм .

У табл. 6.3 представлені значення фактичних і лімбових глибин шліфування зубчастих коліс ($m=5$ мм, $z=30$, $\alpha = 20^0$, сталь 12Х2Н4А НРС 60–62) на різних зубошліфувальних верстатах. Загальний припуск $z = 0,2$ мм.

Таблиця 6.3

№ проходу	5851 $\alpha_g = 0^0$		5851 $\alpha_g = 15^0$		5831	
	$C_{жс}$, Н/мм	K_0 , Н/мм	$C_{жс}$, Н/мм	K_0 , Н/мм	$C_{жс}$, Н/мм	K_0 , Н/мм
	7000	4666	7000	4666	10000	6500
	Глибини шліфування, мм		Глибини шліфування, мм		Глибини шліфування, мм	
t	t_l	t	t_l	t	t_l	
1	0,0942	0,157	0,068	0,111	0,042	0,069
2	0,050	0,083	0,045	0,074	0,030	0,049
3	0,027	0,045	0,032	0,052	0,022	0,036
4	0,014	0,023	0,022	0,036	0,0166	0,027
5	0,007	0,011	0,008	0,013	0,0122	0,020
6	0,008	0,013	0,008	0,013	0,009	0,015
7	-	-	0,008	0,013	0,0066	0,011
8	-	-	0,007	0,011	0,005	0,008

Розглянута методика розподілу припуску за проходами може бути використана на етапі проектування операції зубошліфування (при оптимізації режимів) і на етапі механічної обробки (при діагностиці операції). Однак дана методика розподілу припуску, заснована на конкретних даних, отриманих з експерименту [65], не дозволяє зробити узагальнення для всього діапазону режимів і схем шліфування. Для одержання більш узагальненої математичної моделі необхідно встановити функціональний зв'язок параметрів t_0 і $tg\alpha$ з режимами шліфування. Для визначення функціональних зв'язків параметрів t_0 і $tg\alpha$ з режимами необхідно розв'язати диференціальне рівняння теплопровідності і знайти закон зміни температури від часу, тобто $T(x, \tau)$. Потім отриману залежність прирівняти до величини критичної температури $T(x, \tau) = T_{кр}$, де x – глибина поширення температури $T_{кр}$, при якій починається розпад мартенситної структури.

Задача визначення $x_{кр}$ в явному виді не розв'язується через трансцендентність рішення цього рівняння.

Залежність глибини $x_{кр}$ від щільності теплового потоку q і часу впливу теплового джерела τ встановлена в роботі [30] у вигляді наступної структурної формули

$$x_{кр} = \delta_{\partial} = \alpha_1 q (\tau - \tau_0)^{\beta_1}, \quad (6.12)$$

де α, β – коефіцієнти, що залежать від теплофізичних параметрів оброблюваного матеріалу; τ_0 – фіксована величина часу впливу теплового джерела, при якій температура в зоні контакту досягає критичної величини (при $\tau \geq \tau_0$ відбувається розпад мартенситної структури, тобто з'являється припек – дефектний шар).

Максимальна температура на поверхні в зоні шліфування, тобто при $x=0$ відповідно до розв'язку одномірного диференціального рівняння теплопровідності, описується рівнянням [32].

$$T = \frac{2q}{\lambda} \sqrt{\frac{a\tau}{\pi}}, \quad (6.13)$$

де a, λ – температуро- і теплопровідність оброблюваного матеріалу.

З рівняння (6.13) при $T = T_{кр}$ одержимо

$$\tau = \tau_0 = \frac{T_{кр}^2 \lambda^2 \pi}{4q^2 a}. \quad (6.14)$$

Максимальний час впливу теплового джерела τ дорівнює відношенню довжини дуги контакту теплового джерела до швидкості його переміщення. Наприклад, при плоскому шліфуванні

$$\tau = \frac{\sqrt{Dt}}{V_{см}}, \quad (6.15)$$

де D – діаметр шліфувального круга; t – глибина шліфування; $V_{см}$ – швидкість переміщення столу верстата.

Щільність теплового потоку q визначається формулою

$$q = \frac{p\psi}{S}, \quad (6.16)$$

де S – площа контакту; p – потужність шліфування; ψ – коефіцієнт тепловводу.

Для плоского шліфування

$$q = \frac{P\psi}{\sqrt{Dt} \cdot S_n},$$

де S_n – поперечна подача чи ширина смуги шліфування.

З врахуванням рівнянь (6.12) і (6.16) отримана формула

$$\delta_{\partial} = \alpha \frac{p\psi}{\sqrt{D \cdot t} \cdot S_n} \left(\frac{\sqrt{D \cdot t}}{V_{\partial}} - \frac{T_{кр}^2 \lambda^2 \pi D \cdot t (S_n)^2}{\psi^2 4P^2 a} \right)^{\beta}. \quad (6.17)$$

Формула (6.17) дозволяє розрахувати глибину поширення критичної температури $T_{кр}$ в залежності від режимних параметрів.

При $\delta_{\partial} = 0$ вираз (6.17) прийме вигляд

$$\frac{\sqrt{D \cdot t}}{V_{\partial}} = \frac{\pi T_{кр}^2 \lambda^2 S_{cn}^2 D \cdot t}{4a\psi^2 P^2}. \quad (6.18)$$

Звідки

$$p^2 = \frac{\pi T_{кр}^2 \lambda^2 S_n^2 \sqrt{D \cdot t} V_{\partial}}{4a\psi^2}, \quad p = \frac{T_{кр} \lambda S_n \sqrt{\pi V_{\partial} \sqrt{D \cdot t}}}{2\psi \sqrt{a}}. \quad (6.19)$$

Відомо, що

$$p = ct_0^x S_n^y V_{\partial}^z. \quad (6.20)$$

Для визначення глибини шліфування, при якій не утвориться дефектний шар t_0 , необхідно прирівняти вирази (6.19) і (6.20) і отримане рівняння розв'язати відносно t_0 .

На підставі планування експерименту отримані значення коефіцієнтів $c = 7,85 \cdot 10^7$; $x = 0,72$; $y = 0,43$; $z = 0,95$.

Після підстановки даних $T_{кр} = 350^0$ С; $S_n = 3,6 \cdot 10^{-3}$ м/хід; $\lambda = 16,7$; $V_{\partial} = 0,057$ м/с; $D = 0,25$ м; $\psi = 0,8$; $a = 3 \cdot 10^{-6}$ у вирази (6.19) і (6.20) одержимо

$$t_0 = \left(\frac{T_{кр} \lambda S_n^{0,57} \sqrt{\frac{\pi}{a}} \sqrt{D}}{2\psi \cdot c \cdot V_{\partial}^{0,45}} \right)^{2,12}. \quad (6.21)$$

При вихідних даних глибина шліфування, при якій не утворюються дефекти, дорівнює $t_0 = 7,8 \cdot 10^{-6}$ м.

З аналізу виразу (6.21) випливає, що глибина шліфування, при якій не відбуваються структурні зміни, не є постійною величиною. Вона залежить від марки оброблюваного матеріалу і режимів шліфування. Наприклад, при $S_n = 1,2 \cdot 10^{-3}$ м/хід глибина шліфування

$t_0 = 2,1 \cdot 10^{-6}$ м, а при $S_n = 3,6 \cdot 10^{-3}$ м/хід - $t_0 = 7,8 \cdot 10^{-6}$ м. Для визначення кута нахилу прямої $\delta = f(t)$ використаємо рівняння прямої, що проходить через дві точки

$$\begin{aligned} y_2 - y_1 &= k(x_2 - x_1), \\ y_2 &= \delta_2; y_1 = \delta_1; x_2 = t'; x_1 = t_0, \end{aligned} \quad (6.22)$$

де δ_2 – глибина дефектного шару, що відповідає глибині шліфування t' , а $\delta_1 = 0$.

$$k = \operatorname{tg} \alpha = \frac{\delta_2}{t' - t_0}. \quad (6.23)$$

Послідовність розрахунку глибин різання при оптимальному розподілі припуску по проходах:

1. Визначається потужність різання за формулою

$$p' = ct_1^x S_n^y V^z. \quad (6.24)$$

Постійні коефіцієнти c, x, y, z визначаються експериментально.

2. По формулі (6.21) визначається глибина шліфування t_0 , при якій не виникає поява структурних змін.

3. Визначається глибина різання $t' = 10 \cdot t_0$.

4. Визначається інтенсивність теплового потоку, яка відповідає глибині різання t'

$$q' = \frac{\psi p'}{\sqrt{D \cdot t' S_n}}, \quad (6.25)$$

де p' – потужність різання при глибині шліфування t' .

5. Визначається глибина дефектного шару, що відповідає глибині шліфування t' .

$$\delta'_2 = \alpha \frac{p' \cdot \psi}{\sqrt{D \cdot t' \cdot S_n}} \left[\frac{\sqrt{D \cdot t'}}{V_\delta} - \frac{T_{кр}^2 \lambda^2 \pi D \cdot t' \cdot S_n^2}{4 P'^2 \psi^2 a} \right]^\beta. \quad (6.26)$$

6. Визначається кут нахилу прямої зміни глибини поширення дефектного шару δ від глибини шліфування t

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{\delta'_2}{t' - t_0}. \quad (6.27)$$

7. По формулі $t_i = \frac{z - \sum_{i=1}^{n-1} t_i + t_0 \operatorname{tg} \alpha}{1 + \operatorname{tg} \alpha}$ визначаються глибини t_i .

Цикли по визначенню глибин шліфування t_1, t_2, \dots, t_n повторюються доти, поки не буде виконана умова $t_n \leq t_0$.

8. Визначається залишковий припуск $z_0 = z_{заг} - \sum_{i=1}^n t_i$. Якщо залишковий припуск $z_0 \leq t_0$, то призначається додатковий $n+1$ прохід із глибиною шліфування $t_{n+1} = z_0$. Якщо $z > t_0$, то призначається необхідна додаткова кількість проходів $j = z_0/t_0$ із глибиною різання t_0 .

9. Визначаються лімбові глибини шліфування за формулою

$$t_{ли} = \frac{t_i}{\left(1 + \frac{k_0}{k_0 + c}\right)}$$

У табл. 6.4 представлені розрахункові значення технологічних параметрів (p , q , δ , $tg\alpha$, t и t_0) при шліфуванні сталей 12Х2Н4А і Р6М5 на режимах: $T_{кр} = 350^0 C$; $\alpha' = 1,88 \cdot 10^{-11}$; $\psi = 0,8$; $D = 0,25$ м; $c = 7,85 \cdot 10^7$; $S_n = 3,6 \cdot 10^{-3}$ м; $V_\delta = 0,12$ м.

Таблиця 6.4

Параметри	Ст 12Х2Н4А ($a = 3 \cdot 10^{-6}$; $\lambda = 16,7$)	Ст Р6М5 ($a = 8 \cdot 10^{-5}$; $\lambda = 40$)
p , Вт	499	1425
t_i , мм	$2,5 \cdot 10^6$	$51,7 \cdot 10^6$
δ , м	$29,9 \cdot 10^{-6}$	$45 \cdot 10^{-6}$
$tg\alpha$	0,259	0,40
$t' = 10t_0$, м	$78 \cdot 10^{-6}$	$150 \cdot 10^{-6}$
t_0 , і	$78 \cdot 10^{-6}$	$15 \cdot 10^{-6}$

З аналізу отриманих даних, приведених у таблиці, видно, що марка оброблюваного матеріалу впливає на потужність різання p , інтенсивність теплового потоку і глибину різання t_0 , що визначає початок виникнення структурних змін у матеріалі.

Сталь Р6М5 має більш високу теплостійкість у порівнянні зі сталлю 12Х2Н4А, допускає можливість шліфування з більш підвищеними глибинами, зберігаючи при цьому вихідний стан структури. Наприклад, гранично припустима глибина шліфування, що характеризує початок виникнення структурних змін сталі 12Х2Н4А, дорів-

нює $7,8 \cdot 10^{-6}$ м, а сталі Р6М5 – $15 \cdot 10^{-6}$ м.

Потужність на шліфування “ P ”, характеризує оброблюваність матеріалу, а величина інтенсивності теплового потоку характеризує теплонапруженість процесу. Із зіставлення цих параметрів видно, що процес шліфування сталі Р6М5 протікає з більш високої теплонапруженістю зі значно великими енерговитратами в порівнянні із сталлю 12Х2Н4А.

Розрахункові значення точок $A(t'_0, \delta')$ і $B(t''_0, \delta'')$, що лежать на прямих, які характеризують функціональний зв'язок $\delta = f(t)$, використані для визначення кута нахилу прямих ($tg\alpha_1$ і $tg\alpha_2$).

$$A_1(7,8; 0) \quad B_1(78; 29,9) \quad A_2(15; 0) \quad B_2(150; 45)$$

У табл. 6.5 представлені розрахункові значення глибин шліфування сталей 12Х2Н4А і Р6М5 при пошаровому видаленні загального припуску $z = 0,2$ мм.

З аналізу наведених у таблиці розрахункових даних видно, що зі збільшенням кута нахилу α і зменшенням глибини t_0 збільшується кількість проходів, необхідних для видалення припуску.

Зі зменшенням глибини різання t_i від 0,143 мм до 0,00217 мм зменшується потужність різання від 360 Вт до 34,5 Вт і зростає питома робота шліфування від 6,99 А(Дж/мм³) до 43,5 А(Дж/мм³).

Таблиця 6.5

Режими шліфування 12Х2Н4А; $S=3,6 \cdot 10^{-3}$ м/хід; $tg\alpha=0,4259$; $t_0=7,8 \cdot 10^{-6}$ м; $V_\delta=0,12$ м/с					
Параметри	Проходи				
t_i , мм	0,143	0,042	0,0128	0,00217	
q , Вт/м ²	$13,4 \cdot 10^6$	$15,2 \cdot 10^6$	$20,6 \cdot 10^6$	$20,7 \cdot 10^6$	
p , Вт	360	149,2	83	34,5	
A , Дж/мм ³	6,99	9,88	18,1	43,5	
Режими шліфування 12Х2Н4А; $S=2,4 \cdot 10^{-3}$ м/хід; $tg\alpha=0,6553$; $t_0=4,8 \cdot 10^{-6}$ м; $V_\delta=0,12$ м/с					
t_i , мм	0,122	0,049	0,0194	0,0077	0,002
p , Вт	230	184	145,9	116,5	82,7
A , Дж/мм ³	5,26	10,43	20,9	42,1	114,9
Режими шліфування Р6М5; $S=3,6 \cdot 10^{-3}$ м/хід; $tg\alpha=0,40$; $t_0=15 \cdot 10^{-6}$ м; $V_\delta=0,12$ м/с					
t_i , мм	0,147	0,042	0,012		

6.8. ВИБІР І ОБҐРУНТУВАННЯ УМОВ ОБРОБКИ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬ СТАБІЛІЗАЦІЮ НАПРУЖЕНОСТІ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ МАТЕРІАЛУ

Традиційні способи шліфування не забезпечують активного зменшення величини залишкових напружень у поверхневих шарах оброблюваних деталей.

Існуючі представлення про кінетику формування залишкових напружень у поверхневому шарі [45] свідчать про те, що для компенсації напружень потрібно на останньому проході траєкторію переміщення ріжучих зерен направити під 90° кутом до траєкторії переміщення зерен на попередньому проході.

При такій схемі видалення припуску кожен наступний прохід перерізає витягнуті і пластично деформовані шари на попередньому проході. Перерізання шарів дозволяє кожним наступним проходом компенсувати залишкові напруження за величиною і знаком, що виникають на попередньому проході. Щоб виключити виникнення залишкових напружень, треба знімання припуску виконувати за парну кількість проходів, а в кожній парі проходів (попереднього і наступного) режими повинні бути однаковими.

В. И. Свирцевим [44, 45] розроблений спосіб, що забезпечує компенсацію залишкових напружень. Сутність способу полягає в періодичній зміні траєкторії руху формоутворюючого контуру шліфувального ріжучого круга на попередньому і наступному проходах.

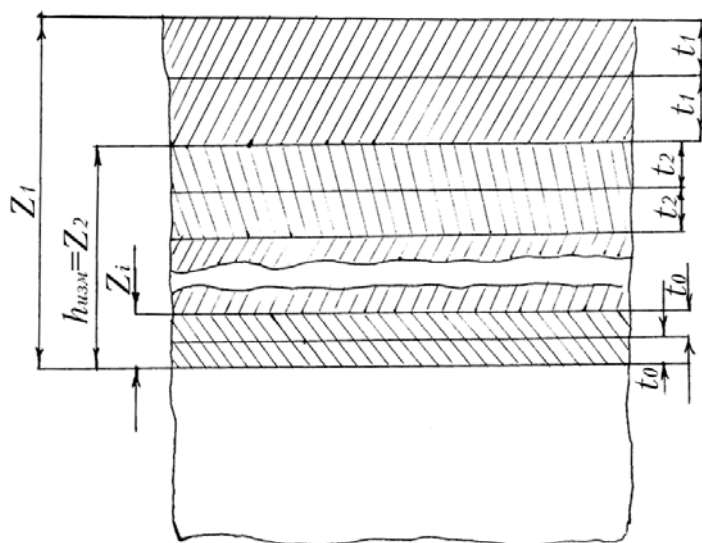


Рис. 6.11. Схема видалення припуску при багатопрохідному шліфуванні.

Для компенсації виникаючих напружень необхідно забезпечити деформацію матеріалу на попередньому і наступному проходах двох взаємно перпендикулярних напружень.

На рис. 6.11 приведена схема видалення припуску при багатопрохідному шліфуванні. z_1 – загальний припуск; z_2 – припуск, що залишився після видалення

першої пари проходів; z_i – припуск, що залишився після видалення $(i-1)$ пари проходів

$$z_i = z_1 - 2(t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_{i-1}).$$

Припуски на обробку z_1, z_2, \dots, z_i повинні бути рівні чи більші глибини шарів, у яких відбулися структурні зміни матеріалу $(h_{з\text{мн}1}, h_{з\text{мн}2}, \dots, h_{з\text{мн}i})$.

У поверхневому шарі оброблюваної деталі шліфувальних дефектів не виникає, якщо виконується наступна рівність:

$$\operatorname{tg} \alpha (t_1 - t_0) = Z_1 - 2t_1. \quad (6.12)$$

Виконуючи рівність (6.12) для кожної наступної пари проходів, загальний вираз для глибини шліфування прийме вигляд

$$t_i = \frac{\left(z_1 - \sum_{i=0}^{m-1} 2t_i \right) + \operatorname{tg} \alpha t_0}{(2 + \operatorname{tg} \alpha)}. \quad (6.13)$$

6.9. ВПЛИВ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МАТЕРІАЛУ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

До деталей машин пред'являються дуже різноманітні вимоги. Одні деталі повинні бути дуже міцними (вали), інші - і міцними і твердими (кульки для підшипників), - пружними (пружини), - стійкими від спрацьовування (шестерні), працюючі при сильному нагріванні (клапани двигунів), повинні зберігати високу міцність при високих температурах, або не повинні піддаватися корозії від безупинного зіткнення з газами і вологою (лопатки газових турбін реактивних двигунів).

У машинобудуванні для виготовлення деталей машин з необхідними фізико-механічними властивостями застосовують метали піддані різним видам термічної обробки.

Речовини, що складаються з одного елемента - металу, називаються металами. Речовини, що складаються з двох чи декількох елементів, з яких один основний, називаються сплавами. Наприклад, звичайна сталь - це сплав, що складається з елемента заліза (металу) і елемента вуглецю (металоїду). Простих металів небагато: їх стільки ж, скільки елементів - металів у таблиці Менделєєва - всього 79. Сплавів же нараховується кілька десятків тисяч. У зв'язку з великою кількістю сплавів і безупинною появою нових, виникає необхідність їх класифікувати.

Найбільш розповсюдженою класифікацією є класифікація за основним елементом: наприклад, залізні сплави, мідні сплави, алюмінієві сплави, магнієві, титанові, нікелеві, цинкові сплави й ін.

За призначенням метали і сплави класифікуються так:

1. Конструкційні сплави загального призначення, з яких виготовляються найрізноманітніші деталі машин: осі, вали, кронштейни, болти, шестерні, пружини й інші деталі.

2. Конструкційні сталі з особливими властивостями: нержавіючі сталі, жароміцні сталі і сплави, антифрикційні (підшипникові) сплави й ін.

3. Інструментальні сплави: інструментальні сталі і тверді сплави.

ГОСТом передбачено сім основних марок інструментальних, високоякісних, вуглецевих сталей: У7А, У8А, У9А, У10А, У11А, У12А и У13А. Буква “У” у позначенні марки сталі вказує на те, що ця сталь вуглецева, число, що стоїть після букви “У”, показує десяті частки відсотка вуглецю в сталі.

Наприклад, у сталі марки У8 міститься 0,8% вуглецю, а в сталі У10 - 1%. Буква “А” показує високоякісну сталь, що відрізняється більш низьким змістом фосфору і сірки (допускається не більш 0,035% фосфору і не більш 0,030% сірки). Чим більше в інструментальній сталі вуглецю, тим вона твердіше, але має більш підвищену крихкість.

Із сталі У7 виготовляють зубила, молотки, штампи, центри токарних верстатів. Із сталі У8 виготовляють штампи для холодного штампування, ножі. Із сталі У10 і У12 виготовляють мітчики, свердла, фрези, планки, розгортки і вимірювальні інструменти: скоби, калібри й ін.

Особливий інтерес серед інструментальних сталей представляють так названі “швидкорізальні” сталі. Ці сталі, у порівнянні з вуглецевими, мають більш високу стійкість перед мимовільним відпуском.

Легуючими елементами швидкорізальних сталей, наприклад, Р18 і Р9, використовують вольфрам, хром, ванадій. Деякі марки швидкорізальних сталей легують також кобальтом. Легуючі елементи, що входять до складу інструментальних сталей, утворюють з вуглецем карбіди: карбіди вольфраму, хрому, ванадію й інших елементів. Подібно цементиту, карбіди, володіючи дуже високою твердістю, додають сталі високу твердість, високу стійкість спрацьовування і високі ріжучі властивості.

Для збільшення продуктивності обробки необхідно, з одного боку, збільшити стійкість ріжучого інструмента, а з іншого - за допомо-

гою термічної обробки поліпшити оброблюваність матеріалу деталі. Оброблюваність сталі в дуже великому ступені залежить від твердості матеріалу деталі. Пластичні матеріали з малою твердістю і, навпаки, сталі, що мають високу твердість, мають погану оброблюваність. Для поліпшення оброблюваності застосовується термічна обробка – нормалізація. При нормалізації заготовки нагріваються до температур порядку 850 – 900 °С, витримуються при цій температурі якийсь час, після чого прохолоджуються на повітрі. Відпал здійснюється аналогічним чином, але заготовка охолоджується разом з пічкою. Нормалізація підвищує пластичність сталі, поліпшує оброблюваність, усуває хімічну неоднорідність і зменшує напруженість. Для підвищення механічних властивостей сталі необхідно насамперед одержати дрібнозернисту будову структури матеріалу. Одержання дрібного зерна - це не завжди достатня, але завжди необхідна умова досягнення високих механічних властивостей матеріалу деталей. Таким чином, сама по собі дрібнозерниста структура не завжди забезпечує високі значення фізико-механічних властивостей. Але сталь із грубозернистою структурою ніколи не має високих механічних властивостей.

Одержання дрібного зерна - це безперервна турбота металургів, ливарів, ковалів, зварників і термістів. Однак у ряді випадків грубозерниста будова структури матеріалу більш бажана. Наприклад, чим крупніше зерно трансформаторної сталі, тим вище її магнітні властивості. Одержання дрібнозернистої структури досягається двома способами:

1. Пластичною деформацією (куванням, прокатом й іншими видами обробки тиском).
2. Термічною обробкою.

Для підвищення твердості і міцності матеріалу застосовують термічну обробку – загартування. При загартуванні заготовку нагрівають до температури, при якій вуглець переходить у твердий розчин, а потім здійснюють швидке охолодження. Щоб визначити рівень нагрівання при загартуванні, необхідно розглянути доєвтектоїдні і заєвтектоїдні сталі (рис. 5.27).

У доєвтектоїдних сталях для одержання структури аустеніту необхідно нагріти заготовку на 30 – 50° вище точки A_3 , тобто вище лінії GSK. При загартуванні заєвтектоїдних сталей досить нагріти заготовку вище точки A_{C1} (тобто на 30 – 50° вище лінії PK). Нагріванням під загартування досягається перехід у твердий розчин вуглецю. При швидкому охолодженні досягається таке переохолодження аустеніту,

при якому вуглець не може вийти з твердого розчину. Така структура переохолодженого аустеніту, що являє собою насильно збережений при кімнатній температурі твердий розчин вуглецю в залозі, називається мартенситом.

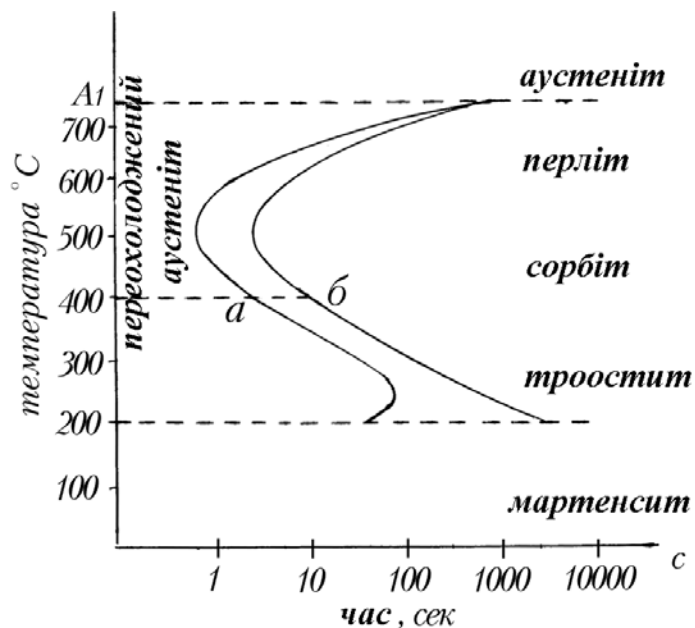


Рис. 6.12. Діаграма ізотермічного перетворення переохолодженого аустеніту сталі У8А.

Мінімальна швидкість охолодження, необхідна для переохолодження аустеніту до утворення мартенситної структури, називається критичною швидкістю загартування. З усіх структур мартенсит має максимальну твердість і міцність, однак він крихкий і має голчасту будову.

Якщо швидкість охолодження сталі менша критичної швидкості загартування, то утворюється

змішана структура мартенситу і мілкодисперсного перліту, що зветься трооститом.

На рис. 6.12 представлена діаграма ізотермічного перетворення переохолодженого аустеніту в сталі У8А. Дотична лінія, проведена до лівої кривої, визначає критичну швидкість охолодження. Це та найменша швидкість, при якій у сталі виходить тільки один мартенсит.

Ліва крива на діаграмі показує початок розпаду переохолодженого аустеніту, а права – кінець розпаду. Проміжок між ними характеризує тривалість розпаду.

Варто звернути увагу, що при температурі 500°C розпад переохолодженого аустеніту починається буквально через одну секунду, а при температурах 700°C чи 300°C стійкість переохолодженого аустеніту досить велика: він не розпадається протягом декількох десятків, а іноді і сотень секунд. Розпад аустеніту при різних температурах супроводжується різною будовою ферито-цементитної суміші. В інтервалі зміни температур 650 – 700°C формується грубозерниста ферито-цементита суміш, названа перітом. При температурах порядку 500°C формується суміш з більш дрібною будовою зерен, що називається сорбітом.

При більш низьких температурах (аж до температури M - точки мартенситного перетворення) виходить дуже дисперсна суміш, на-

звана трооститом). Поверхня деталі, що безпосередньо стикається з охолодженим середовищем, швидко віддає тепло, тобто прохолоджується з великою швидкістю. Відвід тепла з глибинних шарів затруднений. Отже, в міру віддалення шарів від поверхні швидкість їхнього охолодження буде зменшуватися.

Здатність сталі гартуватися на визначену глибину називається прогартованністю. Якщо деталь прогартовується наскрізь, то вона буде мати однорідну структуру й однакові властивості по всьому перетину. Застосування вуглецевих сталей у ряді випадків обмежується тим, що вони, на відміну від легованих сталей, мають малу загартованність. Варто помітити, що чим менша критична швидкість загартування, тим глибша прогартованність сталі.

Для багатьох деталей і інструментів важливо мати високу міцність по всьому перетину, у всьому обсязі. До числа таких деталей варто віднести: пружини, вали, штампи й ін. Для цих деталей потрібна більш глибока прогартованність.

Висока міцність по всьому перетину для багатьох деталей виявляється не тільки зайвою, але навіть шкідливою. Наприклад, бічні поверхні зубів шестерні повинні мати високу твердість, тому що вони працюють на стирання й у той же час глибинні шари матеріалу зубів повинні бути досить в'язкими, тому що при роботі сприймають ударні навантаження. Такі деталі піддаються або високочастотному поверхневому загартуванню, або цементації з наступним загартуванням.

6.10. ХІМІКО-ТЕРМІЧНА ОБРОБКА У СТРУКТУРІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

Деталі невеликих розмірів із твердістю матеріалу $HRC < 35$ піддаються загартуванню перед механічною обробкою.

Деталі великих розмірів із твердістю $HRC < 35$ піддаються загартуванню після чорної обдирної операції. Така послідовність пов'язана з прогартованністю великогабаритних деталей на глибину, порівняну з припуском на чорнову операцію. Якщо загартування зробити в заготовці, то більша частка загартованого шару буде вилучена на чорновій обдирній операції.

Деталі, що мають твердість $HRC \geq 40$ піддаються загартуванню після чистового етапу, тобто після завершення всіх операцій лезв'їйними різальними інструментами. Поверхні деталей, що мають твер-

дість $HRC \geq 60$, гартуються струмами високої частоти чи піддаються місцевій хіміко-термічній обробці: цементації і загартуванню, азотуванню, нітроцементуванню, борируванню.

6.10.1. ЦЕМЕНТАЦІЯ

Цементация проводиться з метою зміни хімічного складу і властивостей поверхневого шару деталі. При цементации відбувається дифузійне насичення поверхневого шару деталі вуглецем. Процес цементации застосовується для деталей, від яких потрібна, поряд із загальною міцністю, висока твердість і стійкість проти спрацьовування поверхні. До таких деталей відносять шестерні, втулки, кулачкові валики і т.п. Якщо виготовити, наприклад, зубчасті колеса з вуглецевих сталей У10, У12, то висока твердість і зносостійкість бічних поверхонь зубів у роботі буде забезпечена. Але при виникненні ударних навантажень відбудеться поломка. Отже, потрібно зробити серцевину коліс більш в'язкою, а бічні поверхні зубів - більш твердими. Таке сполучення фізико-механічних властивостей на деталях можна здійснити, якщо виготовляти їх з маловуглецевих сталей із процентним вмістом вуглецю 0,1 - 0,2 %, а робочі поверхні піддати цементации з наступним об'ємним загартуванням всієї деталі. Якщо треба підвищити міцність деталі, то застосовують леговану сталь з тим же процентним вмістом вуглецю. Потім поверхня деталі насичується вуглецем і проводиться загартування. В результаті поверхня гартується на високу твердість, а серцевина виходить міцною і в'язкою. Товщина науглеводженого шару при цементации змінюється від 0,8 до 2,0 мм, а вміст вуглецю в ньому 0,8 – 1,2%.

6.10.2. АЗОТУВАННЯ

Азотування - процес насичення поверхневого шару деталі азотом. Проникаючи в атомарному стані в деталь, азот утворює з'єднання з елементами, що входять до складу сталі: хромом, ванадієм, титаном, залізом і ін. З'єднання азоту зі складовими сталі називаються нітридами.

Висока твердість азотованного шару пов'язана з високою твердістю нітрідів, що знаходяться в дисперсному стані. Прості вуглецеві сталі мало придатні для азотування, тому що азотований шар в них не має високої твердості і в той же час є надмірно крихким.

Азотовані сталі, що містять нітриди алюмінію, мають найвищі

експлуатаційні показники, і вони не втрачають твердості при нагріванні до температур 600 – 650°C. Оскільки азотований шар сталі має високу стійкість проти спрацьовування, що зберігається при підвищених температурах, то ці сталі раціонально застосовувати для виготовлення гільз циліндрів авіаційних двигунів, колінчатих валів і ін. Азотування має ряд переваг у порівнянні з цементацією: тут не потрібне загартування, процес азотування здійснюється при значно менших температурах (500 – 600°C замість 900 – 950°C).

6.10.3. ЦІАНУВАННЯ

Ціанування - це процес одночасного насичення поверхневого шару деталі вуглецем і азотом. Застосовується для деталей, що працюють в умовах тертя. Зміст вуглецю в ціанованому шарі 0,6 - 0,8%, тобто менший, ніж при цементації, однак стійкість проти спрацьовування його вища завдяки наявності азоту, що утворює нітриди.

Ціанування в порівнянні з цементацією має наступні переваги:

- 1) тривалість процесу в кілька разів менша;
- 2) внаслідок малої витримки при високій температурі не відбувається ріст зерна;
- 3) на поверхні деталі не утвориться окисний шар. Процес протікає при температурі 800 – 850°C на протязі 50 – 45 хв.

Після ціанування деталі піддаються загартуванню. Спеціального нагрівання під загартування не потрібно. Деталь з ціаністої ванни занурюється в гартівний бак. Після загартування необхідний відпуск при температурі 150 – 170°C.

При рідинному ціануванні деталі нагрівають у соляній ванні. До складу ванни входить ціаністий натрій 50 – 55%, кальцієва сода 25 – 30%, поварена сіль 15 – 20%.

Газове ціанування протікає в газовому середовищі, що складається із суміші 70 – 80% цементуючого газу і 20 – 30% аміаку. Газове ціанування, як і рідинне, здійснюється при низьких (550°C) і високих (750 – 900°C) температурах.

6.11. ХІМІЧНА ОБРОБКА ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ

Хімічне нікелювання. Покриття із сплаву нікель-фосфор може бути отримане електрохімічним і хімічним способами. Останній за-

снований на виділенні металів з водних розчинів їхніх солей.

Хімічне нікелювання застосовується для деталей із сталі, чавуна, бронзи, алюмінію і його сплавів. Структура покриття аморфна, метастабільна.

Для збільшення міцності зчеплення нікелево-фосфорного покриття з основним металом проводиться термічна обробка: нагрів до 200°C з витримкою до 2 – 3 годин. Термічна обробка знижує залишкові напруження, що викликають відшаровування покриття від підкладки.

Хімічне нікелювання товщиною 0,1 мм застосовується як захисне антикорозійне покриття деталей, що працюють в агресивних середовищах, наприклад, у середовищі нафтопродуктів (плунжерні пари), так і термостійке покриття для деталей, що працюють в умовах високих температур при терті (клапани двигунів внутрішнього згорання, штовхальники, поршневі кільця і т.д.).

Оксидування. Оксидування – процес штучного утворення окисної плівки на поверхні деталі. Окисна плівка на поверхнях деталей з чорних металів складається з дрібних кристалів магнітного окису заліза Fe_3O_4 і має товщину до 3 мкм, пориста будова і міцне зчеплення з підкладкою (поверхнею деталі). Завдяки структурним особливостям окисна плівка добре утримує змащення, усуває заїдання в парі тертя.

Окисну плівку можна одержати хімічною, електрохімічною, термічною чи термомеханічною обробкою. Хімічна обробка проводиться в лужних і кислотних ваннах при температурі розчину 120 – 150°C тривалістю до 2 годин. Електрохімічна обробка полягає в анодному оксидуванні в гарячих лужних розчинах окислювачів.

Термічне і термохімічне оксидування проводиться шляхом нагрівання виробу в розплавленій селітрі. Інструменти із швидкорізальної сталі, поршневі кільця, штовхальники клапанів і інші оксидують у середовищі водяної пари.

На алюмінії і його сплавах за допомогою анодування одержують плівки товщиною від 0,3 мкм до 0,3 мм. Окисні плівки мають високу твердість і стійкість проти спрацьовування.

Анодування поршнів з алюмінієвих сплавів двигунів внутрішнього згорання підвищує надійність їхньої роботи, зменшує швидкість спрацьовування кільцевих канавок. Є позитивний досвід використання в гідросистемах анодированих циліндрів з алюмінієвих сплавів замість сталевих.

Фосфатування. Фосфатування - процес утворення на поверхні металу плівки нерозчинних фосфорнокислих солей. Фосфатування

здійснюється хімічним способом (у ванні або в струмені розчину) чи електрохімічним. Температура ванни для чорних металів не більша – 90°C . Фосфатна плівка має товщину від 2 до 50 мкм і крупнокристалічну структуру. Жаростійкість плівки $600 - 650^{\circ}\text{C}$, вона стійка в атмосферних умовах і в масляному середовищі, має малу твердість, високорозвинену пористу поверхню і міцно утримує змащення.

Є позитивний досвід фосфатування поршневих кілець двигунів внутрішнього згоряння, циліндричних гільз і втулок великогабаритних двигунів, шатунів і зубчастих коліс. Тонка фосфатна плівка з наступним просоченням її олією захищає від корозії гайки, болти й інші кріпильні елементи. Фосфатне покриття використовується як підшар для дисульфиду молібдену, що збільшує міцність зчеплення й усуває задири на поверхні.

Сульфідкування. Сульфідкування – термохімічний процес обробки виробів, виготовлених із сплавів на залізній основі для збагачення їхніх поверхневих шарів сіркою.

Сульфідкування роблять у рідкому, твердому і газовому сіркомісткому середовищах. У залежності від складу середовища, температурного режиму і тривалості процесу в поверхневому шарі виробу можуть утворюватися сіркомісткі з'єднання Fe, Fe₂, FeSO₄ і ін. Найбільша глибина шару при сульфідванні 0,04 мм. Різновидом сульфідкування є сульфоціанування, при якому відбувається насичення поверхні феросплаву сіркою, азотом і вуглецем.

Сульфоціанування проводять при температурі $540 - 580^{\circ}\text{C}$ з витримкою у ванні від 1 до 3 годин. Сульфідний шар і продукти його зношування, володіючи високою адсорбційною здатністю, прискорюють прироботку і запобігають задирам. Сульфоціанування дозволяє здійснити заміну бронзових тяжконавантажених підшипників на сталеві. Довговічність підшипників збільшується на 30 – 40%. Дослідження показали можливість заміни бронзи сульфоціанованим чавуном у черв'ячних колесах, що працюють при швидкості зачеплення близько 2 м/с.

6.12. ТЕХНОЛОГІЧНІ СПОСОБИ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ПРОТИ СПРАЦЬОВУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ

У задачу технології виготовлення машин входить надання матеріалам і заготовкам заданих властивостей. Проблема розробки і під-

бору матеріалів для виготовлення машин складається з вибору з числа відомих існуючих матеріалів, що задовольняють необхідним умовам роботи, і вишукування нових матеріалів.

Спосіб одержання заготовки має прямий вплив на стійкість проти спрацьовування і загальну міцність отриманих після обробки деталей. Наприклад, орієнтування волокон у матеріалі деталі істотно впливають на її міцність.

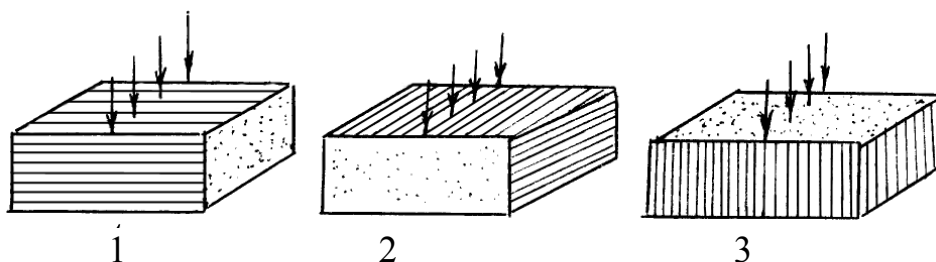


Рис. 6.13. Зразки з волокнистою структурою.

На рис. 6.13 показані прямокутні зразки із сталі ШХ15 [51]. Режими термообробки: загартування при температурі 850°C, відпуск при 150°C.

Волокнистість структури обумовлена карбідною полосоподібністю. Відхилення значень межі міцності при вигині зразків 1, 2, 3 у порядку їхнього зображення на рис. 6.13 складає 1,0; 0,72; 0,56. Послідовність виконання операцій механічної і термічної обробки деталей впливає на їхню стійкість проти спрацьовування.

Встановлено [51], що валки холодної прокатки, оброблені по двох варіантах, мають різну стійкість.

1-й варіант: обточування, загартування з індукційним нагріванням, грубе шліфування, чистове шліфування, полірування до $R_a = 0,16$ мкм.

2-й варіант включає ту ж послідовність всіх операцій, але перед загартуванням введена додаткова операція - шліфування.

Валки, оброблені по 2-му варіанті, мають підвищений опір стомленості, більш однорідну структуру поверхневого шару матеріалу і менший ступінь зниження твердості структури від впливу теплових процесів при шліфуванні.

Дослідження показують, що швидкість спрацьовування напрямних залежить від сполучення методів обробки поверхонь, що сполучаються. Найбільшу стійкість проти спрацьовування мають пари ковзання, у яких нижні напрямні мають наклепування від зміцнення кульками чи роликками, а верхні - оброблені шабруванням чи шліфуван-

ням. Вибір способу обробки здійснюється конструктором разом з технологом. Для збільшення стійкості деталей автомобільних двигунів застосовують антифрикційну безабразивну обробку (АБО).

Сутність даного методу фінішної обробки полягає в нанесенні механічним шляхом тонкого шару латуні, бронзи чи міді, використовуючи при цьому явище переносу металу при терті.

Товщина антифрикційного шару латуні, нанесеного на сталь при АБО, дорівнює 2 – 3 мкм, бронзи і міді – 1 – 2 мкм. Деталі перед АБО піддаються шліфуванню, гострінню, розгортанню чи хонінгуванню. Шорсткість поверхні повинна бути $R_a = 2,5$ мкм.

Поверхню знежирюють і покривають сумішшю, що складається з двох частин гліцерину й однієї частини 10-ти процентного розчину соляної кислоти. У процесі тертя нанесене покриття розпушує окисну плівку на поверхні деталі, пластифікує поверхню мідного сплаву, створює умови для схоплювання міді із сталлю.

Варто помітити, що існує принципова різниця в переносі матеріалу при виборчому переносі і при антифрикційній безабразивній обробці (АБО). При виборчому переносі при терті бронзи з її твердого розчину відбувається сепарація атомів міді. Атоми легуючих елементів, розчиняючись, переходять у мастильний матеріал; атоми міді, з'єднуючись у групи, переходять на сталь. При АБО склад перенесеного металу не відрізняється від вихідного.

Процес нанесення покриття виконується на токарному верстаті. У різцетримачі замість різця закріплюється латунний чи бронзовий стрижень, що з заданим зусиллям притискається до поверхні оброблюваної деталі і переміщується в повздовжньому напрямку з визначеною подачею.

Метод надзвичайно простий, не вимагає складного устаткування, і додає сталевим і чавунним деталям високі антифрикційні властивості. Даний метод АБО застосовується для деталей двигунів внутрішнього згоряння, наприклад, циліндрів і деталей паливної апаратури: золотникові і плунжерні пари. Коефіцієнт тертя знижується в 1,5 рази, стійкість проти спрацьовування зростає в 2 – 3 рази.

6.13. ТЕХНОЛОГІЧНІ МЕТОДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ З ВРАХУВАННЯМ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Підвищення довговічності і надійності роботи деталей і вузлів

машин - одна з головних народногосподарських проблем України.

Підвищити ресурс і надійність роботи деталей можна металургійними, конструкторськими, технологічними й експлуатаційними заходами. Досвід експлуатації машин показує, що найбільш ефективними з них є технологічний напрямок: забезпечення заданої точності й оптимальних параметрів поверхневого шару деталі.

Технологічні методи забезпечення оптимальних параметрів поверхневого шару з врахуванням заданих умов експлуатації можна розділити на наступні три основні групи: методи деформаційного зміцнення, поверхневої термічної обробки й утворення захисних покриттів. Деформаційне зміцнення підвищує опір стомленості.

Термічна і хіміко-термічна поверхнево-зміцнююча обробки (загартування, цементация, алітування, боррування й ін.) за рахунок зміни фізико-хімічного стану матеріалу поверхневого шару підвищують стійкість проти опрацювання, втомну міцність, жаростійкість і ін. Захисні покриття підвищують жаростійкість, стійкість проти спрацювання і опір корозії.

6.13.1. ДЕФОРМАЦІЙНЕ ЗМІЦНЕННЯ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ

Деформаційне зміцнення засноване на статичному і динамічному впливі на поверхневий шар. До числа основних методів деформаційного зміцнення відносяться: гідро- і віброгалтовка, обробка сталевими кульками, що коливаються з ультразвуковою частотою, обкатування роликками і кульками, алмазне вигладжування. Вибір методу деформаційного зміцнення визначається насамперед формою і розмірами деталі.

Гідрогалтовка. Деформаційне зміцнення гідрогалтовкою засноване на механічному впливі робочої суміші (сталевого дробу діаметром 0,6 - 0,8 мм в олії) на оброблювану поверхню при їхньому зіткненні. Наявність масляної плівки створює умови гідравлічного удару і рідинного тертя дробу об поверхню деталі, що сприяє пластичному деформуванню тонкого поверхневого шару при збереженні необхідної шорсткості поверхні. Режим зміцнення гідрогалтовкою визначається експериментально. Він залежить від багатьох факторів: матеріалу деталі, температури нагрівання її в умовах експлуатації, розмірів і форми деталі й ін. Наприклад, лопатки із сплаву ВТЗ-1 ротора компресора обробляють з частотою обертання ротора (дробоструйного ко-

леса) 150 об/хв. Тривалість обробки 30 хв.

Після зміцнення оброблена поверхня має шорсткість $R_a = 0,6 - 0,15$ мкм, ступінь наклепування 20%.

Віброгалтовка. Віброгалтовка проводиться на інерційних дисбалансних установках, у яких робоча камера з оброблюваними деталями робить коливальні рухи в трьох чи двох напрямках. При наявності коливальних рухів із заданою частотою, сталеві кульки, вдаряючись об поверхню деталі, пластично деформують поверхневий шар і згладжують нерівності.

Режими віброгалтовки і тривалість обробки залежать від матеріалу і технологічних вимог, пропонованих до поверхні деталі. Наприклад, лопатки із сталі EI 9961 обробляються на режимі: амплітуда коливань – вертикальна 2,9 – 3,6 мм, бічна – 1,0 – 1,1 мм, осьова – 0,1 – 0,15 мм; частота коливань 20 – 30 Гц; тривалість обробки – 2,5 – 3 години.

Щогодини проводиться реверсування електродвигуна вібратора. У бункері віброгалтовочної установки міститься до 200 лопаток довжиною до 70 – 80 мм. Після віброгалтовки шорсткість поверхні дорівнює $R_a = 0,25 - 0,125$ мкм.

Алмазне вигладжування. Вигладжування є одним з методів оброблювально-зміцнюючої обробки поверхні пластичним деформуванням і полягає в пластичному деформуванні оброблюваної поверхні ковзним по ній алмазним кристалом, закріпленим на оправці. При обробці нерівності, що залишилися від попередньої обробки, згладжуються частково чи цілком, підвищується твердість і в поверхневому шарі створюються стискаючі напруження.

Особливістю алмазного вигладжування, на відміну від методу обкатування поверхні роликком чи кулькою, є застосування як деформуючого елементу алмаза, що має надзвичайно високу твердість і низький коефіцієнт тертя по металу. Цей метод дозволяє обробляти всі метали, що піддаються пластичній деформації, - як м'які, так і загартовані до твердості HRC 60 - 65. Малий радіус заокруглення інструмента (0,75 - 4 мм) здійснює вигладжування при малих зусиллях притискання алмаза до деталі (5 - 20 кГс).

Основними параметрами процесу вигладжування, що впливають на якість поверхневого шару, є швидкість деформування і частота прикладання навантаження до кожної точки оброблюваної поверхні. Середній тиск на площадку контакту, що визначає напружений стан поверхневого шару, залежить від розмірів робочої частини інстру-

мента, глибини його впровадження в оброблювану поверхню і фізико-механічних властивостей матеріалу.

Ступінь деформування залежить від швидкості руху інструмента щодо деталі і кількості навантаження кожної точки оброблюваної поверхні при вигладжуванні.

Алмазне вигладжування широко застосовується в промисловості при обробці зовнішніх і внутрішніх циліндричних поверхонь з металів і сплавів, що піддаються пластичній деформації в холодному стані (загартовані і незагартовані сталі, кольорові метали, хромовані, нікельовані й інші деталі). Виключенням є деталі з титану, цирконію і ніобію, при вигладжуванні яких спостерігається інтенсивне адгезійне схоплювання з алмазним інструментом.

Крихкість алмаза обмежує область застосування процесу вигладжування для зміцнення переривчастих поверхонь, наприклад, деталей із шпонковими канавками, шліцами, поперечними отворами і т.д. Переривчастість процесу супроводжується динамічним ударом, що викликає відкол на робочій поверхні алмаза. Затруднено вигладжування циліндричних поверхонь з упором в торець.

Вигладжування проводять на токарних, токарно-гвинторізних, розточувальних, алмазно-розточувальних, стругальних, вертикально-фрезерних і агрегатних з підвищеною точністю верстатах. При вигладжуванні звертають особливу увагу на величину радіального биття шпинделя (не більш 0,01 – 0,02 мм).

Вигладжування проводять при швидкості 150 – 200 м/хв з рясною подачею мастильно-охолоджуючої рідини.

Вигладжені поверхні відрізняються дзеркальним блиском, мікротвердість збільшується, наприклад, калібрів із сталі У10А з $H_{100}=8320$ МПа до $H_{100}=12000$ МПа, підвищується зносостійкість калібрів, шорсткість поверхні зменшується до $R_a=0,063\div 0,8$ мкм при вихідній шорсткості до вигладжування $R_a=0,5\div 0,25$ мкм.

6.13.2. ПОВЕРХНЕВО-ТЕРМІЧНА ОБРОБКА

Поверхнево-термічна обробка підвищує стійкість проти спрацювання і втомну міцність сталевих деталей.

Метод полягає в інтенсивному нагріванні поверхневого шару до температури загартування і різкому наступному охолодженні. У результаті такої обробки відбувається загартування тільки поверхневих шарів. Нагрівання поверхневого шару здійснюється струмами високої

частоти СВЧ.

Загартування СВЧ забезпечує більш високу поверхневу твердість у порівнянні з іншими методами загартування. Висока швидкість нагрівання при загартуванні СВЧ не викликає появи на поверхні окисного шару. В обсязі зміцненого поверхневого шару формується мілкоголкоподібний мартенсит.

6.13.3. ДИФУЗІЙНІ ПОКРИТТЯ

Дифузійне насичення металів і сплавів різними елементами змінює фізико-хімічний стан і напруженість поверхневого шару деталей. Змінюються хімічний і фазовий склад, структура, властивості, залишкові напруження, електродний потенціал. Процес дифузійного насичення металу розділяється на три стадії: утворення активних атомів, адсорбція атомів, дифузія атомів. Утворення активних атомів відбувається в результаті дисоціації газоподібних з'єднань елемента, який насичується.

Дифузійне насичення поверхневого шару металу залежить від стану кристалічної структури поверхні деталі. Дифузія виникає тоді, коли атоми (іони) речовини, переміщаючись в кристалічних ґратах розчинника, утворюють з ним твердий розчин. Механізм дифузії передбачає наявність у кристалічних ґратах металу недосконалостей (вакантних вузлів чи дірок). Виникнення атомних дірок пояснюється безупинними тепловими коливаннями атомів і зіткненнями їх з іншими атомами.

Розрізняють наступні основні методи дифузійного насичення: твердофазний, рідкофазний, газовий і парофазний методи.

Твердофазний метод дифузійного насичення здійснюється контактним способом. Частки порошку дифундууючої речовини знаходяться в контакті з поверхнею деталі. Цим методом насичують поверхні деталі тугоплавкими металами (молібденом, вольфрамом, ніобієм, хромом, танталом).

Дифузійне насичення здійснюється в такий спосіб: на поверхню деталі наносять покриття (електролітичним осадженням чи напилюванням), а потім здійснюють відпал.

Газовий метод насичення заснований на взаємодії газової фази, що містить дифундууючий елемент у складі хімічної сполуки, з поверхнею металу, що насичується. Активною газовою фазою служать звичайно галогени дифундууючих елементів.

Парофазний метод насичення заснований на взаємодії пари дифундуючого елемента з металом при нагріванні. Щоб уникнути окислювання парофазне насичення проводять у захисному середовищі (азот, водень, аргон) чи у вакуумі.

6.13.4. ПОКРИТТЯ НАПИЛЮВАННЯМ

Напилювати покриття на поверхню деталі можна різними методами. У залежності від джерела енергії, що використовується для розпилення напилюваного матеріалу, розрізняють газовогнянні й електричні методи напилювання. При газовогнянному напилюванні використовується теплота, що виділяється при горінні суміші пального газу з киснем. Однієї з різновидів газовогнянного напилювання є детонаційне напилювання, при якому використовується енергія детонації суміші ацетилену з киснем. З електричних методів напилювання використовують електродугове, плазмове і високочастотне індукційне.

Газовогнянне напилювання. У залежності від складу напилюемого матеріалу розрізняють два види газовогнянного напилювання: дрогове і порошкове. При порошковому напилюванні наплавляемий матеріал надходить у палиник зверху з бункера через отвір, розганяється потоком транспортуючого газу (суміш кисень – палиний газ) і на виході із сопла попадає в полум'я (рис. 6.14).

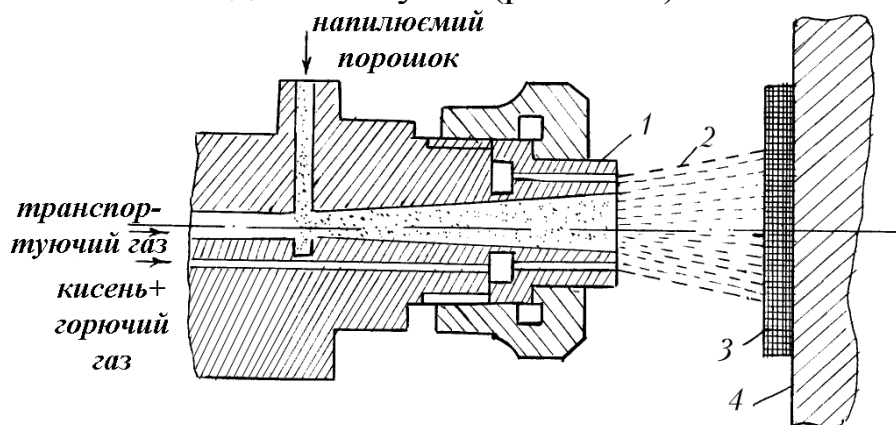
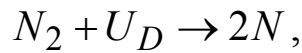


Рис. 6.14. Газовогнянне напилювання паром нового матеріалу: 1 – сопло; 2 – смолоскип; 3 – покриття; 4 – підкладка.

Захоплюючи струменем пального газу розпиленні частки порошку попадають на напилюєму поверхню. У дрогових палиниках, як і в порошкових, подача напилюваного матеріалу в полум'я і розгін розплавлених часток, що утворюються, здійснюються струменем стиснутого повітря. Як палиний газ використовують ацетилен, пропан, водень і ін. Температура полум'я палиника не перевищує 2900°С.

Плазмове напилювання. Плазмове напилювання - перспективний метод покриття. Якщо нагріти газ, молекули якого складаються з декількох атомів, до температури 1000°K , то відбудеться руйнування молекулярних зв'язків і газ перейде в атомарний стан. Цей процес називається дисоціацією. Зміни, що відбуваються при цьому, наприклад для азоту, можна представити у вигляді



де U_D – енергія дисоціації в електронвольтах еВ.

При подальшому підвищенні температури від атомів відокремлюються електрони і відбувається його іонізація.

Газ, у якому значна частина атомів і молекул іонізована і концентрація електронів і негативних іонів дорівнює концентрації позитивних іонів, називається плазмою. Плазма має високу електропровідність. Найбільш розповсюдженими плазмостворюючими газами є аргон, азот, водень, гелій. Параметри цих газів наведені в табл. 6.6.

Таблиця 6.6. Параметри плазмостворюючих газів

Газ	Підведена потужність до пальника, кВт	Напруга на дузі, В	Температура плазми, °К
Азот	60	65	7470
Водень	62	120	5270
Гелій	50	47	20270
Аргон	48	40	14270

Плазмовий струмінь на виході із сопла вогняного пальника має кілька тисяч градусів ($7000 - 20000^{\circ}\text{C}$). Такої температури досить для розплавлення будь-якої твердої речовини.

Для одержання плазми використовують два типи головок (плазмотронів): плазмодугові і плазменно-струйні. У плазмодуговому пальнику (рис. 6.15, а) електрична дуга горить між анодом, яким є оброблюваний матеріал, і катодом, виготовленим з вольфраму.

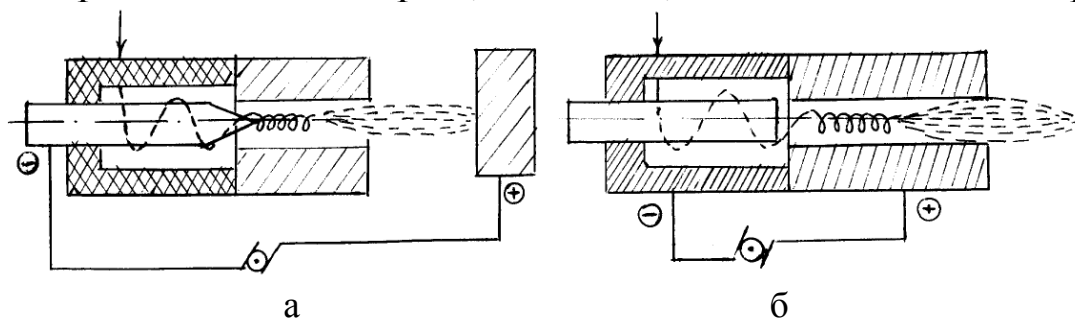


Рис. 6.15. Плазменно-дугові (а), плазменно-струйні (б) головки.

Дугу стабілізує закручений потік робочого (плазмостворюючо-

го) газу. У плазменно-струйній головці (рис. 6.15, б) дуга утвориться між вольфрамовим катодом і анодом, яким є мідне сопло, охолоджуване водою. Дуга нагріває до високої температури робочий газ, який подається із закрученням у камеру пальника. Газ виходить із сопла у виді плазмової дуги з температурою 7000 – 20000⁰С.

Під впливом такої температури відбувається розплавлювання напилюваної речовини. Плазмове покриття має гарне зчеплення напилюваного порошку з підкладкою і високою щільністю. Однак процес плазмового напилювання має порівняно низьку продуктивність, високу собівартість, супроводжується шумом і сильним ультрафіолетовим випромінюванням.

РОЗДІЛ 7

ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

7.1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Основною метою технологічного процесу є забезпечення заданих характеристик якості виробів найбільш продуктивним шляхом при мінімальних витратах. Звідси виникає необхідність у визначенні двох головних критеріїв оптимальності: максимальної продуктивності і мінімальної собівартості.

Однак варто мати на увазі, що оптимальний технологічний процес - це не ідеальний, котрий задовольняє умовам оптимальності всіх шуканих параметрів, а найкращий тільки по одному чи по двох критеріях оптимальності. Наприклад, потрібно забезпечити максимальну продуктивність, чи мінімальну витрату матеріалу, чи найвищу точність обробки і т.д. Тому при проектуванні нової технології необхідно чітко визначитися з вибором критерію оптимальності. Критерій оптимальності повинен враховувати специфіку підприємства, умови виробництва і задачі, що ставляться перед ним.

Наприклад, якщо завод має труднощі з виготовленням ріжучого і вимірювального інструмента, то як критерій оптимальності на перший план виступає мінімум витрат на інструменти.

Критерій оптимальності представляється у виді функції, що називають функцією мети чи цільовою функцією.

Розрізняють два види оптимізації технологічних процесів: структурну і параметричну.

Структурна оптимізація характеризує вибір оптимальної структури технологічного процесу. Наприклад, вибір оптимального маршруту обробки чи вибір оптимальної конфігурації заготовки, типу устаткування і т.д. Параметрична оптимізація забезпечує одержання оптимальних технологічних параметрів. Наприклад, визначення режимів різання, стійкості інструмента, допусків на міжопераційні розміри і т.д.

Любий технологічний процес представляє структуру, що складається з окремих блоків і зв'язків між ними. Під структурою розуміється не будь-яке сполучення блоків і зв'язків, а тільки та частина з них, що забезпечує виконання необхідної функції. Процес створення структури і визначення параметрів об'єкта в загальному випадку є процесом керування. У свою чергу, оптимізація як метод керування технологічним процесом може бути кількісною і якісною. Якісна оптимізація заснована на суб'єктивному досвіді, здоровому глузді, логічному аналізі типових рішень і довідкових даних. Поняття якісної оптимізації є умовним, тому що будь-яке рішення можна представити кількісно (наприклад, шляхом визначення собівартості порівнюваних варіантів).

При проектуванні технології в ряді випадків виникає необхідність розв'язку цілого ряду задач, що не піддаються аналітичному розрахунку. Наприклад, вибір схеми базування, вибір устаткування, призначення послідовності видалення припуску і т.д., причому ці задачі мають також безліч варіантів розв'язку. Оптимальний зміст операції залежить від числа переходів, методів налагодження верстатів, числа підналагоджень, технологічної можливості устаткування й оснащення і т.д.

При формуванні структури операції необхідно:

- упорядкувати загальну сукупність переходів;
- визначити місце термічної обробки;
- мінімізувати кількість встановлень і холостих рухів інструмента;
- на кожен перехід призначити припуски і допуски на розміри оброблюваних поверхонь і фактичні глибини різання;
- для кожного переходу встановити частоту обертання шпинделя і величину подачі, що забезпечують необхідну точність і шорсткість поверхні.

Оптимізація технологічних параметрів може виконуватися в детермінованій (статичній) постановці, тобто при постійних значеннях усіх вхідних у модель параметрів і в стахостичній (динамічній) постановці з врахуванням ймовірності зміни цільової функції. Наприклад, відомо, що при розробці операції шліфування в детермінованій (статичній) постановці при постійних значеннях усіх вхідних у математичну модель параметрів надійність цільової функції досягає рівня довірчої ймовірності не більше 0,5 - 0,6. При цьому спостерігається значна ймовірність відмов, тобто невиконання обмежень по стійкості ріжучої здатності інструментів, точності шорсткості оброблених поверхонь і т.д. Для підвищення надійності протікання операції шліфу-

вання потрібна діагностика і застосування додаткової (внутрішньої) оптимізації на етапі здійснення операції, тобто при обробці.

Величина теплової деформації ходового гвинта при шліфуванні різьб визначається по детермінованій моделі. Вона повинна бути зіставлена з величиною, заміряною давачем наприкінці проходу. Виявлене при цьому розходження повинно бути використано для корекції математичної моделі, тобто на підставі отриманої різниці розрахункових і експериментальних значень деформації ходового гвинта повинна бути внесена корекція в розрахункову формулу для визначення теплової деформації на наступних проходах.

На етапі проектування оптимізація здійснюється на основі розрахунково-аналітичних залежностей. На етапі обробки фактичні показники в ряді випадків відрізняються від розрахункових. Така невідповідність пов'язана з тим, що на етапі проектування неможливо врахувати індивідуальні особливості оброблюваних деталей.

Для усунення зазначеного недоліку необхідно поширити (продовжити) оптимізацію на етапі обробки у формі додаткових інформаційно-регулюючих впливів на процес. Термін “інформаційно-регулюючий вплив” означає, що даний вплив обумовлений інформацією про поточний (фактичний) і необхідний (заданий) стани процесу. Отже, для оптимізації процесу варто застосовувати системний підхід CAD (CAM) (Computer Aided Development, Machining and Training).

Сутність даного підходу й оптимізації технологічних процесів полягає в тому, що при відомому маршруті обробки, етапи розробки (CAD) і реалізації операції (CAM) розглядаються як послідовні етапи попереднього (CAD) і остаточного (CAM) керування процесом, причому на етапі розробки вирішуються задачі визначення параметрів і умов обробки, що забезпечують найбільшу продуктивність і необхідну якість, а на етапі реалізації вирішуються задачі стабілізації цих параметрів з врахуванням індивідуальних особливостей кожної деталі, які забезпечуються на додатковому етапі керування CAT (Computer Aided Training), де CAT - автоматизоване навчання (Training) технологічної системи обробки [30].

Дана методологія створення інтегрованих технологічних систем вимагає розробки математичних моделей, що повинні використовуватися при проектуванні, діагностиці і регулюванні процесів механообробки.

Методологія проектування сучасних інтегрованих виробничих систем повинна бути заснована на загальній теорії керування, відпо-

відно до якої керування на основі поставленої мети є необхідним багатостадійним процесом наближення до мети. Для організації керування (менеджменту) потрібно розробити (чи використовувати наявну) інформаційну (математичну) модель, що враховує конструкторські, технологічні, організаційні й економічні властивості об'єкта. Нарешті, потрібно розробити й оптимізувати алгоритм функціонування об'єкта керування, який дозволяє забезпечити досягнення поставленої мети з мінімальними продуктивними витратами для конкретних виробничих умов.

Сформульована в такий спосіб задача керування повинна розв'язуватися в ітераційному режимі з перевіркою можливості досягнення поставленої мети і з оцінкою відповідних виробничих витрат. У випадку зміни параметрів чи номенклатури виробів, що випускаються, змінюються вихідні дані на вході оптимізаційної моделі. В ітераційному режимі здійснюється перевірка змін параметрів у всіх підсистемах інформаційної моделі виробництва. Інформаційна модель відбиває структуру підприємства. Вона містить усі необхідні підсистеми, наприклад, технологічне проектування, розмірний аналіз, розрахунок режимів різання, нормування технологічних процесів, розрахунок виробничого персоналу, витрат виробництва, собівартості продукції і т.д.

Перевірка змін параметрів у підсистемах інформаційної моделі дозволяє приймати оперативні рішення про випуск конкурентоздатної продукції на самому ранньому етапі її життєвого циклу – етапі маркетингових досліджень.

7.2. СКЛАДАННЯ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТА І АЛГОРИТМУ ОПТИМІЗАЦІЇ

Слово “модель” міцно увійшло в наш лексикон. Моделі поділяють на фізичні й абстрактні.

Фізичні моделі створюються із сукупності матеріальних об'єктів. До фізичних моделей можна віднести, наприклад, макет машини, приладу. Однак фізичні моделі мають обмежену сферу застосування, тому що для багатьох явищ і процесів їх неможливо побудувати.

Абстрактні моделі представляються у виді словесного опису, креслення, схеми, таблиці, чи алгоритму математичної залежності. Будь-яка модель описує модельований об'єкт із визначеними допущеннями. Модель не може бути абсолютно адекватною об'єкту.

Усі результати, отримані на моделі, цілком і повністю відносяться тільки до самої моделі.

Модель - це не точна копія об'єкта, а відображення тільки визначеної частини її властивостей, тому в залежності від мети моделювання той самий об'єкт може мати різні моделі. Якщо в математичну модель включити багато зайвих властивостей, що характеризують об'єкт, то одержимо дуже складну систему рівнянь з великою кількістю невідомих параметрів і невідомих функцій. Навпаки, якщо прийняти занадто просту математичну модель, то в підсумку розв'язування знайдемо, що вона не розкриває повною мірою явище, яке задовольняє поставленим умовам. Отже, при одержанні оптимальних рішень треба відокремити головні властивості об'єкта від другорядних і використати їх при моделюванні, а другорядними властивостями знехтувати. Однак відділення головних властивостей об'єкта від другорядних і розробка математичної моделі - це мистецтво і творчість, які вимагають високих знань об'єкта й особистих здібностей технолога.

Структура математичної моделі містить цільову функцію (ЦФ), граничні умови (ГрУ) і обмеження (ОБМ).

Як приклад розглянемо математичну модель для визначення оптимальних режимів при токарній обробці з врахуванням обмежень і граничних умов.

Величина машинного часу t_p визначається з формули

$$t_p = \frac{L}{nS}. \quad (7.1)$$

Приймаючи машинний час як цільову функцію, одержимо

$$\min t_p = \frac{L}{nS} \rightarrow \max (F > nS). \quad (\text{ЦФ})$$

Обмеження по ріжучій здатності потужності привода головного руху і продуктивності

$$\left\{ \begin{array}{l} nS^y \leq \frac{1000 \cdot C_v}{\pi T_n^m t^{x_v}} \text{ (ріжуча здатність)} \\ n^{z_p+1} S^{y_p} \leq \frac{6120 \cdot 10^{3(z_p+1)} N_{\partial \delta} \eta}{C_p (\pi D)^{z_p+1} k_p t^{x_p}} \text{ (потужність привода) (ОБМ)} \\ nS \geq \frac{nl_p}{60 \cdot k_3 n_{\partial} - t_{\partial} \Pi} \text{ (продуктивність)}. \end{array} \right.$$

Граничні значення частоти обертання шпинделя і повздовжньої

подачі

$$\begin{cases} n_{min} \leq n \leq n_{max} \\ S_{min} \leq S \leq S_{max} \end{cases}, \quad (\text{ГРУ})$$

де n - частота обертання шпинделя і S - повздовжня подача (параметри оптимізації); T_n - нормативна стійкість інструмента; D - діаметр оброблюваної деталі; t - глибина різання; C_v і C_p - постійні коефіцієнти; l_p - виліт різця; k_z - коефіцієнт завантаження устаткування; n_d - число одночасно оброблюваних деталей; Π - задана продуктивність; t_p - машинний час; L - шлях різця; t_e - допоміжний час; N_{de} - потужність привода головного руху верстата; η - ККД привода.

Система обмежень (ОБМ) і функція мети (ЦФ) у математичній моделі [28] нелінійні. Якщо праві частини в нерівностях обмежень позначити буквою P з відповідним індексом і представити систему обмежень і функцію мети в логарифмічних координатах, то розв'язок задачі оптимізації математичної моделі [28] істотно спроститься.

Умови оптимізації в новій постановці мають вигляд

$$\begin{aligned} F_1 &= l_n F = \alpha + \beta \rightarrow \max; \\ \alpha &= l_n S; \quad \beta = l_n n; \\ \beta + y\alpha &\leq l_n P_{pc}; \\ (z_p + 1)\beta + y_p \alpha &< l_n P_{M.C}; \\ \beta + \alpha &\geq l_n P_p; \\ \alpha_{min} &\leq \alpha \leq \alpha_{max}; \quad \beta_{min} \leq \beta \leq \beta_{max}. \end{aligned} \quad (7.2)$$

Зона допустимих значень параметрів оптимізації представлена на рис. 7.1 [31].

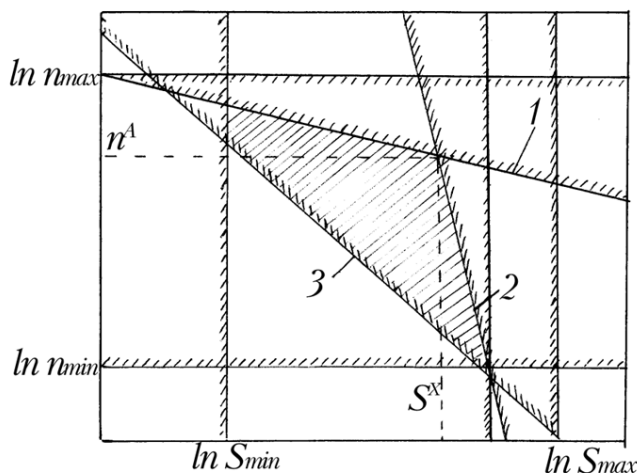


Рис. 7.1. Зона допустимих значень параметрів оптимізації.

Максимум цільової функції знаходиться у вершині заштрихованого багатокутника найбільш віддаленої від початку координат $n^x s^x$.

При проектуванні технологічних процесів аналогічним чином з використанням лінійного програмування розв'язуються інші оптимізаційні задачі, наприклад, ви-

значення оптимальної геометрії ріжучих інструментів, розподіл припуску по проходам, оптимальне завантаження устаткування і т.д.

Якщо модель описує залежність між вихідними даними і шуканими величинами, то алгоритм оптимізації являє собою послідовність дій, які треба виконати, щоб перейти від вихідних даних до шуканих величин. Алгоритм може бути записаний у словесній формі, тобто у вигляді опису необхідних дій чи формул, які визначають послідовність виконання рішень.

Найбільш зручної формою запису алгоритму є блок-схема. Вона не тільки наочно описує алгоритм, але є основою для складання програми на ЕОМ. Алгоритми і програми поєднуються “математичним забезпеченням”, яке дозволяє розв’язувати технологічні задачі. У сучасних ЕОМ застосовуються пакети прикладних програм (ППП).

Пакет прикладних програм – це об’єднанні моделі, алгоритми і програми, які дозволяють розв’язати конкретну технологічну задачу.

7.3. ПОШУК ОПТИМАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РОЗВ’ЯЗКІВ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

Значна частина технологічних оптимізаційних задач розв’язується з використанням лінійного програмування. При цьому в математичних моделях параметри звичайно мають строго визначені значення. Однак на практиці сталість параметрів на визначеному тимчасовому інтервалі спостерігається дуже рідко. Наприклад, сказати точно, скільки ресурсів протягом планованого періоду буде потрібно чи визначити відсоток бракованих деталей неможливо, тому що ці показники залежать від безлічі різних факторів, які визначити заздалегідь дуже важко.

В реальних умовах вхідні в математичну модель величини залежать від ряду випадкових факторів і не можуть бути задані однозначно. Тому, з одного боку, об’єктивно існує невизначеність, а з іншої – технолог повинен приймати конкретні рішення. Насамперед - треба знайти міру для оцінки випадковості. Ця проблема є предметом спеціальної науки - теорії ймовірності. Щоб використовувати теорію ймовірності для прийняття оптимальних рішень в умовах невизначеності, необхідно навчитися оцінювати випадковість числом, тобто вимірювати випадковість.

Чисельну міру можливості появи випадкової події називають ймовірністю. Ймовірність події А визначається дробом

$$P(A) = \frac{m}{n},$$

де m – число ймовірних подій; n – загальне число подій.

Закон розподілу встановлює зв'язок між можливими значеннями випадкових величин і ймовірностями їхньої появи. Для визначення, наприклад, налагодження верстата, що забезпечує мінімальну кількість поправного браку, найбільш кращим є закон нормального розподілу розмірів. Рівняння кривої нормального розподілу розмірів має вигляд

$$Y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x_i - \bar{x})^2}{2\sigma^2}}. \quad (7.3)$$

Криві, що характеризують закон нормального розподілу, представлені на рис. 7.2.

Середнє арифметичне значення \bar{x} характеризує положення центра групування розмірів. Крива асимптотично наближається до осі абсцис. Площа, обмежена кривою Гауса і віссю X (рис. 7.2, а), дорівнює одиниці і визначає 100% всіх оброблених деталей в партії.

У тих випадках, коли поле розсіювання розмірів на даній операції більше допуску $6\sigma > T$, умова роботи без браку неможлива.

Площі заштрихованих ділянок характеризують кількість деталей, розміри яких виходять за межі поля допуску на виготовлення (рис. 7.2, б, в). Для визначення кількості придатних деталей необхідно знайти площу, обмежену кривою Гауса і віссю абсцис X у межах допуску на виготовлення.

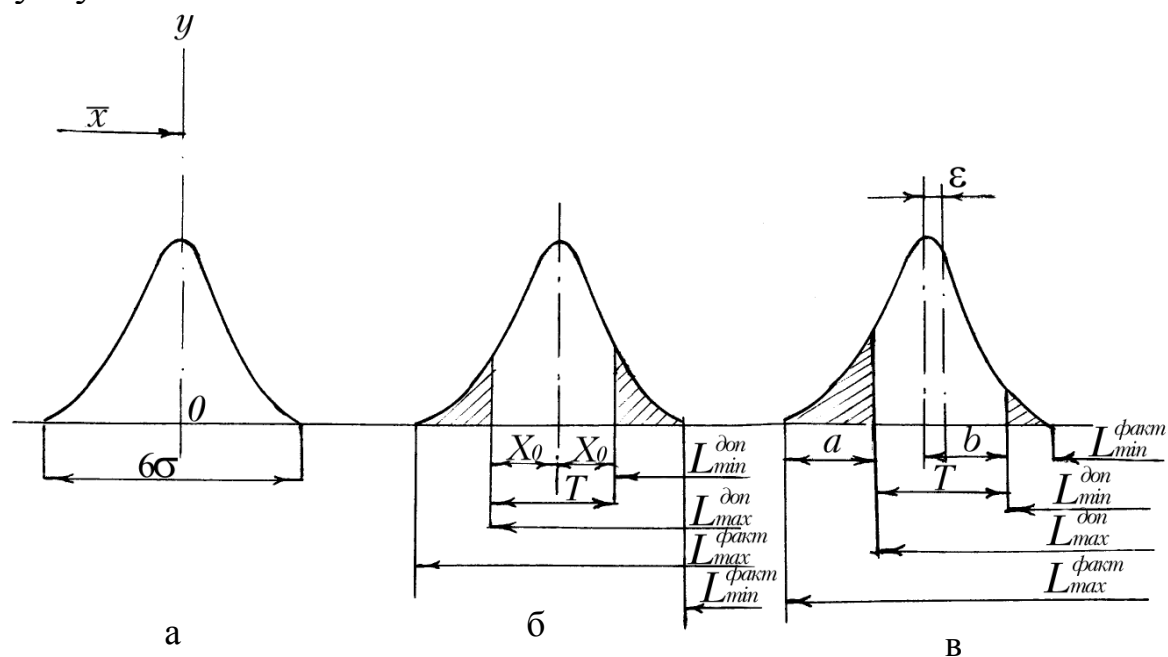


Рис. 7.2. Криві розсіювання розмірів.

При симетричному розташуванні полю розсіювання розміру відносно полю допуску, тобто коли координата центра групування розмірів \bar{x} збігається із серединою полю допуску на виготовлення, варто знайти подвоєне значення функції Лапласа, яку описує площа, обмежену кривої Гаусса й абсцисою x_0 .

$$\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt. \quad (7.4)$$

Значення цієї функції табульовані в залежності від величини нормованого параметра розподілу (чи коефіцієнта ризику), що визначається виразом

$$t = \frac{L - L_{cp}}{\sigma} = \frac{x_0}{\sigma}. \quad (7.5)$$

Із збільшенням параметра t зростає кількість придатних деталей і зменшується відсоток очікуваного браку.

На конкретному прикладі ($\sigma=0,025$ мм, $T=0,1$ мм, $E=0$) визначимо відсоток поправного і непоправного браку (рис. 7.2, б).

1. Визначаємо параметр $t = \frac{x_0}{\sigma}$, $t = \frac{T}{2\sigma} = 2$.

2. З табл. (додаток 1) знайдемо функцію Лапласа $\Phi(t) = 0,4772$.

3. Відсоток поправного браку дорівнює $P = 50 - 47,72 = 2,28\%$.

При зсуві центра групування розмірів щодо середини поля допуску на величину $E=0,02$ мм, відсоток поправного браку зростає (рис. 7.2, в).

Параметр $t = \frac{T/2 - \xi}{\sigma} = \frac{0,05 - 0,02}{0,025} = 1,2$. З табл. (додаток 1)

функція Лапласа дорівнює $\Phi(t) = 0,3849$. Відсоток поправного браку $P = 50 - 38,49 = 11,51\%$.

З аналізу наведених даних видно, що на верстатах, налагоджених на розмір, налагодження верстата впливає на кількість бракованих деталей. При збігу центра групування розмірів із серединою поля допуску кількість бракованих деталей, що вимагають доробки, дорівнює 2,28%.

При зсуві центра групування розмірів від середини поля допуску на величину $E=0,02$ мм кількість бракованих деталей, що вимагають доробки, зростає до 11,77%.

Собівартість витрат на додаткову доробку бракованих деталей з врахуванням вартості остаточно бракованих деталей залежить від на-

прямку і величини зсуву центра групування розмірів від середини поля допуску $\pm E$ (рис. 7.2, в).

Технологічну собівартість витрат від кількості бракованих деталей можна представити у вигляді

$$C = \varphi_1 p_1 + \varphi_2 p_2, \quad (7.6)$$

де φ_1 – вартість одного відсотка деталей, підданих додатковій доробці (поправний брак); p_1 – відсоток поправного браку; φ_2 – вартість одного відсотка деталей непоправного браку; p_2 – відсоток непоправного браку.

Приймаючи 1% остаточно бракованих деталей $\varphi_2=100$ од, а вартість 1% деталей, що вимагають додаткової доробки $\varphi_1=10$ од., визначимо технологічну собівартість витрат для наступних умов обробки: $\sigma=0,025$ мм, $T=0,1$ мм, $E_1=0$, $E_2=0,005$ мм, $E_3=0,01$ мм, $E_4=0,015$ мм, $E_5=0,018$ мм, $E_6=0,02$ мм, $E_7=0,025$ мм.

Результати розрахунку наведені в табл. 7.1.

Таблиця 7.1

Величина зсуву E , мм	0,0	0,005	0,01	0,015	0,018	0,02	0,025
Відсоток поправного браку $p_1, \%$	2,28	3,59	5,48	8,85	10,9	11,51	15,87
Відсоток непоправного браку $p_2, \%$	2,28	1,49	0,82	0,47	0,37	0,26	0,135
Технологічна собівартість умовних одиниць	250,8	144,9	136,8	135,5	137,0	141,1	171,8

З наведених у табл. 7.1 даних видно, що найкращим варіантом обробки (який має найменшу технологічну собівартість) є варіант налагодження верстата з величиною зсуву центра групування розмірів від середини поля допуску на величину $E=0,015$ мм. Отриманий найкращий варіант $E=0,015$ мм є раціональним, але не оптимальним. Оптимальний варіант може бути знайдений у результаті оптимізації функції (7.6).

Для складання математичної моделі необхідно сформулювати змістовну постановку задачі.

Наприклад, потрібно знайти таку величину зсуву центра групування розмірів від середини поля допуску, при якій технологічна собівартість операції буде мінімальною.

$$F = p_1 \varphi_1 + p_2 \varphi_2 \rightarrow \min,$$

$$p_i = 0,5 - \Phi(t) = 0,5 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt, \quad (i=1,2),$$

$$t_1 = \Phi\left(\frac{0,5 + \varepsilon}{\sigma}\right), t_2 = \frac{0,5 - \varepsilon}{\sigma}, \quad 0 \leq \varepsilon \leq \frac{T}{2},$$

$$F = \left(0,5 - \Phi\left(\frac{0,5T + \varepsilon}{\sigma}\right)\right) \times \varphi_2 + \left(0,5 - \Phi\left(\frac{0,5T - \varepsilon}{\sigma}\right)\right) \times \varphi_1. \quad (7.7)$$

Похідна цільової функції

$$F = \varphi_2 \frac{d\Phi\left[\frac{0,5 + \xi}{\sigma}\right]}{d\xi} + \varphi_1 \frac{d\Phi\left[\frac{0,5 - \xi}{\sigma}\right]}{d\xi} = 0,$$

тому що

$$\frac{d\Phi(t)}{d\xi} = \frac{d\Phi(t)}{dt} \cdot \frac{dt}{d\xi}.$$

Тоді одержимо

$$\frac{dF}{d\varepsilon} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \left(\varphi_2 \cdot \exp\left(-\frac{(0,5T + \varepsilon)^2}{2\sigma^2}\right) - \varphi_1 \cdot \exp\left(-\frac{(0,5T - \varepsilon)^2}{2\sigma^2}\right) \right) = 0,$$

чи $\ln \frac{\varphi_2}{\varphi_1} = \frac{(0,5T + \xi)^2 - (0,5T - \xi)^2}{2\sigma^2}$, тобто $\ln \frac{\varphi_2}{\varphi_1} = \frac{2T\xi}{2\sigma^2}$.

Нарешті, $\xi_{opt} = \frac{\sigma^2}{T} \cdot \ln \frac{\varphi_2}{\varphi_1}$.

Приклад: $\varphi_0 = 100$ од., $\sigma = 0,025$ мм, $\varphi_1 = 10$ од., $T = 0,1$ мм.

$$\xi_{opt} = \frac{(25 \cdot 10^{-3})^2}{0,1} \cdot \ln \frac{100}{10} = 0,00625 \cdot \ln 10 = 0,00625 \cdot 2,3 = 0,014375 \text{ мм.}$$

Раніше отриманий раціональний розв'язок дорівнює $\xi_{opt} = 0,015$ мм.

7.4. ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ГЕОМЕТРИЧНОГО ПРОГРАМУВАННЯ

Метод геометричного програмування заснований на теоремі подвійності.

Цільова функція $F(t_1, t_2, t_3, \dots, t_n)$ подана як сума позиномів

$$F(t_1, t_2, \dots, t_n) = u_1(t_1, t_2, \dots, t_n) + u_2(t_1, t_2, \dots, t_n) + \dots + u_k(t_1, t_2, \dots, t_n)$$

і замінюється подвійчастою функцією $V(t_1, t_2, \dots, t_n)$, яка може бути

представлена у вигляді добутку цих же позиномів, розділених і зведених у степені δ_i

$$V(t_1, t_2, \dots, t_n) = \left(\frac{u_1(t_1, t_2, \dots, t_n)}{\delta_1} \right)^{\delta_1} \cdot \left(\frac{u_2(t_1, t_2, \dots, t_n)}{\delta_2} \right)^{\delta_2} \times \dots \times \left(\frac{u_k(t_1, t_2, \dots, t_n)}{\delta_k} \right)^{\delta_k}, \quad (7.8)$$

де δ_i – вагомі коефіцієнти, що задовольняють умові нормалізації

$$\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \dots + \delta_k = 1. \quad (7.9)$$

В умові (7.8) число вагомих коефіцієнтів відповідає кількості позиномів (доданків) цільової функції. Причому мінімум цільової функції F в деякій точці $(t'_1, t'_2, t'_3, \dots, t'_n)$ відповідає максимуму подвійчастої функції V в цій точці. Ця умова забезпечується при нульових значеннях показників степеня змінних t_i , тобто

$$\begin{cases} a_{11}\delta_1 + a_{21}\delta_2 + a_{31}\delta_3 + \dots + a_{m1}\delta_m = 0 \\ a_{12}\delta_1 + a_{22}\delta_2 + a_{32}\delta_3 + \dots + a_{m2}\delta_m = 0 \\ \dots \\ a_{1n}\delta_1 + a_{2n}\delta_2 + a_{3n}\delta_3 + \dots + a_{mn}\delta_m = 0 \end{cases} \quad (7.10)$$

Система рівнянь (7.10) характеризує умову ортогональності задачі. Вагомі коефіцієнти δ_i визначаються із системи рівнянь (7.10) і рівняння (7.9). Після визначення вагомих коефіцієнтів максимальне значення подвійчастої функції визначається з виразу

$$\begin{aligned} V &= \left(\frac{u_1}{\delta_1} \right)^{\delta_1} \times \left(\frac{u_2}{\delta_2} \right)^{\delta_2} \times \dots \times \left(\frac{u_m}{\delta_m} \right)^{\delta_m} = \\ &= \left(\frac{c_1}{\delta_1} \right)^{\delta_1} \times \left(\frac{c_2}{\delta_2} \right)^{\delta_2} \times \dots \times \left(\frac{c_m}{\delta_m} \right)^{\delta_m} \times t_1^{a_{11}\delta_1 + a_{21}\delta_2 + \dots + a_{m1}\delta_m} \times \\ &\times t_2^{a_{12}\delta_1 + a_{22}\delta_2 + \dots + a_{m2}\delta_m} \times \dots \times t_n^{a_{1n}\delta_1 + a_{2n}\delta_2 + \dots + a_{mn}\delta_m} = \\ &= \left(\frac{c_1}{\delta_1} \right)^{\delta_1} \times \left(\frac{c_2}{\delta_2} \right)^{\delta_2} \times \dots \times \left(\frac{c_m}{\delta_m} \right)^{\delta_m}. \end{aligned} \quad (7.11)$$

Істотна перевага методу геометричного програмування полягає в перебуванні екстремума цільової функції F без попереднього визначення значень незалежних змінних t_i . Змінні t_i визначаються піс-

ля перебування екстремума функції V виходячи із системи рівнянь

$$\begin{cases} u_1 = V_{max} \cdot \delta_1 \\ u_2 = V_{max} \cdot \delta_2 \\ \vdots \\ u_j = V_{max} \cdot \delta_j \end{cases}, \quad (7.12)$$

де $j = 1, 2, 3, \dots, m$; δ_j – вагомі коефіцієнти відповідних позиномів.

Ступінь трудомісткості розв’язуваних задач оцінюється методом геометричного програмування формулою

$$\alpha = m - n - 1, \quad (7.13)$$

де m – кількість позиномів задачі; n – число змінних.

На конкретному прикладі розглянемо задачу нульового ступеня складності.

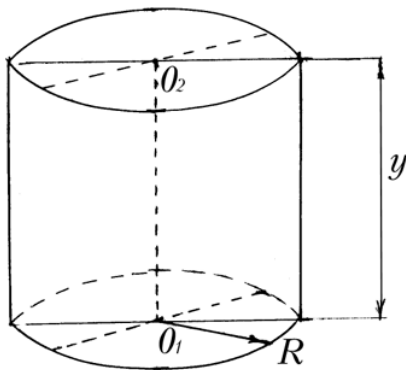


Рис. 7.3. Розрахункова схема.

Задача. Потрібно виготовити бак, що має форму циліндра (рис. 7.3). Заданий обсяг бака V . Потрібно забезпечити мінімальну витрату матеріалу.

Розв’язок:

Задача має дві змінні R і y . Цільова функція складається із суми двох позиномів $u_1 = 2\pi R^2$; $u_2 = 2\pi R y$.

Обмеженням є обсяг бака

$$\pi R^2 y \geq V \rightarrow 1 \geq \frac{V}{\pi R^2 y} \text{ чи } q_1(R, y) = \frac{V}{\pi} R^{-2} y^{-1}.$$

Кожному позиному задачі привласнюють вагомі коефіцієнти

$$u_1 = 2\pi R^2 \cdot \delta_1; \quad u_2 = 2\pi R y \cdot \delta_2; \quad u_3 = \frac{V}{\pi} R^{-2} y^{-1} \cdot \delta_3.$$

Подвійчаста функція задачі запишеться у вигляді

$$V(R, y) = \left(\frac{2\pi}{\delta_1}\right)^{\delta_1} \cdot \left(\frac{2\pi}{\delta_2}\right)^{\delta_2} \cdot \left(\frac{2\pi}{\delta_3}\right)^{\delta_3} \cdot R^{2\delta_1 + \delta_2 - 2\delta_3} \cdot y^{\delta_2 - \delta_3} \cdot (\delta_3)^{\delta_3}.$$

Умови нормалізації $\delta_1 + \delta_2 = 1$. Умови ортогональності

$$\begin{cases} 2\delta_1 + \delta_2 - 2\delta_3 = 0 \\ \delta_2 - \delta_3 = 0 \end{cases} \cdot \text{Розв’язуючи спільно систему} \begin{cases} 2\delta_1 + \delta_2 - 2\delta_3 = 0 \\ \delta_2 - \delta_3 = 0 \\ \delta_1 + \delta_2 = 1, \end{cases}$$

одержимо $\delta_1 = \frac{1}{3}$, $\delta_2 = \frac{2}{3}$, $\delta_3 = \frac{2}{3}$.

Кількість позиномів задачі $m = 3$, кількість змінних $n = 2$. Ступінь труднощів розв'язку задачі $\alpha = 3 - 2 - 1 = 0$.

Мінімальне значення цільової функції F дорівнює максимальному значенню подвійчастої функції

$$V_{max} = \left(\frac{2\pi}{\frac{1}{3}}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{2\pi}{\frac{2}{3}}\right)^{\frac{2}{3}} \cdot \left(\frac{V \cdot 3}{\pi \cdot 2}\right)^{\frac{2}{3}} \cdot \left(\frac{2}{3}\right)^{\frac{2}{3}} = 6\pi \left(\frac{V}{2\pi}\right)^{\frac{2}{3}} = F_{min}.$$

Значення змінних R , y знаходимо із системи рівнянь

$$\begin{cases} u_1 = V \cdot \delta_1 \\ u_2 = V \cdot \delta_2, \\ u_3 = 1 \end{cases} \begin{cases} 2\pi R^2 = 6\pi \left(\frac{V}{2\pi}\right)^{\frac{2}{3}} \cdot \frac{1}{3} \\ 2\pi R y = 6\pi \left(\frac{V}{2\pi}\right)^{\frac{2}{3}} \cdot \frac{2}{3} \\ \frac{V}{\pi} R^{-2} y^{-1} = 1 \end{cases}$$

З першого рівняння знаходимо $R = 3\sqrt[3]{\frac{V}{2\pi}}$.

Після підстановки отриманого значення в друге рівняння одержимо $y = 2\sqrt[3]{\frac{V}{2\pi}}$. Останнє рівняння дає тотожність $1=1$.

7.5. ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ФУНКЦІЇ ЛАГРАНЖА

Екстремум функції n змінних $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ підлеглих додатковим обмеженням можна знайти методом знаходження множника Лагранжа. Наприклад, якщо $z = f(x, y)$ функція двох змінних, підлеглих одній умові зв'язку $\varphi(x, y) = 0$, то функція Лагранжа буде мати наступний вигляд

$$\Phi = f(x, y) + \lambda \varphi(x, y). \quad (7.14)$$

Для перебування екстремума функції необхідно знайти часткові похідні від функції Лагранжа і прирівняти їх нулю

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Phi}{\partial x} = 0 & \quad \text{чи} \quad \frac{\partial f}{\partial x} + \lambda \frac{\partial \varphi}{\partial x}; \\ \frac{\partial \Phi}{\partial y} = 0 & \quad \text{чи} \quad \frac{\partial f}{\partial y} + \lambda \frac{\partial \varphi}{\partial y}; \\ \varphi(x, y) &= 0. \end{aligned} \quad (7.15)$$

Приклад: площа кругового циліндра (рис. 7.3) є цільовою функцією $F(R, y) = 2\pi \cdot R^2 + 2\pi \cdot Ry$.

Заданий обсяг циліндра є обмеженням $\pi \cdot R^2 y \geq V$.

Функцію обмеження представимо у вигляді $\varphi(x, y) = 0$

$$\varphi(x, y) = V - \pi \cdot R^2 y = 0.$$

Тоді функція Лагранжа буде мати вигляд:

$$\Phi(x, y) = 2\pi \cdot R^2 + 2\pi \cdot Ry - \lambda(V - \pi \cdot R^2 y),$$

де λ – множник Лагранжа.

Розв'язок задачі може бути знайдений із системи рівнянь

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \Phi}{\partial R} = 0; \\ \frac{\partial \Phi}{\partial y} = 0; \\ \varphi(R, y) = 0; \end{array} \right. , \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \Phi}{\partial R} = 4\pi R + 2\pi y - 2\lambda\pi R y = 0; \\ \frac{\partial \Phi}{\partial y} = 2\pi R - \lambda\pi R^2 = 0; \\ V = \pi R^2 y. \end{array} \right. \quad (7.16)$$

Визначивши з другого рівняння системи параметр $\lambda = 2/R$ і підставивши його в систему рівнянь (7.16), одержимо

$$\begin{cases} 2R - y = 0 \\ V = \pi R^2 y \end{cases}$$

З розв'язку даної системи рівнянь одержимо

$$R = \sqrt[3]{\frac{V}{2\pi}}, \quad y = 2\sqrt[3]{\frac{V}{2\pi}}.$$

Мінімальне значення цільової функції

$$F(R, y)_{min} = 6\pi \left(\frac{V}{2\pi} \right)^{2/3}.$$

7.6. ЗНАХОДЖЕННЯ ЕКСТРЕМУМА ФУНКЦІЇ

Для перебування екстремума функції $f(x)$ необхідно обчислити похідну цієї функції $f'(x)$ і прирівняти її до нуля.

Для визначення виду екстремума слід визначити зміну знака похідної при переході екстремальної точки. Зміна знака похідної з плюса на мінус означає, що функція в екстремальній точці має максимум і, навпаки, зміна знака функції з мінуса на плюс означає, що функція має мінімум. Якщо знак похідної функції $f'(x)$ не змінюється, то дана функція $f(x)$ в досліджуваній точці екстремума не має. Крива в цій точці має перегин.

Друга похідна функції, що має екстремум, також може бути використана для визначення максимуму чи мінімуму функції.

Якщо в точці екстремума друга похідна $\frac{d^2 f}{dx^2} < 0$, то функція $f(x)$ має в точці x максимум.

Якщо в точці екстремума друга похідна функції $f(x)$ додатня, тобто $\frac{d^2 f}{dx^2} > 0$, то функція $f(x)$ має в точці x мінімум.

Залежність продуктивності обробки вала від швидкості різання описується виразом

$$Q = -0,06V^2 + 5,63V - 87,6, \quad (7.17)$$

де V – швидкість різання м/хв; Q – кількість оброблюваних деталей за одиницю часу.

У табл. 7.2 представлені розрахункові значення продуктивності при різних швидкостях різання

Таблиця 7.2

Швидкість різання V , м/хв	20	30	40	50	60	70
Q	1	27	41,6	43,9	34,2	12,4

З аналізу даних, наведених у таблиці, видно, що найбільш кращою швидкістю різання, що забезпечує найбільшу продуктивність, є швидкість $V = 50$ м/хв. Однак варто помітити, що швидкість різання $V = 50$ м/хв – раціональна, але не оптимальна.

Для визначення оптимальної швидкості різання, при якій продуктивність Q має максимальне значення, необхідно першу похідну

функції (7.17) прирівняти до нуля

$$Q' = -0,12V + 5,63 = 0. \quad (7.18)$$

З розв'язку рівняння (7.17) визначається оптимальна швидкість різання $V = \frac{5,63}{0,12} = 46,9$ м/хв.

Для визначення оптимальної продуктивності Q потрібно оптимальне значення швидкості підставити в рівняння (7.17) і обчислити Q . Одержимо $Q = 44,4$ од.

7.7. ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ЛІНІЙНОГО ПРОГРАМУВАННЯ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗКУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗАДАЧ

Лінійне програмування - порівняно нова галузь застосування математики для розв'язку багатьох технологічних задач, пов'язаних, в першу чергу, з потребами раціонального планування виробництва. У багатьох випадках лінійне програмування дає можливість встановити, яким чином потрібно використати наявні ресурси для досягнення найбільшої продуктивності й необхідної якості виготовлення деталей.

Наприклад, яким чином слід використовувати наявні на підприємстві запаси сировини для виготовлення тих чи інших видів продукції, щоб доход підприємства був найбільшим.

Можна розв'язувати задачі пов'язані з оптимальним завантаженням металорізальних верстатів. Наприклад, як краще використовувати устаткування цеху, щоб виконати встановлений план по всіх видах продукції, яка випускається. Крім того, можна вирішувати транспортні задачі, наприклад, як краще організувати транспортування деталей між цехами, щоб загальна вартість транспортних витрат була найменшою.

7.7.1. ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СОБІВАРТОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ МАСЛЯНОГО БАКА

Технологічна собівартість масляного бака повинна враховувати вартість листового матеріалу і вартість зварювальних робіт. Її можна представити у виді витрат

$$C = \alpha S + \beta l, \quad (7.19)$$

де S – площа матеріалу 1Х18Н9Т, необхідного для виготовлення ма-

сляного бака обсягом $V = 2000$ л; l – довжина зварювального шва; α – вартість одиниці площі матеріалу, з якого виготовлений масляний бак; β – вартість одиниці довжини зварювального шва.

Постановку оптимізаційної задачі можна розглядати в двох варіантах.

Перша постановка передбачає визначення розмірів масляного бака заданого обсягу з мінімальною вартістю:

$$F_1 = C \rightarrow \min, \quad V = V_{\text{зад}}.$$

Друга постановка передбачає визначення розмірів масляного бака, що вміщує максимальний обсяг при заданих α і β :

$$F_2 = V \rightarrow \max, \quad C = C_{\text{зад}}.$$

При фіксованому обсязі бака, задаючись різними значеннями параметрів L, B і H , одержимо різні варіанти конструкції бака. Для

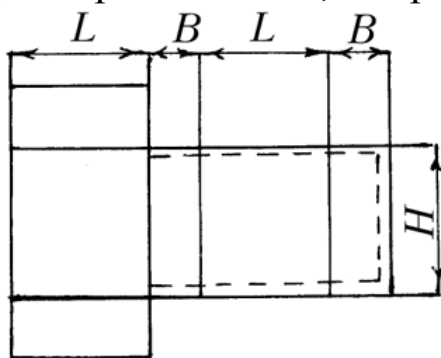


Рис. 7.4. Розгортка листового матеріалу для виготовлення бака.

найбільш економічного варіанта виготовлення бака треба визначитися з критерієм, за яким варто оцінювати найкращий варіант.

Вибір найвигіднішого варіанта можна здійснити, наприклад, по вартості використовуваного матеріалу і вартості зварювальних робіт. На рис. 7.4 представлена розгортка листового матеріалу і пунктирною лінією – траєкторія зварювального шва:

$$l = 2(L + 2B) + H; \tag{7.20}$$

$$S = 2[LB + (L + B)H].$$

Постановку задачі для визначення оптимальних розмірів масляного бака обсягом $V = 2000$ л можна записати так:

$$F = S \rightarrow \min, \tag{7.21}$$

$$V = 2000.$$

Після підстановки у вираз (7.21) значення S одержимо

$$F = 2[LB + (L + B)H] \rightarrow \min, \quad (\text{ЦФ})$$

$$LBH = 2000, \quad (\text{ОБМ}) \tag{7.22}$$

$$0 < L, B, H < \infty. \quad (\text{ГРУ})$$

Цільова функція (ЦФ) показує, в яких умовах площа листового матеріалу для виготовлення масляного бака, буде мінімальна.

Граничні умови (ГРУ) показують зміни параметрів.

Обмеження (ОБМ) показує залежність обсягу масляного бака від розмірів його сторін.

Для перебування мінімуму функції $S = 2[LB + (L + B)H]$ при $L = \frac{2000}{BH}$ використаємо необхідну ознаку екстремума.

Якщо в точці функція $P(H_0B_0)$ має екстремум, то

$$\left. \frac{\partial S}{\partial H} \right|_{H_0B_0} = 0 ; \left. \frac{\partial S}{\partial B} \right|_{H_0B_0} = 0, \text{ тобто } \begin{cases} \frac{\partial S}{\partial H} = 2 \left(-\frac{2000}{H^2} + B \right) = 0 \\ \frac{\partial S}{\partial B} = 2 \left(-\frac{2000}{B^2} + H \right) = 0 \end{cases} .$$

Система рівнянь має вигляд

$$\begin{cases} 2000 - BH^2 = 0 \\ 2000 - HB^2 = 0 \end{cases} .$$

Розділивши перше рівняння на друге, одержимо $H = B$.

Отже,

$$\begin{aligned} H_0 = B_0 &= \sqrt[3]{2000} = 12,596 \text{ дм}, \\ L_0 &= \frac{2000}{\sqrt[3]{2000}^2} = \sqrt[3]{2000} = 12,6 \text{ дм}. \end{aligned}$$

Таким чином, масляний бак має форму куба з ребрами $\sqrt[3]{2000} = 12,6$ дм.

Математична модель для визначення мінімальної довжини зварювального шва має вигляд

$$\begin{aligned} F &= 2(L + 2B) + H \rightarrow \min \\ L \cdot B \cdot H &= 2000 \\ 0 < L; B; H < \infty \end{aligned} \quad (7.23)$$

Результати розв'язку задач з математичними моделями (7.22) і (7.23) наведені в табл. 7.3.

Таблиця 7.3

Цільова функція	L , м	B , м	H , м	S , м ²	l , м
S_{\min}	1,26	1,26	1,26	9,53	8,8
l_{\min}	1,26	0,68	2,52	11,11	7,6

З аналізу даних табл. 7.3 видно, що в залежності від необхідної постановки задачі (мінімальна площа матеріалу, що витрачається на виготовлення бака $V = 2000$ л, чи мінімальна загальна довжина

зварювального шва) потрібно виготовляти різні конструкції масляних баків.

Мінімальна площа $S = 9,53 \text{ м}^2$ має бак кубічної форми із сторонами 1,26 м, а мінімальну довжину зварювального шва $l = 7,6 \text{ м}$ має бак із сторонами $L = 1,26 \text{ м}$, $B = 0,63 \text{ м}$, $H = 2,52 \text{ м}$.

Щоб врахувати одночасно вартість листового матеріалу і вартість зварювальних робіт, необхідно визначити сумарну технологічну собівартість $C = \alpha S + \beta l$.

Математична модель оптимізаційної задачі, що передбачає визначення розмірів бака L, B, H з максимальним обсягом і мінімальною довжиною зварювального шва при заданих значеннях α, β і $C_{зад}$, має вигляд

$$\begin{aligned}
 F_1 = V &\rightarrow \max; \\
 V - L \cdot B \cdot H &= 0; \\
 S - 2[L \cdot B + (L + B)H] &= 0; \\
 C - \alpha S - \beta l &= 0; \\
 l - 2(L + 2B) - H &= 0; \\
 0 < L, B, H, S, l < \infty; \\
 C &= C_{зад}.
 \end{aligned}
 \tag{7.24}$$

При розв'язку задачі з заданою математичною моделлю при заданих значеннях $\alpha = 0,1$, $\beta = 0,8$, $C_{зад} = 3,4,5,6$ отримано наступні оптимальні величини технологічних параметрів (табл. 7.4).

Таблиця 7.4

$C_{зад}$	$V, \text{ м}^3$	$L, \text{ м}$	$B, \text{ м}$	$H, \text{ м}$	$S, \text{ м}^2$	$l, \text{ м}$
3	0,19	0,57	0,30	1,10	2,26	3,46
4	0,42	0,74	0,40	1,42	3,80	4,51
5	0,78	0,90	0,49	1,71	5,70	5,47
6	1,27	1,07	0,59	2,00	7,91	6,51

7.8. ОПТИМІЗАЦІЯ ЗАВАНТАЖЕННЯ МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ

Потрібно оптимізувати завантаження зубошліфувальних верстатів при виготовленні партії зубчастих коліс ($m = 3 \text{ мм}$, $Z = 45$, $\alpha = 20^\circ$) шостого ступеня точності в кількості 50 одиниць.

У механічному цеху є один зубофрезерний 5Д32 і один зубодов-

бальний 5A12 верстат, три зубошліфувальних 5851 типу (МАОГ) 5831 (НАИЛС) і 5833 (Рейсхауер).

Технологічні можливості верстатів: за відведений календарний проміжок часу на зубофрезерному верстаті 5Д32 можна обробити 20 зубчастих коліс (8-го ступеня точності), а на зубодовбальному - 30 зубчастих коліс (9-го ступеня точності), зубошліфувальний 5831 може обробити 26 зубчастих коліс, 5833 - 14 коліс і 5851 - 10 коліс.

Вартість шліфування зубчастих вінців на різних типах зубошліфувальних верстатів представлена в табл. 7.5.

Таблиця 7.5

Тип верстата і ступінь точності	Моделі зубошліфувальних верстатів		
	5831	5833	5851
9-я ступінь, зубодовбання 5A12	0,6 гр	0,9 гр	1,5 гр
8-я ступінь, зубофрезерування 5Б32	0,4 гр	0,8 гр	1,4 гр

Кількість деталей, розподілена між зубошліфувальними верстатами, приведена в табл. 7.6.

Таблиця 7.6

Тип верстата	5831	5833	5851
5A12	X	Y	30-X-Y
5Б32	26-X	14-Y	X+Y-20
Сума	26	14	10

Технологічна собівартість зубошліфувальних робіт при обробці 50 зубчастих коліс шостого ступеня точності дорівнює

$$C = 0,6X + 0,9Y + 1,5 \cdot (30 - X - Y) + 0,4 \cdot (26 - X) + 0,8 \cdot (14 - Y) + 1,4 \cdot (X + Y - 20);$$

$$C = 40,6 + X - Y.$$

Кількість прошліфованих деталей на верстатах не може бути негативною величиною

$$\begin{cases} X \geq 0; \\ Y \geq 0; \\ 30 - X - Y \geq 0; \end{cases} \quad \begin{cases} 26 - X \geq 0; \\ 14 - Y \geq 0; \\ X + Y - 20 \geq 0. \end{cases}$$

Приведені нерівності є рівняннями прямих ліній, побудова яких на графіку (рис. 7.5) дозволяє оптимізувати цільову функцію C . $C \rightarrow \min$.

Технологічна собівартість у критичних точках А, В, С, D, Е дорівнює:

$$C_A = 40,6 + 6 - 14 = 32,6 \text{ грн};$$

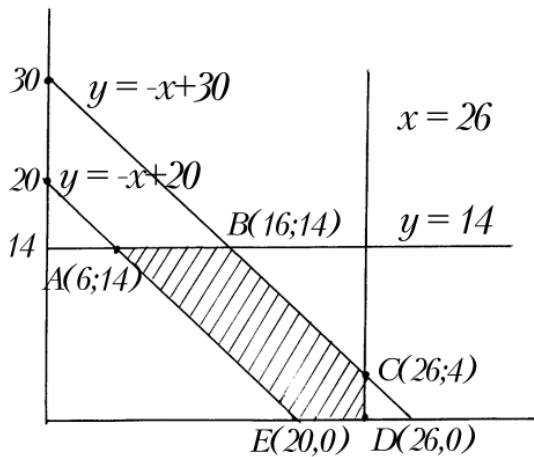


Рис. 7.5. Область припустимих значень оптимізуємих параметрів.

$$C_B = 40,6 + 16 - 14 = 42,6 \text{ грн};$$

$$C_C = 40,6 + 26 - 4 = 62,6 \text{ грн};$$

$$C_D = 40,6 + 26 = 66,6 \text{ грн};$$

$$C_E = 40,6 + 20 = 60,6 \text{ грн}.$$

Отже, найбільш економічним варіантом розподілу зубчастих коліс для обробки між зубошліфувальними верстатами є варіант, що відповідає C_A . Розподіл деталей між верстатами за даним варіантом приведений в табл. 7.7.

Таблиця 7.7

Тип верстата	5831	5833	5851
5A12	$X = 6$	$Y = 14$	$30 - 6 - 14 = 10$
5Б32	$26 - 6 = 20$	$14 - 14 = 0$	$6 + 14 - 20 = 0$

Заробітна плата шліфувальників за зазначений календарний проміжок часу складе:

1. Зубошліфувальник, що працює на верстаті 5831:
 $X \cdot 0,6 + (26 - X) \cdot 0,4 = 3,6 + 8 = 11,6 \text{ грн}.$
2. Зубошліфувальник, що працює на верстаті 5833:
 $Y \cdot 0,9 = 14 \cdot 0,9 = 12,6 \text{ грн}.$
3. Зубошліфувальник, що працює на верстаті 5851:
 $(30 - X - Y) \cdot 1,5 = (30 - 6 - 14) \cdot 1,5 = 15 \text{ грн}.$

7.9. ОПТИМІЗАЦІЯ ВИТРАТ НА ПЕРЕВЕЗЕННЯ ЗАГОТОВОК

Ливарний цех заводу розташовується на відстані a від залізниці (пункт С на рис. 7.6). Механічний цех, куди поставляються з ливарного цеху заготовки, знаходиться в пункті А, розташованому по прямій лінії від ливарного цеху на відстані b . Заготовки з ливарного цеху спочатку автомобільним транспортом перевозяться на станцію В, а потім залізничним транспортом з пункту В перевозяться в механічний цех А.

Вартість вагової одиниці, перевезеної на одиницю відстані залізницею, дорівнює α , а по шосе – β . Причому $\beta = 1,3\alpha$.

Потрібно визначити, у якій точці залізниці варто відкрити нову станцію М і до неї підвести по прямій лінії шосе СМ, щоб загальні

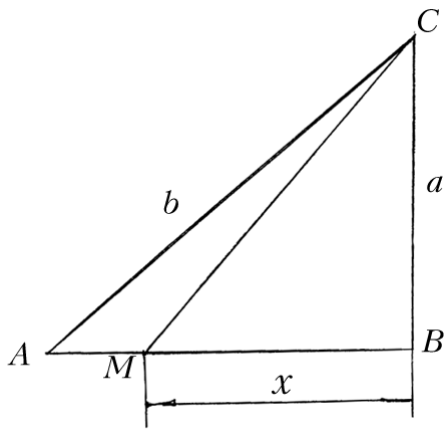


Рис. 7.6. Розрахункова схема.

транспортні витрати були мінімальними.

Розв'язок:

Нехай $BM=x$; $BC = a$; $AC = b$. Тоді

$$AB = \sqrt{b^2 - a^2}; \quad AM = AB - BM = \sqrt{b^2 - a^2} - x, \quad CM = \sqrt{a^2 + x^2}.$$

Вартість перевезення P одиниць ліварних заготовок залізницею AM складе $P\alpha(\sqrt{b^2 - a^2} - x)$, а шосейною дорогою

на відстань $MC - P\beta \cdot \sqrt{a^2 + x^2}$.

Загальна вартість перевезень маршрутом CMA виражається функцією:

$$S(x) = P\alpha(\sqrt{b^2 - a^2} - x) + P\beta \cdot \sqrt{a^2 + x^2}, \quad (7.25)$$

$$0 \leq x \leq AB \text{ чи де } 0 \leq x \leq \sqrt{b^2 - a^2}.$$

Функція (7.25) є цільовою функцією задачі.

Потрібно знайти таке значення аргументу x , при якому функція $S(x)$ прийме найменше значення на відрізку $(0, \sqrt{b^2 - a^2})$.

Похідна функції (7.25) дорівнює

$$S'(x) = -P\alpha + \frac{P\beta x}{\sqrt{a^2 + x^2}} = \frac{P(\beta x - \alpha\sqrt{a^2 + x^2})}{\sqrt{a^2 + x^2}}.$$

Прирівнюючи першу похідну функції $S(x)$ до нуля

$$\frac{P(\beta x - \alpha\sqrt{a^2 + x^2})}{\sqrt{a^2 + x^2}} = 0, \quad (7.26)$$

$$\text{одержимо } x_1 = \frac{a\alpha}{\sqrt{\beta^2 - \alpha^2}}, \quad x_2 = -\frac{a\alpha}{\sqrt{\beta^2 - \alpha^2}}.$$

Так як x_2 не належить області визначення, то на відрізку $(0, \sqrt{b^2 - a^2})$ функція $S(x)$ має єдину критичну точку $x_1 = \frac{a\alpha}{\sqrt{\beta^2 - \alpha^2}}$.

У точках $x_3 = \frac{a\alpha}{2\sqrt{\beta^2 - \alpha^2}}$ і $x_4 = \frac{2a\alpha}{\sqrt{\beta^2 - \alpha^2}}$ ліворуч і праворуч

від критичної точки похідна змінює знак з мінуса на плюс.

Отже, при $x = \frac{a\alpha}{\sqrt{\beta^2 - \alpha^2}}$ вартість перевезення заготовок за мар-

шрутом СМА має мінімальне значення. Підставляючи $\beta = 1,3\alpha$, одержимо

$$x = \frac{a}{0,69}.$$

7.10. ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

Оптимізація – це процес перебування екстремума деякої кількісної величини об'єкта дослідження, що представляється у виді функцій.

Основною метою процесу є забезпечення заданих характеристик якості виробів найбільш продуктивним шляхом при мінімальних витратах. Звідси впливають два головних критерії оптимальності: максимальна продуктивність і мінімальна собівартість.

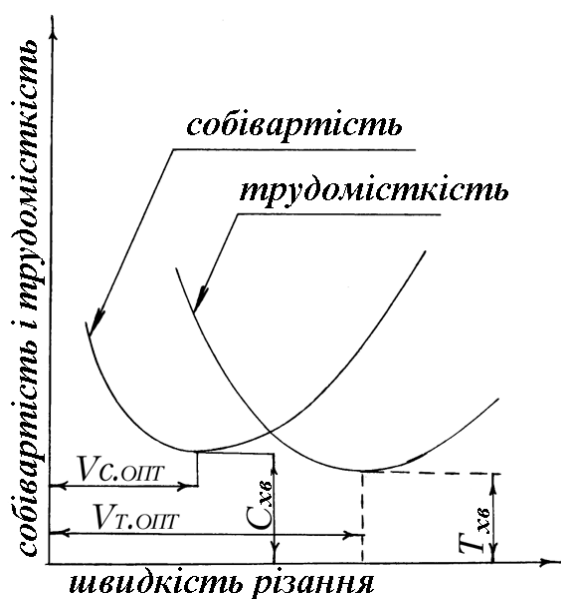


Рис. 7.7. Залежність технологічної собівартості і штучного часу.

Варто помітити, що оптимальні режими обробки, які дають найбільшу продуктивність, як правило, не забезпечують мінімальну собівартість.

На рис. 7.7 представлена залежність трудомісткості і собівартості обробки від швидкості різання. Із збільшенням швидкості різання трудомісткість і собівартість обробки спочатку знижуються, а потім, перейшовши деякі мінімальні значення V_c^0 і V_m^0 , зростають (у зв'язку із збільшенням спрацювання ріжучого інструмента і витрат часу на його заміну).

При цьому важливо відзначити, що оптимальні швидкості різання, які відповідають мінімальним витратам часу T_{min} і мінімальній собівартості C_{min} , не збігаються. Швидкість різання, оптимальна за собівартістю, завжди менша оптимальної швидкості по продуктивності.

Вибір швидкості різання по найбільшій продуктивності чи найменшим витратам здійснюється для кожного конкретного випадку з врахуванням сформованих умов.

Зіставлення ефективності технологічних варіантів за критеріями

продуктивності і собівартості може привести в ряді випадків до різних висновків.

Наприклад, при зіставленні розточування отвору зубчастого колеса із сталі 12Х2Н4А діаметром $\varnothing 30_{+0,1}$ по 7-му квалітету точності із шорсткістю $R_z = 6,3$ мкм на токарному верстаті 1К62 і протягування отримані наступні результати [18]:

Технологічна вартість, грн.	
при протягуванні.....	0,11,
при розточуванні.....	0,11.
Трудомісткість (штучно-калькуляційний час, хв)	
при протягуванні.....	1,05,
при розточуванні.....	3,63.

Наведений приклад показує, що при зіставленні ефективності технологічних процесів не слід обмежуватися тільки визначенням собівартості обробки.

З огляду на важливість цих критеріїв оптимальності, варто здійснити пошук компромісу між ними. У цьому випадку слід розв'язувати задачу багатокритерійної оптимізації.

7.11. НАУКОВИЙ ПІДХІД ДО ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНИХ СПОСОБІВ ОБРОБКИ

Зв'язок між продуктивністю Q і точністю обробки у виражається залежністю [90]:

$$Q = (y \cdot k)^3 \cdot \left(\frac{\cos \varphi}{4 \cdot t \cdot \rho \cdot HV} \right)^2 \cdot \frac{V_{різ}}{\tau_{зсв}}, \quad (7.27)$$

де $Q = a_z \cdot b \cdot V_{різ} \cdot m^3 / c$; a_z – товщина зрізу, м; b – ширина різання, м; $V_{різ}$ – швидкість різання, м/с; t – глибина різання, м; φ – кут в плані різця чи абразивного зерна; ρ – радіус заокруглення вершини різця (абразивного зерна); HV і $\tau_{зсв}$ – відповідно твердість і міцність на зсув оброблюваного матеріалу, Па і k – приведена жорсткість технологічної системи, Н/м; y – величина пружного переміщення ріжучої кромки різця (зерна) у радіальному напрямку, м.

Цей параметр, як відомо з досліджень [90], визначається залеж-

ністю:

$$y = \frac{\rho^{1,33} \cdot b}{k} \cdot (4 \cdot HV)^{0,67} \cdot (a_z \tau_{зсв})^{0,33}. \quad (7.28)$$

Найбільший вплив на Q чинять величини y і k , що входять у вираз (7.27) у третьому степені.

Із збільшенням продуктивності зменшується точність. Отже, при збереженні необхідної точності збільшити продуктивність можна за рахунок застосування устаткування підвищеної твердості. Якщо можливості збільшення твердості обмежені, то можна продуктивність збільшити за рахунок зменшення глибини різання t , радіуса заокруглення ρ і кута в плані φ , що входять у вирази (7.27) у другому степені. Для збільшення продуктивності Q треба знайти спосіб, що стабілізує здатність ріжучих інструментів в часі, тобто збереження високої гостроти ріжучої крайки інструмента. Наприклад, для підтримки в процесі шліфування високої гостроти ріжучих зерен круга треба використовувати методи, які в процесі шліфування здійснюють самозагострювання круга. До таких методів можна віднести переривчасте шліфування чи введення в зону різання додаткової електричної енергії у формі електроімпульсних розрядів чи електрохімічного розчинення металевого зв'язування круга.

На продуктивність обробки впливають міцність $\tau_{зсв}$ і твердість HV оброблюваного матеріалу. Із збільшенням цих параметрів продуктивність зменшується. Цим пояснюються труднощі, пов'язані з обробкою деталей з високотвердих і високоміцних матеріалів. Із збільшенням швидкості різання $V_{різ}$ при точінні прямо пропорційно збільшується Q . Однак збільшення швидкості $V_{різ}$ обмежене дією теплових процесів, які виникають при різанні і приводять, по-перше, до погіршення якості оброблюваних поверхонь, по-друге, – до втрати властивостей ріжучого інструмента: спрацювання, затуплення зерен кола і збільшення ρ , що, відповідно до залежності (7.27), знижує продуктивність Q .

Як бачимо, продуктивність обробки Q визначається механічними і тепловими процесами, що відбуваються в зоні різання. Існує зв'язок швидкості $V_{різ}$ і радіуса заокруглення ρ з продуктивністю обробки Q . Із збільшенням швидкості продуктивність зростає, а із збільшенням радіуса ρ – зменшується.

Пропорційно співвідношенню $V_{різ} / \rho^2$ змінюється продуктив-

ність обробки. Отже, існує оптимальне співвідношення $V_{\text{різ}}/\rho^2$, якому відповідає максимальна продуктивність.

Для підвищення продуктивності обробки необхідно забезпечити умови стабілізації стружкоутворення, яке характеризується відношенням a_z/ρ . Цей параметр визначається з залежності:

$$\frac{a_z}{\rho} = \left(\frac{y \cdot k \cdot \sin \varphi}{t \cdot \rho} \right)^3 \cdot \frac{1}{(4 \cdot HV)^2 \cdot \tau_{\text{здв}}}. \quad (7.29)$$

Для підтримки заданого значення a_z/ρ , необхідно здійснити керування процесом різання за рахунок стабілізації ρ за часом. Стабілізацію ρ здійснюють шляхом застосування адаптивних систем, безупинного виправлення шліфувальних кругів і збільшення жорсткості пружної системи “ k ”.

Залежності (7.27) і (7.29) демонструють однаковий характер впливу параметрів процесу на $\tau_2 = 0$ і відношення a_z/ρ . Отже, для підтримки продуктивності в часі необхідно стабілізувати відношення a_z/ρ . Проведений теоретичний аналіз вказує основні напрямки для збільшення продуктивності при збереженні необхідної якості поверхневого шару.

7.12. ОПТИМІЗАЦІЯ УМОВ ЗАСТОСУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО УСТАТКУВАННЯ

Зниження собівартості і підвищення продуктивності і якості виготовлення деталей відносяться до числа основних проблемних питань технології машинобудування. Існує багато технічних рішень, пов'язаних із створенням прогресивних методів обробки деталей із застосуванням складних технологічних автоматизованих систем. Для аналізу їхніх можливостей розглянемо залежність технологічної собівартості, що враховує витрати на заробітну плату і вартість ріжучого інструмента:

$$C = N \cdot \tau \cdot S_1 \cdot k_{\partial} + M \cdot u, \quad (7.30)$$

де N – річна програма випуску виробів; $\tau = \tau_1 + \tau_2$ – час обробки, с; τ_1 , τ_2 – основний і допоміжний час обробки, с; S_1 – тарифна ставка робітника, година; k_{∂} – коефіцієнт, що враховує нарахування на тарифну ставку робітника; M – кількість витрачених інструментів; u – вартість інструмента.

Приймаючи $\tau_1 = l/S$, $\tau_2 = 0$, одержимо : $T = n\tau_1$; $T = \frac{A}{S^k}$, де l – довжина технологічного переходу, м; S – швидкість подачі інструмента, м/с; T – стійкість інструмента, с; n – кількість переходів; A, k – параметри, що залежать від умов обробки, встановлюються експериментально, з врахуванням $M = \frac{N}{n}$ і $n = \frac{A}{l} \cdot \frac{1}{S^{k-1}}$. Тоді маємо

$$C = N \cdot l \cdot \left(\frac{S_1 \cdot k_\partial}{S} + \frac{u}{A} \cdot S^{k-1} \right). \quad (7.31)$$

В залежності від показника степеня k собівартість із збільшенням S може зменшуватися ($k \leq 1$) чи змінюватися по екстремальній залежності ($k > 1$), проходячи точку мінімуму. Прирівнюючи похідну $C'_S = 0$ до нуля, одержимо екстремальне значення подачі

$$S_{екс} = \left[\frac{S_1 \cdot A \cdot k_\partial}{(k-1) \cdot u} \right]^{\frac{1}{k}}. \quad (7.32)$$

Мінімальне значення собівартості обробки

$$C_{екс} = N \cdot l \cdot S_1 \cdot k_\partial \cdot \frac{k}{(k-1)} \left[\frac{(k-1) \cdot u}{S_1 \cdot k_\partial \cdot A} \right]^{\frac{1}{k}}. \quad (7.33)$$

Вплив параметрів N і l на $C_{екс}$ більш значний в порівнянні з параметрами S_1, k_∂, u і A при $k > 1$. Зменшити собівартість можна за рахунок оптимізації траєкторії переміщення інструмента при обробці складних деталей на верстатах із ЧПК. Застосування верстатів із ЧПК знижує витрати на виготовлення оснащення, але при цьому додаються витрати на підготовку керуючих програм u_2 і вартість верстата u_1 .

$$C_{екс} = N \cdot l \cdot S_1 \cdot k_\partial \cdot \frac{k}{(k-1)} \left[\frac{(k-1) \cdot u}{S_1 \cdot k_\partial \cdot A} \right]^{\frac{1}{k}} + u_1 + u_2. \quad (7.34)$$

Відомо, що верстати з ЧПК ефективно застосовують при виготовленні складних деталей.

При обробці деталей на багаторізцевих верстатах технологічна собівартість визначається формулою [90]:

$$C = N \cdot l \cdot \left(\frac{S_1 \cdot k_\partial}{z \cdot S} + \frac{u}{A} \cdot S^{k-1} \right) + u_3, \quad (7.35)$$

де z – кількість одночасно працюючих інструментів; u_3 – вартість багаторізного верстата.

Прирівнюючи похідну C'_S до нуля, одержимо екстремальне значення подачі багаторізного верстата

$$S_{екс} = \left[\frac{S_1 \cdot A \cdot k_{\partial}}{(k-1) \cdot z \cdot u} \right]^{\frac{1}{k}}. \quad (7.36)$$

Екстремальне значення технологічної собівартості можна представити у вигляді наступної залежності

$$C_{екс} = N \cdot l \cdot S_1 \cdot k_{\partial} \cdot \frac{1}{z} \cdot \frac{k}{(k-1)} \left[\frac{(k-1) \cdot z \cdot u}{S_1 \cdot k_{\partial} \cdot A} \right]^{\frac{1}{k}} + u_3. \quad (7.37)$$

З аналізу отриманих залежностей (7.36) і (7.37) видно, що із збільшенням числа одночасно працюючих інструментів $S_{екс}$ і $C_{екс}$ зменшуються. Для кожного значення N існує оптимальне значення z . Даний аналіз справедливий для показника степеня $k > 1$. Для $k \leq 1$ відповідно до залежності (7.35) екстремум функції C від S відсутній. При цих умовах із збільшенням подачі S собівартість безупинно зменшується. Обмеженням збільшення S є необхідна якість і точність обробки.

РОЗДІЛ 8

ПРОДУКТИВНІСТЬ І ЕКОНОМІЧНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

8.1. ЕФЕКТИВНІСТЬ ВЕРСТАТІВ ІЗ ЧПК І ГНУЧКИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ (ГВС)

Продуктивність і собівартість обробки істотно залежать від пропонованих вимог по точності і шорсткості поверхні виготовлених деталей. Наприклад, з підвищенням точності обробки сталевих валиків діаметром 10–18 мм на токарно-револьверному верстаті з 11-го до 7-го квалітету, сумарні витрати зростають у три рази [7]. Особливо різко збільшуються витрати часу на контроль заготовок. Крім того, з підвищенням точності з'являється брак, витрати на який складають 2 – 3% від загальної вартості обробки. При підвищенні точності обробки до шостого квалітету точності витрати на брак досягають 30% від вартості обробки заготовок [18].

Задана кресленням точність і необхідна шорсткість поверхні можуть бути досягнуті різними способами обробки. Наприклад, отвір 9-го квалітету точності з $R_z = 6,3$ мкм можна одержати при розточуванні швидкоріжучими і твердосплавними різцями, розвертанням, шліфуванням, протягуванням, прошиванням, хонінгуванням і розкочуванням кульками чи роликами.

Варто помітити, що кожний із зазначених методів має різну продуктивність. Технолог при розробці технології повинен вибрати найбільш економічний метод обробки.

При виборі методу потрібно враховувати не тільки трудомісткість (штучно-калькуляційний час), але і технологічну собівартість. Крім того, при виборі методу обробки треба враховувати програму випуску виробів (тип виробництва: масовий, серійний, одиничний). Наприклад, якщо потрібно виготовити три - чотири деталі, - економічно виправдано застосовувати розточування на універсальному устаткуванні. Якщо кількість деталей обчислюється сотнями тисяч пере-

вагу варто віддати протяганню отвору.

На сучасному етапі розвитку технології машинобудування як науки економічність технологічних процесів стає її невід'ємною складовою частиною, рівнозначною таким розділам, як навчання про точність, якість і продуктивність. В умовах ринкової економіки найбільш важливою задачею при розробці технологічних процесів є задача технічного нормування робочого часу, тобто нормування праці.

Технічне нормування праці - це сукупність методів і прийомів по виявленню резерву робочого часу і встановленню необхідної міри праці. Технічна норма часу є основою для визначення необхідної якості продукції, що випускається, кількості устаткування і раціонального його завантаження, виробничої потужності ділянок і цехів, розрахунку основних показників праці і заробітної плати, а також є основою для оперативного (календарного) планування.

При впровадженні верстатів із ЧПК, гнучких виробничих систем ГВС необхідно оцінювати стратегічні принципи перебудови машинобудівного виробництва. Головними джерелами техніко-економічної ефективності при впровадженні ГВС є підвищення коефіцієнта завантаження з 0,4...0,6 до 0,85...0,9 і коефіцієнта змінності з 1,3...1,6 до 2,0...3,0, зменшення вкладів в оборотні фонди завдяки скороченню в кілька разів виробничого циклу і кількості виробничого й обслуговуючого персоналу в 1,7...2 рази, практична реалізація безлюдної технології обробки.

Виконання перерахованих техніко-економічних показників вимагає підвищення надійності функціонування всіх елементів ГВС, оснащення комплексу системами автоматичного контролю якості обробки деталей, стану інструмента, діагностики несправності інструмента. Для гнучкого автоматизованого виробництва характерний високий рівень капітальних вкладів. Для окупності цих витрат від підприємства потрібно безупинне щорічне зростання показників економічної ефективності.

Основні показники економічної ефективності від застосування ГАП підрозділяються на три групи.

У першу групу входять показники, що характеризують технологічність конструкції деталі, яка оцінюється коефіцієнтами складності і необхідної точності обробки.

В другу групу входять наступні показники: річний обсяг випуску деталей, коефіцієнт закріплення операцій і робочих місць, тип виробництва.

Третя група визначає показники соціальної ефективності: підвищення рівня автоматизації і механізації праці працюючих; ріст енергооснащеності праці; підвищення інтелектуального рівня праці; зменшення плинності кадрів; зниження захворюваності і травматизму робітників; підвищення естетичності засобів у приміщеннях і ін.

Перша група витрат пов'язана з показниками ефективності прямої економії. Джерелами ефективності тут є підвищення продуктивності устаткування, збільшення змінності його роботи і коефіцієнтів завантаження й ін.

Друга група витрат, що враховує непрямі джерела економічної ефективності, відбиває зміну організаційної структури підприємства. Вона включає технологічну підготовку виробництва, обробку інформації, керування й обслуговування.

Головними статтями непрямой економіки стають: прискорення виробничого циклу із зменшенням міжопераційних наробок; зниження рівня незавершеного виробництва; зниження рівня складських запасів і витрат на їхнє збереження; зменшення витрат праці на ремонтні роботи; підвищення ефективності обробки інформації; зниження витрат на реконструкцію виробництва [35].

Економія від джерел ефективності, що мають соціальне і народногосподарське значення, виявляється в результаті поліпшення якості продукції, що випускається, підвищення її конкурентноздатності і визначення кон'юнктури ринку.

При оцінці економічної ефективності ГВС здійснюється зіставлення ефективності її роботи з окремо працюючими верстатами ЧПК.

Підвищення продуктивності спостерігається при обробці виробів, що вимагають великих витрат на переналагодження устаткування і вкладення оборотних коштів, пов'язаних з незавершеним виробництвом.

Втрати часу на переналагодження верстатів із ЧПК залежать від трудомісткості виготовлення деталі. Якщо обробка здійснюється малими партіями, то втрати на переналагодження автономних верстатів із ЧПК збільшуються, а при обробці великих партій - зменшуються.

З іншого боку, із збільшенням партії деталей збільшується обсяг незавершеного виробництва, що приводить до зросту оборотних коштів. Тому важливим стає питання про визначення оптимальної величини запуску деталей у виробництво.

У табл. 8.1 наведені усереднені техніко-економічні показники застосування автономних верстатів із ЧПК, оброблюючих центрів,

ГПМ і гнучкої виробничої системи (ГВС), сформованої на базі цих верстатів [36].

Застосування в складі ГВС обробних центрів дозволяє в 2...3 рази збільшити продуктивність праці, у 2...5 підвищити добову віддачу верстатів при скороченні числа обслуговуючого персоналу в порівнянні з універсальними верстатами.

Таблиця 8.1

Техніко-економічні показники	Верстат ЧПК	Обробл. центр	ГВС
1. Підвищення продуктивності в порівнянні з універсальним устаткуванням, рази	2–3	3–5	6–8
2. Число вивільнених робітників при багатове-рстатному обслуговуванні, чол.	4	7	50–90
3. Скорочення використовуваного обладнання, рази	3–4	3–6	7–10

Варто відмітити, що для гнучкого автоматизованого виробництва характерний високий рівень початкових капітальних вкладень. Цілком зрозуміло, що від таких капіталовкладень потрібна відповідна віддача.

Показовий приклад японської фірми “Ямазаки”, приведений у роботі [37]. В результаті впровадження ГВС механообробки, число верстатів фірми зменшилося з 68 до 18, займана устаткуванням площа скоротилася в три рази, число працівників зменшилося з 215 до 12 чоловік, час обробки виробу скоротився в середньому з 35 до 1,5 днів. Однак з 18 млн. доларів, що були витрачені при створенні ГВС, через два роки окупилося тільки 6,8 млн. доларів.

З наведеного прикладу випливає, що при впровадженні ГВС, крім відчутної за короткий час вигоди, необхідно оцінювати стратегічні принципи перебудови машинобудівного виробництва на базі застосування технології нового покоління.

8.2. СТРУКТУРА НОРМИ ЧАСУ

У машинобудуванні норма часу звичайно встановлюється на технологічну операцію.

Згідно ГОСТу 3.1109–82, нормою часу називається регламентований час виконання деякого обсягу робіт у визначених виробничих умовах одним чи декількома виконавцями відповідної кваліфікації. Технічно обґрунтована норма часу оцінюється штучно-

калькуляційним часом

$$T_{ш.к} = T_{ш} + \frac{T_{н.з}}{n}, \quad (8.1)$$

де $T_{ш.к}$ – штучно-калькуляційний час; $T_{ш}$ – норма штучного часу; $T_{н.з}$ – підготовчо-заклучний час на партію оброблюваних заготовок; n – кількість деталей у партії.

Штучний час дорівнює відношенню часу циклу технологічної операції до числа виробів, що одночасно виготовляються.

Норма штучного часу $T_{ш}$ вираховується за формулою

$$T_{ш} = T_o + T_v + T_{обс} + T_{від} = T_{оп} + T_{обс} + T_{від} \quad (8.2)$$

де T_o – час, протягом якого здійснюється зміна розмірів і форми заготовки, зовнішнього вигляду і шорсткості поверхні.

Основний час може бути машинним, машинно-ручним і апаратним. При всіх верстатних роботах основний час визначається відношенням величини шляху, пройденого оброблюваним інструментом, до його хвилинної подачі:

$$T_o = T_m = \frac{L_i}{S_{min}} = \frac{L_i}{n \cdot S} = \frac{Lz}{n \cdot S \cdot t}, \quad (8.3)$$
$$L = l + l_1 + l_2,$$

де T_m – машинний час, хв; L – довжина шляху інструмента, мм; l – довжина оброблюваної поверхні, мм; l_1 – величина врізування інструмента, мм; l_2 – величина перебігу (сходу) інструмента, мм; i – число ходів; S_{min} – подача, мм/хв; n – частота обертання шпинделя чи фрези; z – припуск на сторону, мм.

При розрахунку основного часу за формулою (8.3) елементи режиму різання n, S, t визначаються формулами теорії різання чи за таблицями нормативів [38].

Допоміжний час включає витрати часу на встановлення і зняття заготовки, час на переміщення частин верстата, на зміну режиму роботи верстата, час на зміну інструмента і вимірювання розмірів.

Час обслуговування робочого місця $T_{обс}$ являє собою частину штучного часу, що витрачається виконавцем на підтримку засобів технічного оснащення в працездатному стані і догляд за робочим місцем. В умовах масового виробництва час обслуговування робочого місця підрозділяється на час технічного обслуговування і час організаційного обслуговування.

Час технічного обслуговування T_{tex} – це час, що витрачається на догляд за робочим місцем (устаткуванням), зміну інструмента, який затупився, підналагодження устаткування в процесі роботи, збирання стружки з зони обробки і т.д. Цей час визначається у відсотках до основного часу.

Час організаційного обслуговування T_{opz} – це час, що витрачається на догляд за робочим місцем протягом робочої зміни: час на підготовку інструмента на початку зміни, огляд устаткування, змащення і чищення устаткування після закінчення роботи. Це час також визначається у відсотках стосовно основного часу.

Час відпочинку T_{vid} – це частина штучного часу, що витрачається на особисті потреби людини. Цей час не перевершує 2% від тривалості робочої зміни.

В одиничному і серійному виробництвах норма часу визначається формулою (8.1). У зв'язку з тим, що в одиничному і серійному виробництвах час на обслуговування робочого місця не підрозділяється на організаційний і технічний, формула для підрахунку штучного часу спрощується і приймає вигляд

$$T_{ш} = (T_o + T_v) \left(1 + \frac{k}{100} \right), \quad (8.4)$$

де k – відсоток оперативного часу на обслуговування робочого місця, відпочинок і особисті потреби.

На машинобудівних заводах продуктивність обробки оцінюється штучним чи штучно-калькуляційним часом. За часом, що витрачається на обробку, звичайно судять про те, який метод є найбільш економічним. Однак слід зазначити, що різні технологічні процеси обробки металів, починаючи від обробки металів тиском до фізико-хімічних методів, мають різні енерговитрати. У табл. 8.2 представлені результати питомої енергії технологічних операцій [88].

Механічна робота оцінюється добутком шляху L на силу F . $A = L \cdot F$. Якщо шлях інструмента можна визначити розрахунковим шляхом, то сила різання визначається з експерименту.

Фахівці з технології машинобудування знають, що є “вигідна” і “невигідна” робота. За цим виробничим поняттям ховається розходження в потужності, що витрачається на виконання роботи. Наприклад, менший час видалення постійного припуску вимагає більшої витрати потужності: $t_m = A \cdot p^{-1}$.

Технологи, доводячи корисність і необхідність концентрації переходів (операцій), як аргумент, висувають очевидний факт – зменшення часу процесу обробки.

Розглянемо обробку східчастого валика, що має n ступеней, на токарному верстаті.

При послідовній обробці ділянок східчастого вала, що має довжину кожної ступіні l_i , із силою різання F , робота, яка витрачається на обробку, буде дорівнювати

$$A_{оп1} = F \left(n \sum_{i=1}^n l_i \right).$$

При обробці на багаторізцевому верстаті загальний шлях L буде дорівнювати максимальній довжині ступіні. Сила різання при одночасній обробці всіма різцями, встановленими на передньому супорті, буде дорівнювати (nF) . Робота, витрачена на різання буде дорівнювати

$$A_{оп2} = L(nF).$$

Таблиця 8.2

№ п/п	Операції	Енергетичні витрати на обробку, Дж/см ³	Площа поперечного перерізу, мм ²	Швидкість різання
1	Холодне згинання	$(0,5 \div 1,0) \cdot 10^1$	-	-
2	Холодне штампування	$(2,2 \div 5,7) \cdot 10^1$	-	-
3	Холодне вдавнення	$(5,5 \div 7,9) \cdot 10^2$	-	-
4	Точіння	$(1,7 \div 2,5) \cdot 10^3$	1,0	1,5 ÷ 4,5
5	Протягування	$(2,5 \div 3,7) \cdot 10^3$	0,5	0,1 ÷ 0,5
6	Фрезерування	$(5,0 \div 7,5) \cdot 10^3$	0,3	1,2 ÷ 6
7	Шліфування	$(5,1 \div 7,5) \cdot 10^4$	0,00005	25 ÷ 50
8	Електрохімічне шліфування	$(1,2 \div 5,8) \cdot 10^5$	-	-
9	Ультразвукова обробка	$(6,3 \div 18) \cdot 10^5$	-	-

При послідовній обробці ділянок східчастого вала, що має довжину кожної ступіні l_i із силою різання F , робота затрачувана на обробку, буде дорівнювати

$$A_{оп1} = \int_l \bar{F} d\bar{l}.$$

При обробці на багаторізцевому верстаті загальний шлях L буде дорівнювати довжині максимальної ступіні. Сила різання при одночасній обробці всіма різцями, встановленими на передньому супорті, буде дорівнювати (n) . Робота, затрачувана на різання, буде дорівнювати

$$A_{OP_2} = \sum_1^n \int \overline{F_i} d\overline{l}.$$

В обох варіантах сумарна робота, витрачена на різання, буде однакою:

$$A_{on_1} = A_{on_2}.$$

Однак другий варіант має в n раз менший час на обробку.

Сталість роботи на операціях однієї фізичної природи підтверджує закон збереження енергії. Платити треба за енергію, а не за час. Отже, заощадження енергоресурсів докорінно змінює підхід до оцінки ефективності діючих і проєктованих технологічних процесів у машинобудуванні.

В процесі виготовлення деталей матеріал піддається деформуванню при обробці тиском (кування, штампування); деформуванню і релаксації при обробці різанням (точіння, фрезерування, протягування й ін.); дифузії, адгезії у фізичних процесах; молекулярний, іонний, атомний перенос у хімічних процесах. Усі ці процеси різноманітні за своєю природою, і може скластися така думка, що в них немає нічого загального, але це не так. Загальним є витрата енергії на процес обробки, що вимірюється для кожного матеріалу єдиної за фізичним змістом характеристикою – питомою роботою (енергією):

$$A = a \cdot V,$$

де A – робота, витрачена на обробку (Дж); a – питома робота (Дж/мм³); V – обсяг матеріалу (мм³).

На прикладі двох технологічних процесів шліфування і тонкого точіння розглянемо їхню ефективність по енерговитратах.

При видаленні однакового припуску роботи, що витрачаються на шліфування і тонке точіння:

$$A_{ш} = a_{ш} \cdot V; \quad A_m = a_m \cdot V.$$

З роботи Гусарєва В. С. [88]:

$$a_{ш} = (5,1 \dots 7,5) \cdot 10^4; \quad a_m = (1,7 \dots 2,5) \cdot 10^3.$$

$$\frac{A_{ш}}{A_m} = \frac{a_{ш}}{a_m} = \frac{(5,1 \dots 7,5) \cdot 10^4}{(1,7 \dots 2,5) \cdot 10^3} = 30.$$

Енерговитрати на тонке точіння в 30 разів менші, ніж на шліфування. Отже, якщо дозволяють фізико-механічні властивості матеріалу і пропоновані вимоги до точності і шорсткості поверхні деталей, то при розробці технологічних процесів бажано призначати для обробки менш енергоємні процеси.

У роботі [89] запропонована формула для визначення енергови-

трат при обробці штучного виробу

$$\xi = p_m t_m + aV + p_p t_p,$$

де p_m і t_m – потужність (Вт) і машинний час (с); a – питома робота (Дж/мм³); V – об'єм матеріалу (мм³); t_p – час на допоміжні переходи (с); p_p – питома енергія робітника (людини), Дж/с [89].

8.3. ОСОБЛИВОСТІ НОРМУВАННЯ БАГАТОІНСТРУМЕНТАЛЬНОЇ ОБРОБКИ

При обробці на багаторізцевих і багатопозиційних верстатах і на автоматичних лініях особливості операції накладають на режим різання наступні обмеження:

1. Всі інструменти повинні працювати з однаковою подачею на оборот шпинделя чи на один подвійний хід.

2. Довжина ходу для всіх інструментів повинна бути однаковою, тому що різці закріплюються на одному супорті.

3. Всі інструменти повинні працювати при одній і тій же частоті обертання шпинделя і мати однакову хвилинну подачу. При забезпеченні однакової подачі варто мати на увазі, що для деяких інструментів присутній не тільки гранично припустимий максимум, але і є гранично припустимий мінімум. Наприклад, при роботі на багаторізцевих верстатах твердосплавними різцями подача повинна бути не менша 0,04 - 0,05 мм/об.

При роботі різцями, оснащеними твердосплавними пластинами Т5К10, Т15К6, Т14КВ, Т30К4 і ін., швидкості різання повинні бути не нижче 40 - 50 м/хв.

Якщо немає можливості зменшити час роботи лімітуючого супорта, то подачі інших супортів повинні бути знижені. Таке вирівнювання часу роботи супортів збільшує стійкість різжучих інструментів.

8.4. ТЕХНОЛОГІЧНА СОБІВАРТІСТЬ

Цехова собівартість технологічної операції без обліку витрат на заготівлю визначається з виразу

$$C_{оп} = C_{з.в.} + C_a + C_{рем} + C_{ен} + C_v + C_{пр} + C_{ін} + C_n, \quad (8.5)$$

де $C_{з.в.}$ – заробітна плата верстатника (з відрахуванням у фонд соцстраху); C_a – амортизаційні відрахування на заміну верстата; $C_{рем}$,

$C_{ен}, C_{в}, C_{пр}, C_{ін}, C_n$ – витрати на ремонт верстата, силову електроенергію, допоміжні матеріали, амортизацію і ремонт універсальних пристроїв, амортизацію, ремонт і заточення універсальних інструментів, витрати на експлуатацію приміщення.

Елементи технологічної собівартості можна умовно розділити на дві групи, одна з яких не залежить ($C_{рем}, C_{в}$), а друга залежить від режимів різання ($C_{з.в.}, C_a, C_{ен}, C_{пр}, C_{ін}, C_n$).

Друга група елементів собівартості операцій пропорційна штучному часу, тому її можна привести до 1 хв роботи устаткування ($C'_{з.в.}, C'_a, C'_{ен}, C'_{пр}, C'_{ін}, C'_n$). Отже, $C_{з.в.} = C'_{з.в.} \cdot t_{шт.р}$; $C_{ін} = C'_{ін} \cdot t_{шт.р}$; $C_a = C'_a \cdot t_{шт.р}$; $C_{пр} = C'_{пр} \cdot t_{шт.р}$; $C_n = C'_n \cdot t_{шт.р}$; $C_{ен} = C'_{ен} \cdot t_{шт.р}$.

Ввівши позначення $R = C'_{з.в.} + C'_a + C'_{ен} + C'_{пр} + C'_n$, технологічну собівартість можна представити у вигляді

$$C_{он} = R \cdot t_{шт.р} + C'_{ін}. \quad (8.6)$$

Інструментальні витрати на одну деталь можна знайти за формулою

$$C'_{ін} = \frac{p}{q},$$

де q – число деталей, оброблених за період стійкості інструмента T :

$$q = \frac{T}{t_p}. \quad (8.7)$$

Інструментальні витрати, приведені до одного періоду стійкості

$$p = \frac{S_{ін}}{n_m} + C_{пер} + C_{зам.ін}, \quad (8.8)$$

де $S_{ін}$ – покупна вартість інструмента; $C_{пер}$ – вартість переточування, приведена до одного періоду стійкості; n_m – кількість періодів стійкості; $C_{зам.ін}$ – вартість заміни інструмента, що затупився, приведеного до одного періоду стійкості.

Після підстановки і перетворень одержимо

$$C_{он} = R \cdot t_{шт.р} + \frac{t_p}{T} p. \quad (8.9)$$

Штучну продуктивність, що залежить від режимів різання, можна представити у вигляді

$$t_{шт.р} = t_o + t_{см}, \quad (8.10)$$

де $t_o = \frac{t_p}{\lambda}$; $t_p = \frac{Lh}{Stn}$.

Після підстановки залежностей (8.10), (8,9) одержимо

$$C_{on} = \frac{Lh}{nSt\lambda} \cdot R + \frac{Lh}{nSt\lambda} \cdot R \cdot \frac{T_{cm}}{T} + p \cdot \frac{Lh}{nSt\lambda} \cdot \frac{1}{T}. \quad (8.11)$$

З врахуванням перетворень [29] одержимо

$$C_{on} = \frac{Lh}{nSt\lambda} \cdot R + \frac{T_{cm}}{T} \cdot C_1 T^m R + \frac{p}{T} \cdot C_1 T^m. \quad (8.12)$$

Прирівнюючи часткову похідну по T (8.12) до нуля, одержимо

$$\frac{\partial C_{on}}{\partial T} = \frac{C_1 R}{\lambda} m T^{m-1} + R T_{cm} C_1 (m-1) T^{m-2} + p C_1 (m-1) T^{m-2} = 0;$$

$$\frac{R}{\lambda} m + R T_{cm} (m-1) T^{-1} + M (m-1) T^{-1} = 0.$$

Звідки

$$T = \frac{(1-m)(R T_{cm} + p)}{mR} \lambda. \quad (8.13)$$

Після підстановки (8.13) у вираз (8.11) одержимо

$$C_{on} = \frac{Lh}{nSt} \cdot \left[\frac{R}{\lambda} + \frac{1}{T} (T_{cm} \cdot R - p) \right] = \frac{Lh}{nSt} \cdot \frac{R}{\lambda} \cdot \left(\frac{1}{1-m} \right). \quad (8.14)$$

8.5. ЕКОНОМІЧНЕ ПОРІВНЯННЯ ВАРІАНТІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Співставлення економічності варіантів технологічних процесів здійснюється шляхом порівняння собівартості обробки заготовок, що відбиває витрати живої й упередметненої праці.

Розрахунок економічності варіантів технологічних процесів проводиться двома методами: бухгалтерським і елементним.

Бухгалтерський метод розрахунку економічної ефективності варіантів технологічного процесу.

Собівартість обробки партії заготовок визначається формулою

$$C = A \cdot n + B, \quad (8.14)$$

де C – собівартість партії заготовок; n – кількість оброблених заготовок у партії, шт; A – поточні витрати, що повторюються при виготовленні кожної заготовки; B – одноразові витрати, що здійснюються один раз на всю кількість заготовок чи періодично на визначену їхню партію.

Собівартість обробки однієї заготовки в цьому випадку визна-

чається за формулою

$$C_{заг} = A + \frac{B}{n}. \quad (8.15)$$

До складу одноразових витрат B , що входять у формули (8.15) і (8.14), включаються витрати на придбання спеціальних верстатів і інструментів, а також витрати на налагодження цих верстатів.

Поточні витрати A містять у собі: вартість вихідної заготовки $C_{заг}$, витрати на заробітну плату основних робітників C_3 і всі цехові витрати, пов'язані з амортизацією і ремонтом устаткування, змістом будинків, витрати на силову електроенергію, витрати на нормальний ріжучий і вимірювальний інструменти, витрати на заробітну плату інженерно-технічних працівників і допоміжних робочих цехів.

Цехові витрати визначаються у відсотках від заробітної плати основних робочих цехів:

$$A = C_{заг} + C_3 \cdot \left(1 + \frac{p}{100}\right), \quad (8.16)$$

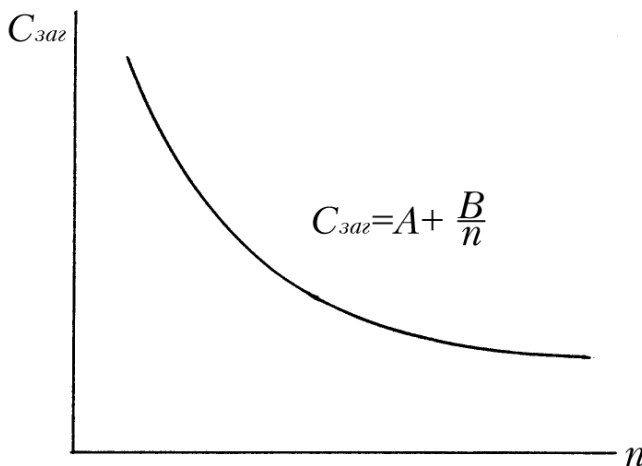


Рис. 8.1. Залежність технологічної собівартості однієї деталі від числа оброблених заготовок.

ся за гіперболічним законом, асимптотично наближуючись до граничного мінімального значення $C_{кр}$ (рис. 8.1). Граничне значення технологічної собівартості змінюється в залежності від величини одноразових витрат B .

Технологічний процес, що включає постійні одноразові витрати B_1 , при кількості заготовок у партії, що перевищує граничне значення n_1 , не може бути реалізований. Для його реалізації необхідно зробити додаткові одноразові витрати, наприклад, шляхом введення в лад додаткового верстата чи застосування нового ріжучого інструмента і т.д.

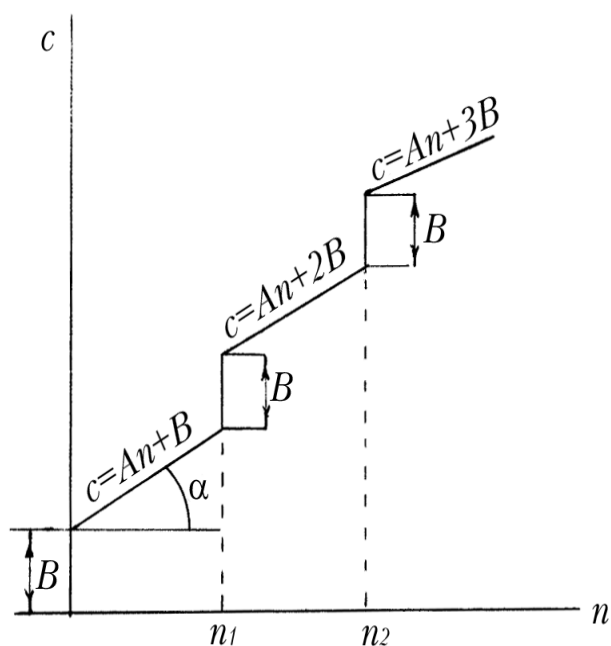


Рис. 8.2. Залежність технологічної собівартості від числа оброблюваних деталей.

технологічну собівартість.

Наприклад, на рис. 8.3 представлені три варіанти технологічних процесів обробки отвору ($\varnothing 60^{+0,02}$ мм, $R_a=1,25$ мм) протягуванням (крива 1), розточуванням різцевою головкою (крива 2) і розточуванням прохідним різцем (крива 3).

Періодично повторюючі витрати: B_1 – вартість протягування; B_2 – вартість різцевої головки; B_3 – вартість різця.

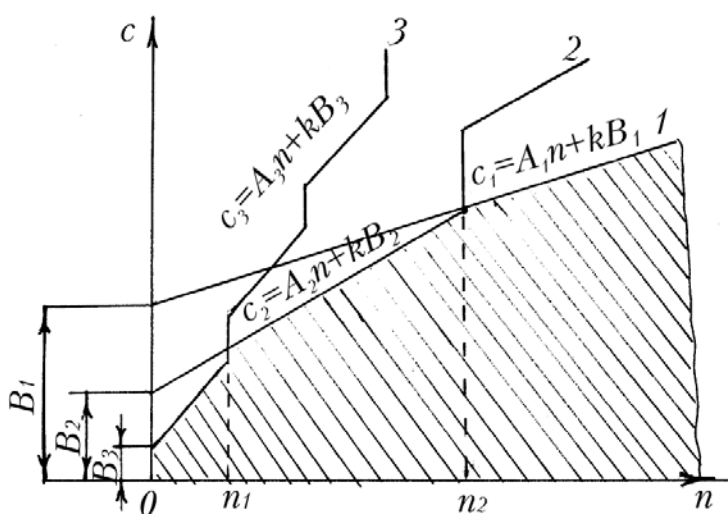


Рис. 8.3. Залежність технологічної собівартості від числа оброблюваних деталей: 1 – при протягуванні, 2 – при розточуванні різцевою головкою, 3 – розточуванні різцем.

В цих умовах залежність собівартості від кількості заготовок, що виготовляються, буде мати східчастий вигляд (рис. 8.2).

Кут нахилу прямих ($C = A \cdot n + B$) щодо осі n обернено пропорційний продуктивності обробки. При різних варіантах технологічних процесів, що мають різну продуктивність обробки, критичні значення оброблюваних заготовок неоднакові.

При порівнянні ефективності проєктованих технологічних процесів найкращим вважається той варіант, який при заданій кількості заготовок має найменшу

При обробці партії заготовок від $n=1$ до $n=n_1$ найбільш економічно робити розточування отвору прохідним різцем, при обробці партії заготовок від n_1 до n_2 найбільш економічним вважається другий варіант обробки (розточування отвору різцевою головкою).

При розмірі партії заготовок $n > n_2$ найбільш економічним вважається перший варіант (протягування).

вання отвору). На рис. 8.3 зона найменших витрат заштрихована.

Елементний метод. Найбільш точним методом розрахунку собівартості варіантів технологічних процесів при їхньому співставленні вважається елементний метод. Розрахунок технологічної собівартості в цьому випадку здійснюється за формулою (8.5). Окремі доданки собівартості знаходять не прямим розрахунком за точними формулами, а по відповідним нормативним таблицям. Як приклад у табл. 8.3 приведені деякі дані по елементах витрат на 1 годину роботи верстата з нормативів [34].

Таблиця 8.3

Тип верстата і його характеристика	$C_{з.с}$	$C_{ен}$	C_v	$C_{рем}$	C_a	$C_{пр}$	C_z	$C_{ін}$	$C_{ст.ч}$
1. Токарно-гвинторізний 1К62 ($max\varnothing$ 400 мм)	92,7	7,1	1,2	11,2	3,9	9,3	4,1	5,2	134,7
2. Токарний із ЧПК 16К20	35,3	3,8	1,7	26,5	19,3	21,2	5,8	5,0	118,6
3. Алмазно-розточний 2706	119,5	1,0	1,2	18,5	13,0	8,5	0,3	2,4	164,4
4. Круглошліфувальний 312М	108,5	2,6	1,3	8,8	6,5	5,1	5,4	3,1	141,3
5. Горизонтально протяжний	93,8	5,3	2,3	28,9	5,1	7,6	1,2	3,4	147,6

Технологічна собівартість операції C_m дорівнює добутку собівартості верстато-години $C_{верстато.год}$ на загальну трудомісткість операції $T_{шт.к}$

$$C_m = C_{верстато.год} \cdot T_{шт.к} \quad (8.17)$$

Похибка розрахунку технологічної собівартості за нормативами досягає 15 - 20% у порівнянні з результатами розрахунку за точними формулами. Однак для більшості випадків точність такого розрахунку є достатньою, тому він може бути рекомендований для широкого практичного застосування.

Варто помітити, що якщо витрати на технологічне оснащення і спеціальне устаткування невеликі, то оцінка економічної ефективності варіантів по технологічній собівартості і продуктивності обробки буде досить об'єктивною. Але якщо в одному з розглянутих варіантів передбачається придбання дорогого спеціального устаткування чи спеціалізованого оснащення, то співставлення економічності варіантів тільки по технологічній собівартості і трудомісткості обробки виявляється недостатнім. Високопродуктивне оснащення і спеціальне устаткування, як правило, забезпечують менші витрати на обробку заготовки, тому співставлення варіантів по собівартості і трудомісткості можуть виявитися на користь варіанта з великими капітальними вкладеннями.

Для об'єктивної оцінки економічності порівнюваних технологічних процесів варто приймати за основу доцільність додаткових капітальних витрат, що визначаються за допомогою коефіцієнта економічної ефективності капітальних вкладень

$$E = (C_1 - C_2) \cdot (K_2 - K_1), \quad (8.18)$$

де C_1, C_2 – собівартість річного випуску заготовок за першим і другим варіантами, грн/рік; K_1, K_2 – капітальні витрати, пов'язані із здійсненням першого і другого варіантів технологічного процесу, грн.

Для визначення економічної доцільності введення нової техніки в різних галузях промисловості встановлений нормативний коефіцієнт економічної ефективності E_n , що визначає мінімальну величину річної економії на собівартості продукції на 1 гривню додаткових капітальних витрат. Для машинобудівної промисловості $E_n = 0,2$ в рік на 1 гривню капітальних вкладів. Економічна доцільність додаткових капітальних вкладів визначається шляхом порівняння розрахункового E з нормативним E_n коефіцієнтом економічної ефективності:

$$E = (C_1 - C_2) \cdot (K_2 - K_1) \geq E_n.$$

При порівнянні економічності різних варіантів варто підраховувати приведені витрати:

$$Z_{np} = C_{zag} \cdot q + E_n \cdot K, \quad (8.19)$$

де Z_{np} – приведені витрати на здійснення річного випуску заготовок, грн; C_{zag} – вартість виготовлення однієї заготовки, грн/од; q – річний випуск заготовок, од.; K – капітальні вкладення на здійснення даного варіанта технологічного процесу, грн.

З формули (8.19) випливає, що приведені витрати складаються із собівартості річного випуску ($C = C_{zag} \cdot q$) і нормативної річної економії для відповідної галузі промисловості при раціональному використанні капітальних вкладів ($E_n \cdot K$).

Приведені витрати Z_{np} визначаються для кожного порівнюваного варіанта. Кращим визнається варіант із мінімальними приведеними витратами. Річний економічний ефект від впровадження розробки визначається різницею приведених витрат порівнюваних варіантів

$$E_{pich} = Z_{np.б.} - Z_{np}, \quad (8.20)$$

де $Z_{np.б.}$ – приведені витрати базового варіанта; Z_{np} – приведені витрати нового варіанта.

Р О З Д І Л 9

ТЕХНОЛОГІЧНІСТЬ КОНСТРУКЦІЇ МАШИНИ

9.1. ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ ПРО ТЕХНОЛОГІЧНІСТЬ КОНСТРУКЦІЇ ВИРОБУ

Критерієм оцінки технологічності конструкції виробу є її економічна доцільність при заданій якості і прийнятих умовах виробництва. При такому підході до оцінки конструкції необхідно розглядати весь комплекс вимог до виробу в цілому, щоб, наприклад, незначна економія засобів при виготовленні не привела згодом до різкого збільшення витрат на технічне обслуговування і ремонт.

Оцінку технологічності конструкції виробу в порівнянні з виробом кращого вітчизняного чи закордонного зразка проводять, зіставляючи їхню трудомісткість, собівартість і матеріалоемність. Додатково визначають ступінь уніфікації марок матеріалу, уніфікацію і нормалізацію елементів виробу, раціональне розчленовування його на конструктивні і технологічні елементи. Визначають конструктивну наступність оригінальних деталей, коефіцієнти середнього класу точності і шорсткості поверхонь деталей виробу, можливості скорочення термінів підготовки й освоєння виробництва виробу, а також можливість автоматизації його виготовлення.

Технологічність конструкції виробу - поняття відносне. Для різних типів виробництва технологічність конструкції однієї і тієї ж машини може бути різною. Технологічність конструкції того самого виробу буде різною для заводів з різними виробничими можливостями. Виріб досить технологічний в одиничному виробництві, може бути зовсім нетехнологічним у поточно-автоматизованому виробництві.

Поняття технологічності конструкції машини поширюється не тільки на сферу виробництва, але і на сферу її експлуатації. Конструкція машини повинна бути ремонтно-придатною і зручною для обслуговування. Останнє важливо, оскільки витрати на усі види ремонту часто перевищують у кілька разів собівартість виготовлення нових

виробів. Підвищення ремонтпридатності виробу забезпечується легкістю і зручністю його розбирання і складання, здійсненням ремонту елементів виробу, введенням у конструкцію змінних спрацьованих деталей, а також можливістю відновлення найбільш складних деталей.

Конструкція виробу повинна відпрацьовуватися на технологічність у процесі створення самої конструкції при творчій співдружності конструкторів і технологів. Відпрацьовування конструкції на технологічність починаються на стадії розробки технічного завдання і технічної пропозиції на проектування нового виробу. Ця робота продовжується і поглиблюється на стадії розробки ескізного і технічного проектів і технічної документації. На стадії розробки технічної пропозиції аналізуються варіанти принципових схем і компоновань виробу. На стадії ескізного проекту виявляють номенклатуру і параметри деталей, можливість їхньої уніфікації і стандартизації, аналізують умови складання основних деталей, точність їхнього виготовлення. На стадії технічного проекту виконують роботи по забезпеченню технологічності основних складних деталей, а на стадії розробки робочої документації здійснюють оцінку технологічності конструкції на відповідність основним вимогам до складання виробу.

9.2. ВИМОГИ ДО КОНСТРУКЦІЙ ДЕТАЛЕЙ І ЗАГОТОВОК

Конфігурація деталей повинна бути простою, що забезпечує можливість застосування високопродуктивних методів обробки і повинна мати надійну установчу базу для обробки. Задані точність і шорсткість поверхонь деталі повинні бути обґрунтовані її службовим призначенням. Необґрунтовано завищені вимоги до точності і шорсткості змушують вводити додаткові операції, подовжують цикл обробки, збільшують трудомісткість обробки і підвищують собівартість деталі.

Стандартизація й уніфікація деталей і їхніх елементів сприяють зменшенню трудомісткості процесів виробництва і зниженню собівартості деталей за рахунок збільшення серійного випуску й уніфікації верстатних пристосувань.

При куванні бажано, щоб заготовки мали просту симетричну форму. Варто уникати перетинань циліндричних елементів між собою. Деталі, конфігурація яких не піддається спрощенню, доцільно замінити зварними виробами, що складаються з простих елементів. Геометрична форма заготовок повинна забезпечувати можливість їхнього ві-

льного витягування із штампа. Бічні поверхні заготовки повинні мати штампувальні ухили. В залежності від відношення висоти стінки до її ширини, штампувальні ухили приймають $5 - 15^{\circ}$ для зовнішніх і $7 - 15^{\circ}$ для внутрішніх стінок при відсутності виштовхувачів. При наявності виштовхувачів, ці ухили дорівнюють $2 - 10^{\circ}$ і $3 - 12^{\circ}$ відповідно. Переходи від однієї поверхні до іншої повинні здійснюватися з заокругленнями. Радіуси заокруглень приймаються $1,5 - 12,5$ мм для зовнішніх поверхонь і $4 - 45$ мм для внутрішніх. Конструкція заготовок повинна допускати рознімання штампів на горизонтальній площині.

При конструюванні виливків варто спростувати їхню конфігурацію. Відповідальні поверхні заготовок повинні займати у формі нижнє положення, тому що на верхніх поверхнях можуть виникнути газові раковини. Необхідно забезпечити по можливості рівномірне охолодження вилівка і його вільну усадку. У місцях переходу від товстої

стінки до тонкої передбачають лінійні стягуючі ребра. Їхня товщина складає $0,5 - 0,6$ товщини тонкої стінки. При литті в кокіль товщини стінок залежать від матеріалу: для силуміну - 3 мм, для сталі - $8 - 10$ мм, для сірого невибіленого чавуну - 15 мм. Товщину внутрішніх стінок рекомендується брати $0,6 - 0,7$ товщини зовнішніх стінок. При литті по виплавлюваних моделях можна одержати заготовки з мінімальною товщиною стінок $1,5 - 2,0$ мм і мінімальним радіусом переходу $1,0 - 3,0$ мм.

Вимоги до механічної обробки можна сформулювати в такий спосіб:

1. Для скорочення обсягу механічної обробки необхідно підвищувати точність виконання заготовок.

2. При виборі матеріалу заготовки необхідно враховувати його оброблюваність.

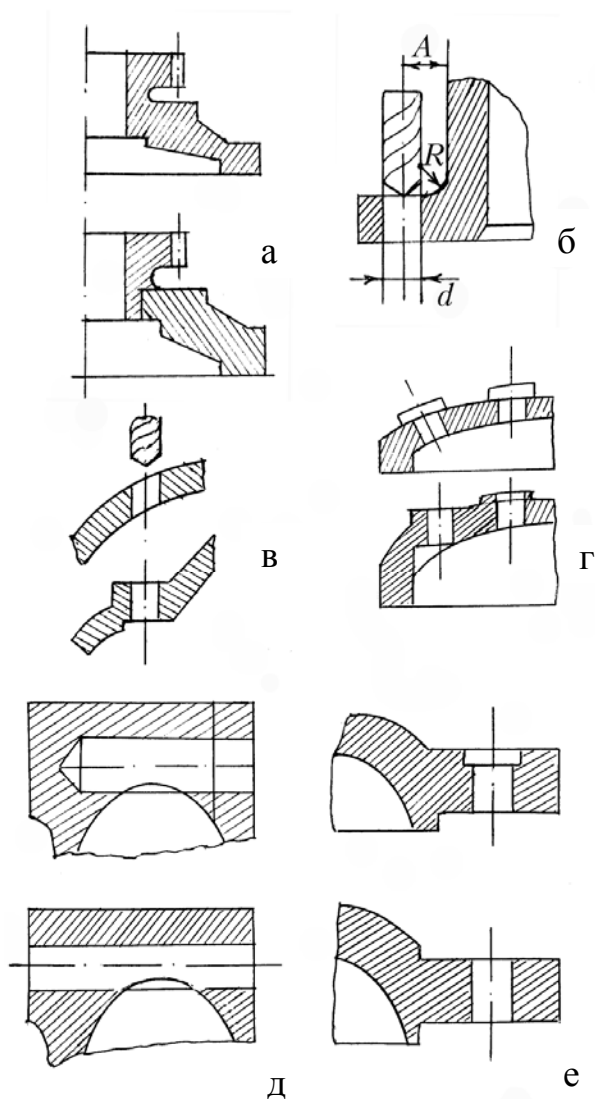


Рис. 9.1. Схеми обробки.

3. Заготовки повинні мати зручну і надійну базу для їхнього встановлення і закріплення на верстаті.

4. Для збільшення режимів різання необхідно підвищувати жорсткість заготовок.

5. Простановка розмірів на кресленнях заготовок і деталей повинна забезпечувати принцип сполучення баз: конструкторської, установчої і вимірювальної.

6. У ряді випадків вигідно складні деталі розділяти на більш прості. Наприклад, складальний варіант великогабаритної шестерні (рис. 9.1, а) дозволяє виконати фланець з більш дешевого матеріалу, чим зубчастий вінець. Крім того, спрощується ремонт, нарізування зубчастого вінця і створюються умови для здійснення процесів зубошліфування і зубохонінгування.

7. Отвори повинні бути пов'язані з конструкцією деталі й інструмента. Вісь отвору повинна розташовуватися від вертикальної стінки на відстані (рис. 9.1, б)

$$A \geq \frac{d}{2} + R,$$

а отвір під з'єднувальні гвинти на відстані

$$A_1 \geq \frac{d_c}{2} + R,$$

де d – діаметр отвору; d_c – діаметр описаного кола гайки; R – радіус перехідної поверхні.

Розміри отворів повинні бути уніфіковані з метою застосування багатошпindelних головок. Щоб уникнути поломок свердлів при свердлінні поверхні на вході і виході інструменти повинні бути перпендикулярні осі отвору (рис. 9.1, в). У дна точних глухих отворів необхідно передбачати канавку для виходу інструмента.

Треба уникати отворів з непаралельними осями (рис. 9.1, г), а також глухих отворів з перехресними осями (рис. 9.1, д). В останньому випадку переважніше передбачають наскрізний отвір із заглушкою. Цекування отворів краще замінити точінням (рис. 9.1, е).

Перед термічною обробкою на деталях не повинно бути отворів, прорізів, канавок, тому що вони є концентраторами напружень, які викликають при нагріванні й охолодженні появу тріщин. Різьбові поверхні, піддані хіміко-термічній обробці, рекомендується не розжарювати, тому що вони досягають підвищеної твердості і стають крихкими.

9.3. РОЗРАХУНОК ПОКАЗНИКІВ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ ВИРОБІВ

Показниками технологічності виробів є: відносна трудомісткість, технологічна собівартість, питома матеріалоємність і ряд коефіцієнтів, що враховують застосування типових технологічних процесів, точність виготовлення деталей, шорсткість поверхні і можливість взаємозамінності вузлів і деталей. Технологічність і собівартість виготовлення виробів залежить не тільки від конструкції, але й у значній мірі від технологічного процесу.

Якщо позначити рівень технологічності конструкції двох конструктивних варіантів виробів через K_1 і K_2 , а трудомісткість їхнього виготовлення при однакових виробничих умовах і однаковій кількості виробів, що випускаються, через T_1 і T_2 , то одержимо

$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{T_1}{T_2} \text{ чи } K_1 = mK_2,$$

де $m = T_1/T_2$ – коефіцієнт, що характеризує ступінь технологічності першого конструктивного варіанта виробу.

Рівень технологічності конструкції по технологічній собівартості K_{pc} визначається як відношення досягнутої собівартості виробу C_m до базового показника технологічної собівартості виробу $C_{б.м.}$

$$K_{pc} = \frac{C_m}{C_{б.м.}}$$

При оцінці технологічності конструкції виробу і його деталей і складальних одиниць враховують: кількість оброблюваних поверхонь, кількість найменувань матеріалів, оптимальні форми деталі, що забезпечують виготовлення з найменшими припусками, стандартизацію й уніфікацію деталей і складальних одиниць, а також види і параметри окремих конструктивних елементів (різьблень, модулів зубчастих коліс, радіусів і т.д.).

Оптимальна конструктивна форма деталі, оброблювана з найменшою трудомісткістю, повинна відповідати наступним основним умовам: мати правильну геометричну форму, що забезпечує можливість її повної обробки від однієї установчої бази, забезпечувати можливість обробки поверхонь і отворів на прохід, мати мінімальну кількість отворів і різьб.

Маса виробів пов'язана з запасом міцності і з застосуванням ви-

сокоміцних матеріалів. Зменшення маси виробу знижує трудомісткість його виготовлення. Між масою виробу і трудомісткістю виготовлення існує певна залежність. Крім того, мінімальна маса виробів, наприклад, вагонів, тракторів, автомобілів і інших транспортних засобів забезпечує мінімальну витрату енергії на їхнє пересування. Різноманіття матеріалів ускладнює процес виробництва і насамперед ускладнюються заготівельні операції. Збільшуються витрати на механічну обробку, тому що різні марки матеріалів вимагають застосування інструментів з різними кутами заточення.

Технологічність конструкції по ознаці уніфікації виробу оцінюється коефіцієнтом

$$K_y = E_y + D_y(E + D),$$

де E_y – число уніфікованих складальних одиниць у виробі; D_y – число уніфікованих деталей, що є складовими частинами виробу і не ввійшли в E_y ; E – кількість складальних одиниць у виробі; D – кількість деталей, що є складовими частинами виробу.

Коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів визначається формулою:

$$K_{ye} = \frac{Q_{ye}}{Q_e},$$

де Q_{ye} – число уніфікованих типорозмірів конструктивних елементів; Q_e – загальне число типорозмірів конструктивних елементів у виробі.

Технологічність конструкції деталі багато в чому залежить від правильності постановки розмірів і призначення допусків. Вони визначають вибір методу обробки і засобів вимірювання. Розміри повинні забезпечувати простоту їхнього вимірювання без перерахування. При постановці розмірів не повинно бути замкнених розмірних ланцюгів з допусками. При обробці деталей на верстатах із ЧПК постановку розмірів варто робити з врахуванням особливостей системи програмного керування.

При імпульсній системі вимірювання всі розміри відраховуються від “нульової точки”, що є початком координат. Тут розміри не пов’язані між собою, тому повинні бути проставлені координатним методом від однієї бази.

При імпульсній системі відліку розміри повинні проставлятися ланцюжком, один за іншим, тому що покази імпульсного лічильника після відліку відрізка шляху, пройденого інструментом, скидаються

на нуль і, при подачі нової команди, починається новий рахунок імпульсів, пропорційний заданому відрізку шляху інструмента.

При призначенні норм точності на окремі розміри і шорсткість поверхні, варто враховувати конкретні виробничі умови і не допускати необґрунтовано завищених допусків і класів шорсткості поверхні. Для розширення середнього допуску на складові ланки розмірного ланцюга в ряді випадків застосовують ймовірний метод розрахунку розмірних ланцюгів.

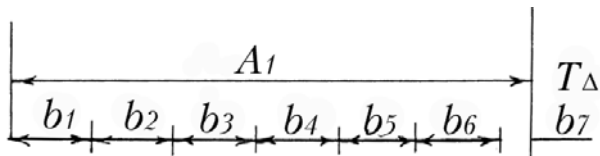


Рис. 9.2. Розмірний ланцюг.

Розглянемо два варіанти розрахунку розмірного ланцюга – методом повної взаємозамінності і методом неповної взаємозамінності.

Для прикладу розглянемо вузол, що складається із шести ланок $b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6$, і замикаючої ланки b_7 , з допуском $T_{\Delta}=0,06$. Схема розмірного ланцюга наведена на рис. 9.2. При повній взаємозамінності середній допуск на кожну ланку

$$T_{cp} = \frac{T_{\Delta}}{m-1},$$

де m – число ланок розмірного ланцюга.

В нашому випадку число ланок дорівнює $m = 7$. Отже, середній допуск на складові ланки буде дорівнювати

$$T_{cp} = \frac{0,06}{7-1} = 0,01 \text{ мм.}$$

При неповній взаємозамінності середній допуск на ланку визначається з виразу

$$T_{cp} = \frac{T_{\Delta}}{t \sqrt{\lambda(m-1)}},$$

де t – коефіцієнт, що залежить від відсотка ризику; λ – коефіцієнт, що враховує розподіл розмірів.

У табл. 9.1 приведені значення t .

Таблиця 9.1

% ризику	t	% ризику	t
0,27	3,00	4	2,05
0,6	2,70	6	1,88
1,00	2,57	10	1,05
2,00	2,31	33	1,00

Коефіцієнт λ залежить від закону розподілу розмірів. Він змінюється від $\frac{1}{5}$ до $\frac{1}{8}$.

Для нормального закону розподілу $\lambda = \frac{1}{6}$, $t = 3$.

$$T_{cp} = \frac{T_{\Delta}}{t\sqrt{\lambda(m-1)}} = \frac{0,06}{3 \cdot \sqrt{\frac{1}{6}(7-1)}} = 0,02 \text{ мм.}$$

Як видно, при незначному ризику вдається помітно розширити середнє значення допусків складових ланок.

РОЗДІЛ 10

МЕТОДИ ОБРОБКИ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

10.1. ОБРОБКА ЗОВНІШНІХ ПОВЕРХОНЬ ТІЛ ОБЕРТАННЯ

Попередня обробка валів. Вали виготовляються з прокату, поковок, штампованих заготовок і виливків. За формою вали розрізняються: гладкі, східчасті, ексцентричні, колінчасті. За розмірами – дрібні (довжиною 150 – 200 мм), середні (довжиною до 1000 мм), великі (довжиною більш 1000 мм). Перед механічною обробкою вали піддаються виправленню на спеціальних правильних верстатах і розрізанню.

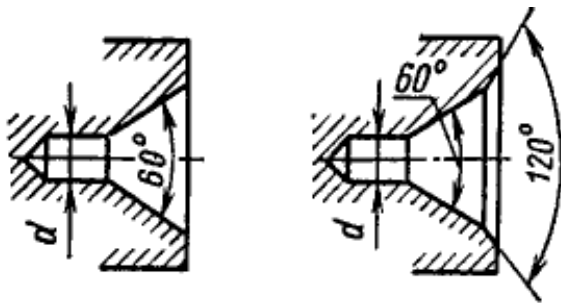


Рис. 10.1. Центрові отвори.

Центрові отвори повинні мати достатні розміри, кут їхньої конусності повинний точно збігатися з кутом конусності центрів верстата. Протилежні центрові отвори повинні знаходитися на одній осі. На практиці частіше використовуються центрові отвори заготовок з кутом 60° . Іноді при обробці великих важких заготовок кут конусності збільшують до $75 - 90^\circ$. Вершина центра не повинна вpirатися в заготовку, тому центрові отвори мають циліндричну частину малого діаметра d (рис. 10.1). З метою запобігання центрального отвору від випадкового його ушкодження з торця вала передбачається спеціальна фаска під кутом 120° .

Центрування здійснюють на вертикально-свердлильних, горизонтально-розточувальних, токарних і револьверних верстатах, а в серійному і масовому виробництвах – на спеціальних фрезерно-центрувальних

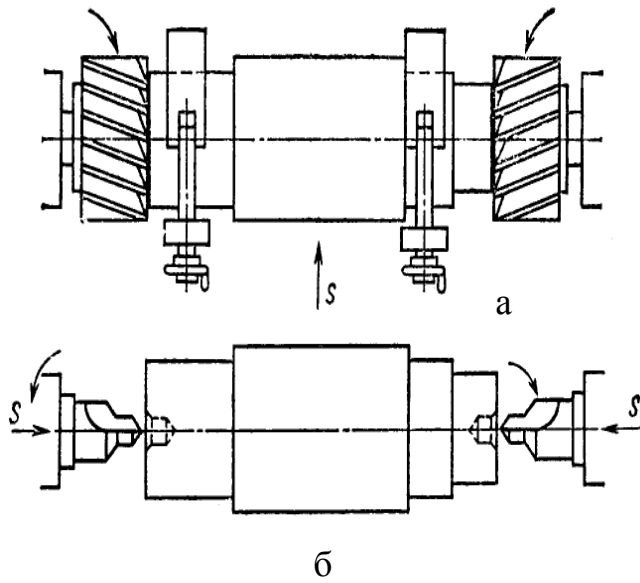


Рис. 10.2. Схема обробки на фрезерно-центрувальному верстаті.

верстатах (рис. 10.2).

Торцеві поверхні валів спочатку фрезерують, а після закінчення операції заготовка переміщується на другу позицію, в якій здійснюється центрування комбінованими центрувальними свердлами. Заготовка базується в самоцентрувальних призмах, повздовжнє переміщення обмежується упором.

Точіння. Деталі, що мають форму тіл обертання, можна розділити на вали, втулки і диски.

Точіння здійснюється на токарно-гвинторізних, гідрокопіювальних, токарно-револьверних, багаторізцевих, токарно-карусельних, одношпиндельних і багатошпиндельних токарних напівавтоматах і автоматах.

Заготовки встановлюють у центрах верстата чи в патронах різних типів: трикулачкових, самоцентруючих, цангових і ін.

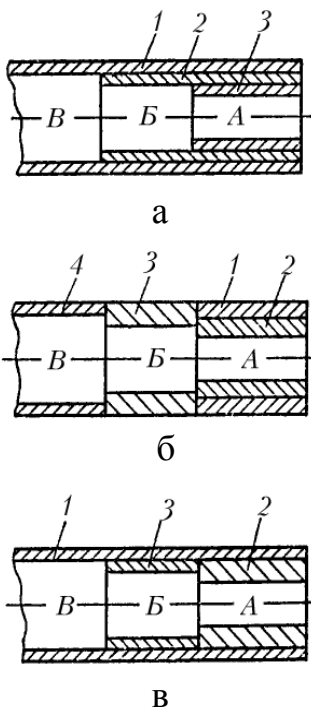


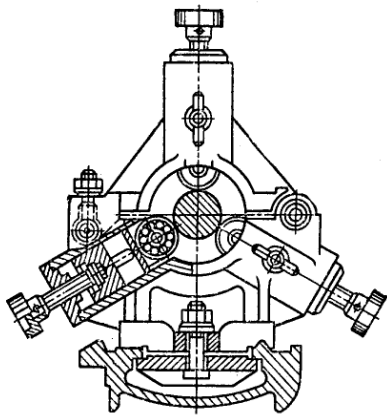
Рис. 10.3. Схеми обточування східчастого вала. 1 – 4 номери переходів; А, Б, В – ступені вала.

Чорнову обробку східчастих валів виконують за різними варіантами (рис. 10.3). Схема обробки з найменшим часом обробки вважається найбільш кращою. При видаленні припуску виходять з міркувань найменшого ослаблення твердості вала, тобто ступені меншого діаметра обробляються останніми.

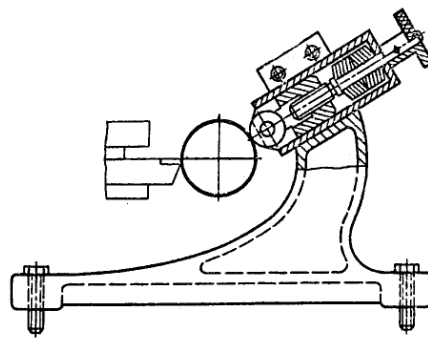
При чорновому точінні точність обробки досягається 14-го квалітета і шорсткість $R_z = 40$ мкм. Чистове точіння забезпечує точність обробки 7 – 8-го квалітета і шорсткість поверхні $R_a = 1,25$ мкм. При обробці довгих, маложорстких валів застосовують нерухомі і рухливі люнети. Люнети служать додатковою опорою, що сприймає навантаження. Рухливий люнет, йдучи за різцем, сприймає силу різання. Оброблювана поверхня спирається на кулачки

люнета. У тих випадках, коли варто забезпечити співвісність поверхні, що обточується, з раніше обробленою, кулачки люнета встановлюють перед різцем, тобто на раніше обточену поверхню. При швидкісному різанні кулачки створюють значне тертя.

Для зменшення тертя застосовують люнети з роликівими опорами (рис. 10.4, а).



а)



б)

Рис. 10.4. Люнет з роликівими опорами (а); рухливий люнет віброгасник (б).

При швидкісному різанні часто виникають вібрації, що здійснюють великий вплив на шорсткість поверхні і точність обробки. Для усунення вібрації застосовуються люнети з віброгасником (рис. 10.4, б).

Тарілчасті пружини, розташовані в корпусі віброгасника, поглинають вібрації різця.

При високих швидкостях різання стружка, маючи зливальну форму, сходить з-під різця безупинною стрічкою. Таку стружку не можна обривати чи видаляти руками - вона може сильно порізати чи викликати опік. Для роздрібнення стружки застосовують спеціальні пристрої - стружколомачі.

У масовому і багатосерійному виробництвах обробка валів здійснюється на багаторізцевих верстатах, що мають два супорти - передній і задній. Передній супорт, що має повздовжній рух, служить для точіння. Задній супорт, що робить поперечний рух, призначений для підрізування торців, прорізання канавок. Різці налагоджуються так, щоб обробка всіх ділянок закінчувалася одночасно.

Багаторізцеве обточування виконується трьома різними способами.

При обробці за першим способом супорт робить шлях L , що дорівнює сумі оброблюваних ступеней $L = (l_1 + l_2 + l_3)$ (рис. 10,5, а). Цей спосіб обробки називається способом розподілу загального припуску. Тут припуск на одній із ступеней знімається послідовно декількома різцями.

Другий спосіб називається способом розподілу довжини заготовки на кілька ділянок (рис. 10.5, б). Цей спосіб застосовується в тих

випадках, коли максимальний припуск може бути вилучений різцями за один прохід. При даній схемі обробки довжина ходу різця

$$l = \frac{L}{n}$$

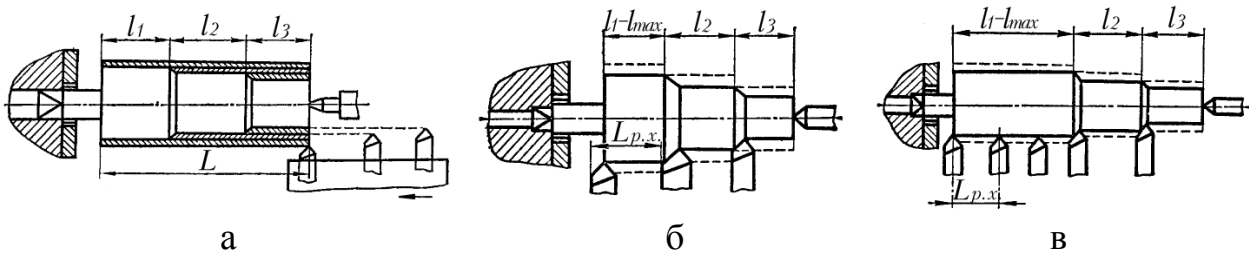


Рис. 10.5. Способи обробки східчастого вала на багаторізцевому верстаті: а - спосіб розподілу припуску; б - спосіб розподілу довжини обробки вала; в - спосіб розподілу довжини максимальної ступені.

Третій спосіб називається способом розподілу максимальної ступені вала (рис. 10.5, в). Більш довга ступінь l_1 проточується декількома різцями.

Встановлення різців здійснюється або по обробленій заготовці, або по спеціальному еталону.

Багаторізцева обробка застосовується на попередніх операціях. Чистове обточування здійснюється на гідрокопіювальних верстатах 1708, 1Н713, 1Б732 і ін., що мають два супорти, розташовані у вертикальній площині. При даній схемі обробки полегшується схід стружки з зони різання. Обточування по копіру здійснюється різцем, розташованим у верхньому супорті. Підрізування торців здійснюється різцями, розташованими в нижньому супорті. На багаторізцевих верстатах обточування здійснюється із швидкістю 30 – 50 м/хв, а на гідрокопіювальному – 150 – 200 м/хв.

В одиничному і дрібносерійному виробництвах вали обробляють на верстатах із програмним керуванням.

Оздоблювальна обробка. До оздоблювальних методів обробки відносять тонке (алмазне) точіння, шліфування, притирання, суперфінішування, полірування, алмазне вигладжування й обкочування роликами і кульками.

При тонкому алмазному точінні досягається шорсткість поверхні $R_a = 0,3 \div 1,25$ мкм. Обробка виконується на режимах: подача $S = 0,02 \div 0,05$ мм/об, глибина різання $t = 0,05 \div 0,15$ мм, швидкість різання $V = 300 \div 3000$ м/хв. Як ріжучий інструмент для тонкого точіння сталей застосовують різці, оснащені пластинками з твердого сплаву Т30К4, а для обробки чавунів – пластинки з твердого сплаву ВК2,

ВКЗ. Високоміцні сталі обробляються різцями, оснащеними ріжучими елементами з ельбора. Для обробки валів з кольорових сплавів застосовують алмазні різці, що завдяки високій твердості і незначному спрацюванню забезпечують більш високу якість поверхонь і точність розмірів.

Шліфування. Шліфування є основним і найбільш розповсюдженим методом обробки зовнішніх циліндричних поверхонь. Тонке шліфування здійснюється м'якими дрібнозернистими абразивними інструментами на круглошліфувальних (рис. 10.6), безцентровошліфувальних (рис. 10.7) і стрічкошліфувальних верстатах.

На круглошліфувальних верстатах заготовка встановлюється в центрах верстата. Швидкість обертання заготовки змінюється від 10 до 15 м/хв, швидкість круга 30 м/с.

Процес шліфування здійснюється з подовжньою подачею (рис. 10.6) і методом врізання (рис. 10.8). У першому випадку заготовка здійснює зворотно-поступальне повздовжнє переміщення, а наприкінці кожного ходу здійснюється поперечна подача.

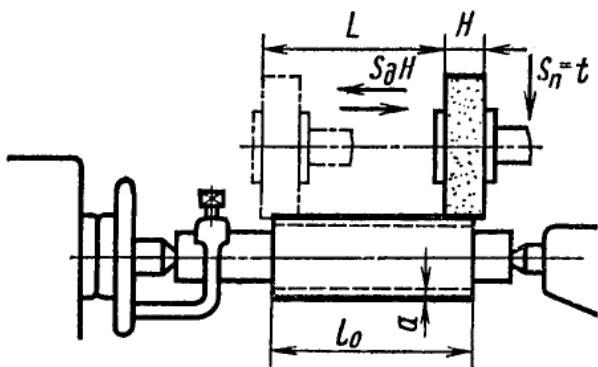


Рис. 10.6. Схема круглого шліфування з подовжньою подачею.

Повздовжня подача дорівнює $S_{np} = (0,5 \div 0,8)H$ від висоти круга за один оборот заготовки. При виходжучих остаточних проходах повздовжня подача зменшується до $S_{np} = (0,2 \div 0,3)H$ і глибина різання до 0,005 - 0,02 мм за кожен хід. Довжина повздовжнього ходу при шліфуванні на прохід $l = l_0 - (0,2 \div 0,4)H$ мм.

Другий спосіб полягає в тому, що шліфувальному кругу надається тільки поперечна подача. При шліфуванні на безцентровошліфувальних верстатах (рис. 10.7) заготовка 2 встановлюється між двома кругами 1 і 3 на спеціальний підтримуючий ніж 4, виготовлений

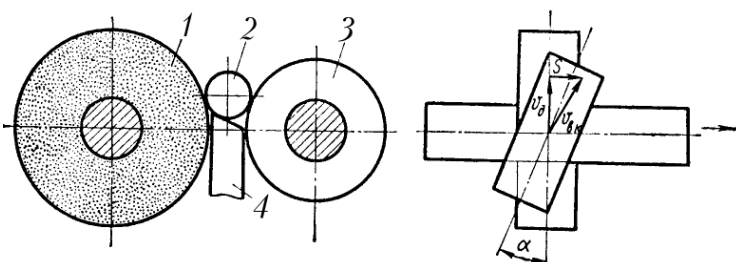


Рис. 10.7. Схема безцентрового шліфування.

із стійкого проти спрацювання матеріалу. Завдяки скосу, спрямованому вбік ведучого круга, деталь притискається до нього, що сприяє передачі обертового моменту деталі.

Щоб уникнути огранювання центр деталі зміщується на 10 - 15 мм від лінії центрів шліфувальних кругів. Безцентрове шліфування може здійснюватися методом врізування до упора і шліфуванням на прохід. При шліфуванні на прохід ведучий круг 3 встановлюють під

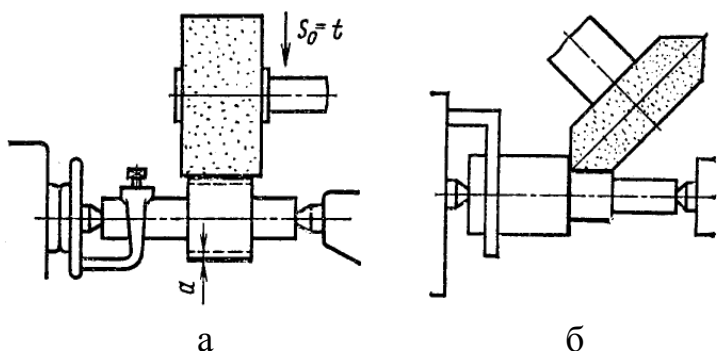


Рис. 10.8. Схема круглого шліфування з поперечною подачею (а); схема шліфування шийки й уступу вала (б).

кутом $\alpha = 1 \div 5^\circ$. Повздовжня подача визначається за формулою $S = 1000 \cdot V_{вк} \sin \alpha \cdot \eta_S$, а кругова швидкість обертання деталі $V_\partial = V_{вк} \cos \alpha (1 + \delta)$, де S – повздовжня подача, мм/хв; V_∂ – кругова швидкість обертання деталі, м/хв; $V_{вк}$ – кругова швидкість ведучого круга, м/хв; η_S – коефіцієнт осевого проковзування, який дорівнює 0,90 – 0,98; δ – коефіцієнт, що враховує прискорене обертання виробу за рахунок швидкості шліфуючого круга ($\delta = 0,04 \div 0,07$).

Величина швидкості повздовжньої подачі S при шліфуванні на прохід змінюється в межах 400 – 4000 мм/хв. Швидкість ведучого круга $V_{вк} = 15 \div 30$ м/хв при чорновому шліфуванні, а при чистовому шліфуванні зростає до 100 м/хв і вище.

Можливе шліфування набором кругів різної зернистості, ширина такого набраного круга досягає 800 мм. Шліфування таким набраним кругом за один прохід забезпечує обробку за 7–8-м квалітетом точності і з шорсткістю поверхні $R_a = 0,32 \div 0,16$ мкм. Безцентрово-шліфувальні верстати мають жорсткість у 1,5 – 2 рази більшу в порівнянні з круглошліфувальними верстатами. Тому вони допускають більш форсовані режими, маючи більш високу продуктивність. Вони дозволяють здійснювати шліфування валів, які мають малу жорсткість.

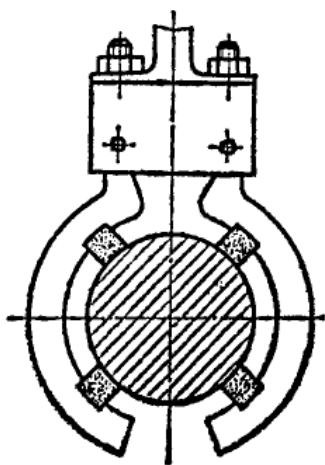


Рис. 10.9. Схема хонінгування циліндричної поверхні.

Хонінгування. Хонінгування валів виконують на спеціальних верстатах, оснащених пристроями із двома півкільцями (рис. 10.9). На внутрішній стороні півкільця закріп-

лені шліфувальні бруски.

Оброблювана деталь, охоплювана двома півкільцями, одержує обертальний і поступальний рух. Швидкість різання при хонінгуванні коливається від 60 до 200 м/хв, а тиск абразивних брусків – від 0,3 до 1,35 МПа. Після двох – трьох хвилин хонінгування верстат автоматично відключається і деталь звільняється.

Суперфінішування. Суперфінішування схоже на хонінгування, тому що тут як обробний інструмент також застосовують дрібнозернисті абразивні бруски.

Відмінність суперфінішування від хонінгування полягає в тому, що при суперфінішуванні поряд з обертовим і поступальним подовжніми рухами заготовка має ще коливаний, який тут вважається головним робочим рухом (рис. 10.10).



Рис. 10.10. Схема суперфінішування.

Коливаний рух спрямований вздовж брусків, має хід 2–6 мм і частоту коливань 1000 хід/хв. При суперфінішуванні на шар, який зрізується, змінюється від 0,005 мм до 0,02 мм, тривалість обробки 0,2 - 0,5 хв. Шорсткість поверхні досягає $R_z = 0,04$ мкм. Як мастильну рідину використовують

суміш олії з керосином у співвідношенні 1:10. На початку процесу мікронерівності на поверхні розривають масляну плівку. Виступаючі гребінці мікронерівностей зрізуються абразивними брусками. В міру зрізання гребінців мікронерівність згладжується і після того, як масляна плівка стане суцільною і не буде мати розривів від виступаючих зерен, процес різання припиняється.

При суперфінішуванні висувається дуже жорстка вимога до чистоти змазуючої рідини, тому що наявність дрібних металевих чи абразивних часточок може викликати появу рисок на поверхні. Суперфінішуванню передують операція шліфування чи тонкого точіння, що забезпечує висоту шорсткості поверхні не більше $R_a = 0,32$ мкм. Суперфінішування не виправляє дефекти форми і розмірів, отримані від попередніх операцій.

Притирання. Притирання - оздоблювальна операція, що виконується інструментами-притирками.

Притирки виготовляють з чавуну чи бронзи і на їхню поверхню

наноситься абразивна суспензія (мікропорошок з машинною олією). Відносне переміщення деталі і притирки повинне забезпечувати рух зерен по новим, не повторюваним траєкторіям. Для забезпечення цієї умови оброблювана деталь одержує обертання від шпинделя верстата, а зворотно-поступальне повздовжнє переміщення здійснюється вручну. Як абразиви застосовують окис хрому (Cr_2O_3), окис заліза (Fe_2O_3) або крокус і віденське вапно. По твердості, ріжучим властивостям і продуктивності окис хрому перебуває на першому місці. Найбільш чисту поверхню забезпечує віденське вапно (вуглекислий кальцій з домішками магнію і заліза). Як мастильний матеріал використовують суміш машинної олії з керосином. При використанні віденського вапна застосовують спирт, а при використанні крокусу - вазелін. Для доводочних робіт широко використовуються пасти ГОІ (за іменем автора - Державного оптичного інституту). Паста ГОІ містить термічно оброблений (прожарений) окис хрому, жири й органічні поверхнево-активні кислоти (олеїнову чи стеаринову). Паста ГОІ поділяється на грубі (40 мкм), середні (16 мкм) і тонкі (7 мкм). Цифри вказують товщину знятого шару із сталевий загартованої плити при 100 обернено-поступальних рухах притирання. Притирання зовнішніх циліндричних поверхонь здійснюється на токарних верстатах з використанням спеціальних пристроїв. Швидкість притирання 15 – 40 м/хв. Притирання забезпечує точність деталей до 5-го квалітета із шорсткістю поверхні $R_z = 0,32 \div 0,05$ мкм. Припуск для попереднього притирання дорівнює 0,010 – 0,015 мм, а для остаточного – 0,005 мм.

10.2. МЕТОДИ ОБРОБКИ ОТВОРІВ

10.2.1. ВИДИ ОТВОРІВ І МЕТОДИ ЇХНЬОЇ ОБРОБКИ

У деталях машин отвори бувають циліндричні, східчасті, конічні, фасонні. Отвори можуть бути відкритими з двох сторін чи з однієї сторони (глухі). Їх обробляють лезвійними й абразивними інструментами і фізико-хімічними методами. Лезвійним інструментом отвори можна свердлити, зенкерувати, розгортати, розточувати, протягувати. Абразивним інструментом - шліфувати, хонінгувати, полірувати, притирати.

При обробці отворів у важкооброблюваних матеріалах (тверді сплави, скло, кераміка й ін.), а також при одержанні отворів малих діаметрів застосовують наступні фізико-хімічні методи обробки:

ультразвуковий, світлопроменевий, електронно-променевий, електроерозійний, електрохімічний.

Обробка отворів без зняття стружки виконується шляхом поверхнево-пластичного деформування з застосуванням операцій: алмазне вигладжування, розкочування кульками чи роликками, прошивка дорном чи каліброваними кульками. Отвори в деталях з листового матеріалу найчастіше пробивають у вирубних штампах.

10.2.2. ОБРОБКА ОТВОРІВ ЛЕЗВІЙНИМ ІНСТРУМЕНТОМ

Свердління – розповсюджений спосіб обробки глухих і наскрізних отворів у суцільному матеріалі з точністю до 12–13-го квалітета і шорсткістю $R_z = 10 \div 30$ мкм (ГОСТ 2789 – 73).

Отвори діаметром більше 30 мм свердлять за два переходи, спочатку свердлом меншого розміру, потім - необхідного діаметра.

Розрізняють два методи свердління: з обертювим свердлом (на цьому принципі працюють свердлильні і розточувальні верстати) і з обертанням деталі (токарно-револьверні верстати). Для зменшення відведення свердла роблять попереднє засверлювання (центрування) коротким твердим свердлом.

Центрування здійснюють на токарно-револьверних верстатах і автоматах, а також на свердлильних і розточувальних верстатах з направляючими втулками. Необхідна точність взаємного розташування отворів забезпечується за допомогою кондукторів. Якщо задана точність отворів вища 9-го квалітета, то в залежності від його діаметра і виду заготовки наступна обробка здійснюється зенкеруванням, розточуванням, розгортанням. Точність взаємного розташування отворів при послідовній обробці різними інструментами здійснюється також за допомогою кондуктора, але із змінними втулками і швидкозмінними патронами для закріплення інструментів у шпиндель верстата.

Зенкерування застосовують для обробки попередньо отриманого отвору литтям, прошиванням чи свердлінням.

Для обробки фасок в отворах циліндричних і торцьових поверхонь під головки заклепок, гвинтів, болтів і гайок застосовують зенкери (рис. 10.11). Зенкери, в залежності від їхнього призначення, поділяються на спіральні, циліндричні, конічні. Спіральні зенкери застосовуються для обробки наскрізних циліндричних отворів. Зенкери діаметром 12 – 35 мм виготовляють цільними з конічним хвостом-

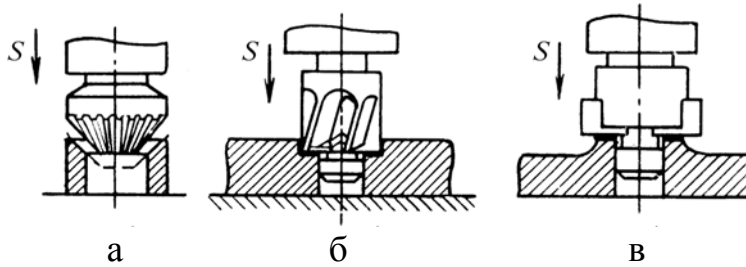


Рис. 10.11. Зенкування (а), цекування (б, в).

тинками з твердих сплавів.

Для забезпечення заданої точності й усунення відведення осі інструмента застосовують кондуктори. Розрізняють три способи орієнтації зенкера: верхнє, нижнє і подвійне (рис. 10.12).

Верхнє направлення зенкера 1 у втулці кондуктора 2 забезпечує його орієнтацію спеціальною циліндричною направляючою (рис. 10.12, а). Нижнє направлення здійснюється втулкою 2, розташованою під деталлю (рис. 10.12, б). Для обробки отворів діаметром понад 25 мм рекомендується застосовувати подвійне направлення. Зенкер із шпинделем звичайно має шарнірне з'єднання чи плаваюче.

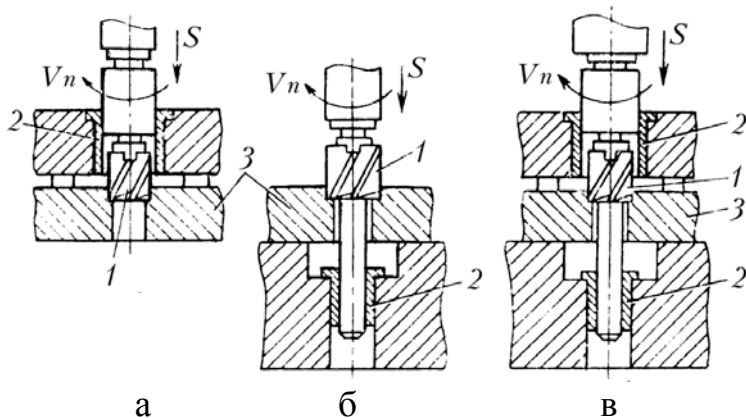


Рис. 10.12. Направлення зенкера в кондукторних втулках: а – верхнє, б – нижнє, в – подвійне.

отвору. Грубе зенкерування отворів після лиття забезпечує 13-й квалітет точності, а після свердління чи чорнового розточування 11–12-й квалітет, шорсткість поверхні $R_a = 10 \div 25$ мкм.

Розгортання – основний спосіб обробки отворів у матеріалі з твердістю $HRC \leq 40$, 5–6-го квалітета точності, із шорсткістю $R_a = 2,5 \div 0,15$ мкм.

Інструмент - розгортка відрізняється від зенкера великим числом зубів і менших кутів у плані. Необхідною умовою досягнення високої точності обробки при розгортанні є рівномірність припуску, що знімається, і строгий збіг осі розгортання з віссю оброблюваного

виком і з трьома ріжучими зубами, а діаметром 25 - 30 мм - насадними з чотирма чи шістьма ріжучими зубами. Насадні зенкери діаметром 60 – 175 мм виконують із сталевими рифленими ножами з пластинками з твердих сплавів.

Це виключає вплив похибок, пов'язаних з биттям шпинделя щодо осі направляючих втулок на положення осі отвору деталі.

Припуск для зенкерування приблизно дорівнює 0,1 від діаметра

отвору. Розгортки під час роботи повинні вільно встановлюватися по отвору чи мати точний напрямок. Розгортки направляються кондукторними втулками з нижнім, верхнім чи подвійним направленням. В залежності від необхідної точності розгортання виконується одним чи двома розгортками. Отвір 7-го квалітета точності обробляється одною розгорткою, а 5-го квалітета точності – двома розгортками.

Розточування – здійснюється на токарних, розточувальних, агрегатних і спеціальних верстатах при обертанні деталі (токарні верстати) чи обертанні розточувальної бортштанги (горизонтальні, вертикальні, координатні, агрегатні і багатошпindelьні верстати).

В серійному виробництві отвори розточують пластинчастими різцями, розточувальними блоками і головками. Розточувальний блок складається з корпусу і вставних різців, встановлених на необхідний розмір. Блок кріпиться в розточувальній бортштанзі, що має переднє направлення. Розточення отворів у корпусних деталях виконується на координатно-розточувальних верстатах із програмним керуванням 262ПР, обладнаних оптичними системами відліку по шкалах з точністю $\pm 0,002$ мм. У ряді випадків бортштанга шарнірно з'єднується із шпинделем, базується на двох опорах.

Розточування отворів у сталевих деталях здійснюється на режимах: швидкість різання 150 - 250 м/хв, повздовжня подача 0,02 - 0,12 мм/об, глибина різання 0,1 - 0,3 мм. Обробка деталей з кольорових сплавів здійснюється на режимах: швидкість різання 800 - 1000 м/хв, подача 0,02 - 0,10 мм/об, глибина різання 0,05 - 0,04 мм.

Тонке розточування здійснюється на прецизійних розточувальних одно- чи багатошпindelьних вертикальних і горизонтальних верстатах 2А710, 2705, 2706, 2714, 2722, 2А715, 278Л й ін. Верстати мають підвищену твердість і вібростійкість. На цих верстатах можна свердлити, розточувати, зенкувати, розгортати циліндричні і конічні отвори, підрізати торці, нарізати різьблення, проточувати канавки і т.п.

Для обробки отворів на агрегатних верстатах використовуються багатолезові, комбіновані і складені інструменти, заздалегідь налагоджені на необхідний розмір. Отвори діаметром 50 – 200 мм і довжиною 75 – 200 мм обробляються на вертикальних верстатах, отвори менших діаметрів – на горизонтальних. Різці закріплюються в консольних твердих оправках. Тонке розточування забезпечує точність отворів 5 – 6-го квалітетів при шорсткості поверхні $R_a = 0,25 \div 0,18$ мкм. Похибка форми (овальність, конусність) складає 0,003 – 0,004 мм.

Протягування – це процес обробки циліндричних, шліцевих і квадратних отворів діаметром від 10 до 300 мм з точністю 5 – 6-го квалітета і шорсткістю $R_a = 0,15 \div 0,08$ мкм.

Довжина протягування отвору звичайно не перевищує триразової величини його діаметра. Перед протягуванням отвір обробляється свердлінням, зенкеруванням чи розточуванням.

Розрізняють профільне, генераторне і прогресивне протягування.

Для профільної схеми різання форма ріжучих кромek протягування відповідає профілю оброблюваної поверхні. Зуби протяжки зрізують заданий припуск послідовно. Остаточний розмір отвору забезпечується каліброваними зубами.

При генераторній схемі різання форма ріжучих зубів протягування не відповідає профілю оброблюваного отвору деталі.

Остаточна форма і розміри оброблюваної поверхні забезпечуються останніми зубами, що працюють за профільною схемою. При прогресивній схемі різання ріжучі зуби по периметрі розділені на окремі секції. Зуби протягування зрізують метал окремими ділянками контуру, але товщиною в 5 - 10 разів більше, ніж при роботі з профільною схемою.

Отвори протягують на горизонтальних і вертикально-протяжних верстатах при швидкості різання 3 - 5 м/хв. При протягуванні деталь встановлюється на тверду чи кульову опору. На тверду опору встановлюють деталі, у яких забезпечена перпендикулярність торця до осі отвору при підрізуванні. Якщо торець деталі не підтягтий, наприклад, поверхня після лиття, чи при обробці не забезпечена перпендикулярність осі отвору деталі до торця, застосовують кульову опору.

Припуски під протягування складають 0,5 - 1,5 мм на діаметр. Подача на зуб 0,02 - 0,1 мм. При протягуванні застосовують сульфозфрезол чи 20-и процентний розчин емульсола у воді з додаванням 4% мила. Основний час (у хв) при протягуванні визначається за формулою:

$$t_0 = \frac{L+l}{1000} \left(\frac{1}{V_p} + \frac{1}{V_x} \right), \quad (10.1)$$

де L – довжина робочої частини протягування, мм; l – довжина деталі, що протягується, мм; V_p - швидкість різання (робочого ходу) м/хв; V_x - швидкість зворотного ходу, м/хв.

Швидкість зворотного ходу приймається в 2–3 рази більше швидкості робочого ходу.

10.2.3. ОБРОБКА ОТВОРІВ АБРАЗИВНИМИ ІНСТРУМЕНТАМИ

Шліфування отворів. Внутрішнє шліфування циліндричних, конічних, наскрізних і глухих отворів у деталях, виготовлених із сталей, чавунів, жароміцних сплавів, забезпечує точність 5 – 6-го квалітета і шорсткість поверхні $R_a=1,25\div 0,15$ мкм.

На шліфувальних верстатах обробку роблять:

- при обертівій деталі, закріпленій в патрон;
- при нерухомій деталі на верстатах із планетарним рухом шпинделя;
- при обертівій незакріпленій деталі на безцентрово-шліфувальних верстатах.

Найбільш розповсюджений перший спосіб обробки з повздовжньою чи поперечною подачею (рис. 10.13). Діаметр шліфувального круга за звичай приймають рівним 0,8 – 0,9 діаметра отвору.

В залежності від властивостей оброблюваного матеріалу і виду операції, швидкість різання при шліфуванні змінюється від 25 до 100 м/с. Подовжня подача виражається в частках ширини кола і приймається $S_{np} = (0,2 \div 0,3)e_k$ мм/об при чистовому шліфуванні, а при чорновому – $S_{np} = (0,6 \div 0,8)e_k$ мм/об.

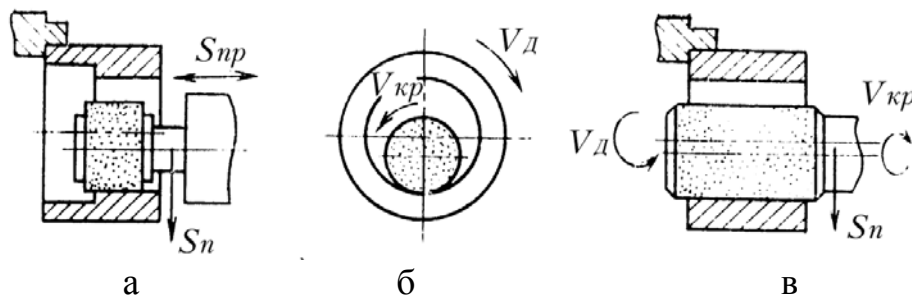


Рис. 10.13. Схема шліфування отворів: а – з подовжньою подачею; б – з поперечною подачею.

Поперечна подача S_n кола при чистовому шліфуванні дорівнює 0,003 – 0,015 мм/дв. хід столу, а при чорновому – 0,05 – 0,075 мм/дв. хід столу. Основний час (у хв) для внутрішнього шліфування з повздовжньою подачею кола визначається за формулою:

$$t_0 = \frac{a}{n_{дв.х} \cdot S_n} \cdot k, \quad (10.2)$$

де a – припуск на сторону, мм; $n_{дв.х}$ – число подвійних ходів у хви-

лину $n_{\text{дв.х}} = \frac{V_{np} \cdot 1000}{2L}$; S_n – поперечна подача за один подвійний хід столу (глибина різання), мм; k – коефіцієнт доведення (виходжування), що враховує точність шліфування; V_{np} – швидкість повздовжнього ходу столу, м/хв.

Величина K залежить від точності виготовлення діаметра.

При точності шліфування 0,1...0,15 мм – $k=1,1$.

При точності шліфування 0,07...0,09 мм – $k=1,25$.

При точності шліфування 0,04...0,06 мм – $k=1,4$.

При точності шліфування 0,02...0,03 мм – $k=1,7$.

Довжина повздовжнього ходу столу визначається по формулі:

а) при шліфуванні на прохід (у мм)

$$L = l_0 - (0,2...0,4)B_k;$$

б) при шліфуванні в упор (у мм)

$$L = l_0 - (0,4...0,6)B_k,$$

де l_0 – довжина поверхні, що шліфується, мм; B_k – ширина шліфувального кола, мм.

Основний час при шліфуванні з поперечною подачею (метод врізування) визначається по формулі

$$t_0 = \frac{a}{n_{\text{д}} \cdot S_n} \cdot k, \quad (10.3)$$

де S_n – поперечна подача на один оборот деталі; $n_{\text{д}}$ – частота обертання деталі, хв; k – коефіцієнт доведення.

10.2.4. ШЛІФУВАННЯ ОТВОРІВ ІЗ ПЛАНЕТАРНИМ РУХОМ ШПИНДЕЛЯ

На рис. 10.14, а показана схема планетарного шліфування внутрішнього отвору. Шпиндель шліфувального круга I має чотири рухи: обертання навколо своєї осі 1; планетарний рух по колу внутрішньої поверхні деталі, нерухомо закріпленої на столі верстата II; зворотно-поступальний рух вздовж осі деталі III; поперечне переміщення (поперечна подача). Ця схема шліфування застосовується для обробки корпусних деталей.

Безцентрове шліфування отворів. На рис. 10.14, б показана схема безцентрального шліфування внутрішнього отвору втулки. Деталь підтримується трьома роликками. Ролик 1 є ведучим: він створює

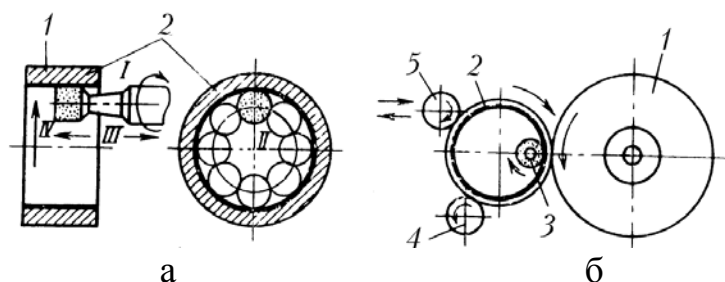


Рис. 10.14. Схеми шліфування отворів: а – планетарне; б – без центрове.

обертальний рух деталі 2 щодо шліфувального кола 3. Верхній нажимний ролик 5 притискає деталь до ведучого ролику 1, нижньому підтримуючому опорному ролику 4. Деталь, затиснута між трьома роликами, має швид-

кість ведучого ролика. При зміні деталей затискний ролик 5 відходить вліво, звільняючи деталь.

Точність обробки при безцентровому шліфуванні по діаметрі відповідає 5 – 6-му квалітету, а концентричність і паралельність осей внутрішнього і зовнішнього діаметра досягає 0,003 мм.

10.2.5. ХОНІНГУВАННЯ ОТВОРІВ

Хонінгування застосовується для обробки попередньо розгорнутих, розточених чи шліфованих наскрізних і глухих циліндричних отворів.

Обробка здійснюється хонем – інструментом, що має абразивні чи алмазні бруски. Головка (хон) робить одночасно обертальний ($V_{об} = 30 \div 60$ м/хв) і обернено-поступальний ($V_n = 10 \div 15$ м/хв) рухи. Бруски в процесі обробки розсовуються (радіальна подача). Розсування в радіальному напрямку брусків здійснюється механічним, гідравлічним чи пневматичним пристроями. Тиск брусків на поверхню деталі 0,2 - 1 мПа.

Хонінгувальні бруски виготовляють з електрокорунда, карбіда кремнію, ельбора, алмаза. Процес хонінгування здійснюється із СОЖ, що виконує змазувальну, охолоджувальну і вимивальну дії.

При обробці чавуну використовують керосин, а для сталі – суміш з веретенної олії (25%) і керосину (75%). Для діаметрів 25 – 500 мм величина припуску складає 0,02 – 0,20 мм для чавунних деталей і 0,01 – 0,08 мм – для сталевих.

Хонінгування проводять на горизонтальних і вертикальних одно- і багатошпиндельних верстатах.

Хонінгування усуває овальність, конусність, бочкоподібність і інші похибки форми, забезпечуючи точність 5 – 6-го квалітета і шорсткість поверхні $R_a = 0,32 \div 0,04$ мкм .

10.2.6. ПРИТИРАННЯ (ДОВЕДЕННЯ) ОТВОРІВ

Притирання – оздоблювальна абразивна обробка, що забезпечує шорсткість поверхні $R_a = 0,16 \div 0,01$ мкм і точність розмірів 5-го квалітета. Інструментом служить притирка, що представляє собою розрізну втулку, на зовнішній поверхні якої наносяться перехресні пази, а внутрішня поверхня має конус. Притирки виготовляються з чавуну, сталі, латуні, міді й інших матеріалів, але більш м'яких, чим матеріал оброблюваної деталі.

На поверхню притирки наноситься паста чи суспензія на основі електрокорунда, карбиду кремнію, карбиду бора (зернистістю М20 - М3); алмази (зернистістю 100 - 1 мкм і дрібніше). Як єднальні матеріали в пастах застосовують стеарин, парафін, вазелін і олеїнову кислоту.

Притирка здійснює обертові і зворотно-поступальні рухи з питомим тиском 0,2 – 0,5 мПа.

10.3. МЕТОДИ ОБРОБКИ РІЗЬБ

Різьбові поверхні за своїм призначенням поділяють на кріпильні і ходові. До кріпильних різьб відносяться метричні (нормальні, тугі, щільні), трубні, дюймові, упорні (пилкоподібні) і спеціальні (часові, артилерійські й ін.).

Ходові різьби прямокутного, трапецієподібного і напівкруглого профілю застосовуються в ходових гвинтах, у верстатних, складальних і контрольно-вимірювальних пристроїв. Вони служать для перетворення обертового руху в поступальний.

На машинобудівних заводах застосовується багато методів обробки різьблень. В залежності від розмірів, класу точності й обсягу виробництва нарізування різьб здійснюється на токарних, токарно-револьверних, свердлильних, різьбофрезерних, різьбошліфувальних і різьбонакатних верстатах. Зовнішні різьби нарізають різьбонарізними різцями, гребінками, плашками, фрезами, різьбовими головками, профільованими шліфувальними кругами, різьбонакатними роликками і плашками. Внутрішні різьби нарізають мітчиками, різцями, фрезами.

10.3.1. НАРІЗУВАННЯ РІЗЬБ РІЗЦЯМИ І ГРЕБІНКАМИ

При нарізуванні різьб великого кроку ($S > 3$ мм) застосовують різці, що працюють за генераторною схемою (рис. 10.15, б).

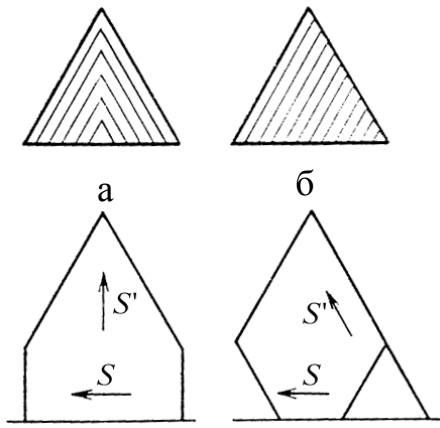


Рис. 10.15. Схема нарізування різьби: а - профільна, б - генераторна.

Профільна схема нарізування різьб застосовується для чистового нарізування (рис. 10.15, а). Нарізування різьб різцями є малопродуктивним методом обробки, тому що формування повного профілю відбувається за кілька проходів.

Для скорочення машинного часу застосовують різьбові гребінки, що дозволяють скоротити число проходів до одного. Основний машинний час нарізування різьб різцями визначається як

$$t_0 = \frac{(l + x) \cdot i}{n \cdot S} \cdot q, \quad (10.4)$$

де l – довжина різьбової частини, мм; n – частота обертання деталі, об/хв; S – подача на оборот деталі, дорівнює кроку нарізування різьби; i – число проходів у залежності від діаметра, кроку різьби й оброблюваного матеріалу змінюється від 6 до 20; q – число заходів різьби; x – величина врізання і перебігу, що дорівнює 2 – 3 ниткам різьби.

Основний машинний час нарізування різьби гребінкою визначається формулою

$$t_0 = \frac{l + x}{nS}. \quad (10.5)$$

Гребінки (рис. 10.16) за своєю конструкцією поділяють на плоскі, призматичні і круглі. Для попередньої обробки великогабаритні різьби найбільше доцільно нарізати вихровим методом (рис. 10.17). Він полягає в наступному: оброблювана деталь обертається з частотою 30 – 100 об/хв, а різець, закріплений у різцевій головці, обертається з частотою 1000 – 3000 об/хв.

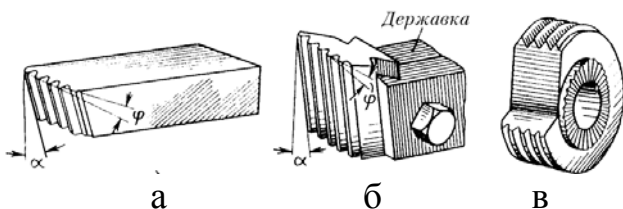


Рис. 10.16. Різьбові гребінці: а - плоска, б - призматична, в - кругла.

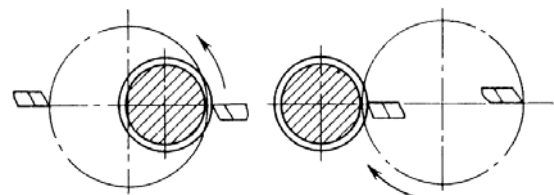


Рис. 10.17. Схема вихрового нарізування різьби.

За кожен оборот різцевої головки різець стикається з деталлю, зрізуючи по дузі невеликий шар. Різцева головка розташована ексцентрично стосовно осі обертання оброблюваної деталі і повернена на

величину кута підйому гвинтової лінії різьби. У різцевій головці можуть закріплюватися один, два чи чотири різці. За кожен оборот деталі при переміщенні обертової головки вздовж осі деталі на величину кроку різьби на деталі буде сформований один виток різьби.

10.3.2. НАРІЗУВАННЯ РІЗЬБ МІТЧИКАМИ, ПЛАШКАМИ І РІЗЬБОНАРІЗНИМИ ГОЛОВКАМИ

Мітчиками, плашками і нарізними головками нарізуються різьби невеликого діаметра. В залежності від способу нарізування мітчики поділяються на машинні, які застосовують для нарізування різьб на верстатах, і слюсарні, які застосовують при ручному нарізуванні різьб.

Нарізування різьб машинними мітчиками виконується на свердильних, револьверних і токарно-револьверних автоматах, які мають зворотний хід для вигвинчування інструмента. Робоча частина мітчика складається з забірної і калібруючої частин.

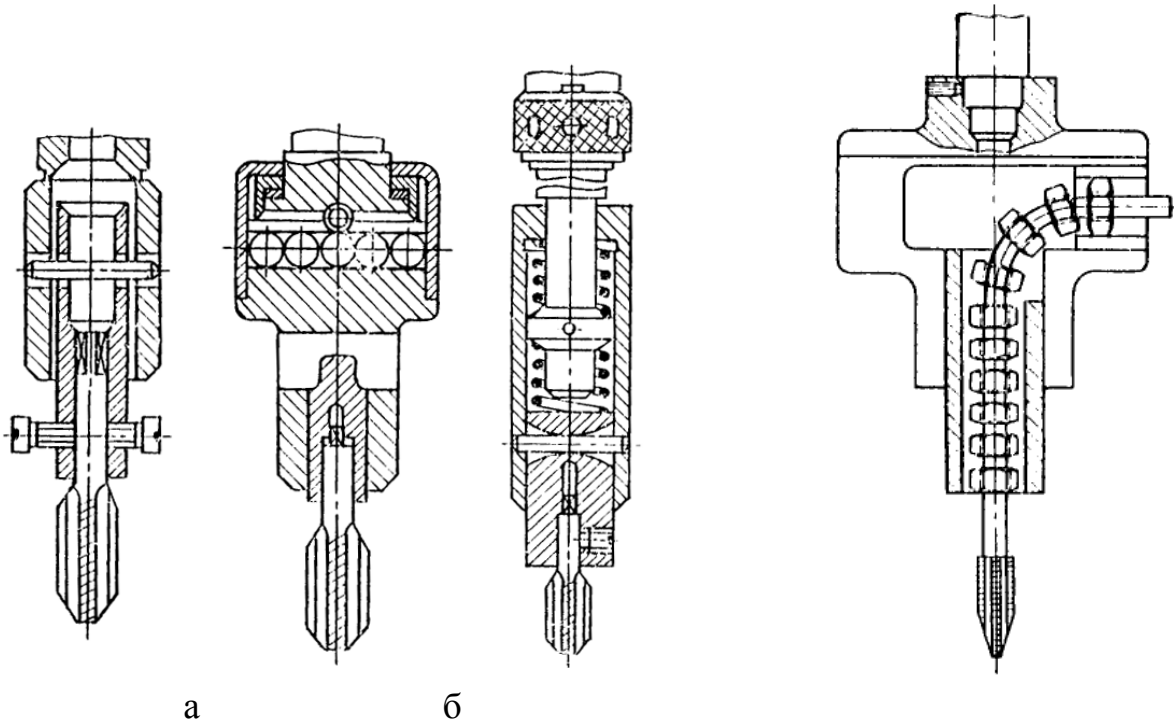


Рис. 10.18. Патрони для кріплення мітчиків: а – плаваючий; б – компенсуючий.

Рис. 10.19. Схема нарізання різьби в гайках вигнутим мітчиком.

Машинними мітчиками різьби нарізуються за один прохід. Мітчики кріпляться на шпинделі верстата в патронах. На револьверних верстатах і токарно-револьверних автоматах застосовують тверді патрони. Для самовстановлення мітчика по осі отвору застосовують плаваючі патрони (рис. 10.18, а). Для узгодження подачі верстата з

кроком різьби застосовуються компенсувальні патрони (рис. 10.18, б). Такі патрони застосовуються на револьверних верстатах, де часто відсутнє узгодження подачі револьверної головки верстата з кроком нарізання різьби. Для нарізування різьби в гайках на спеціальних гайконарізних автоматах застосовуються машинні мітчики з вигнутим хвостовиком. Застосування таких гайкових мітчиків забезпечує безупинний процес обробки, високу продуктивність (від 1000 до 3000 гайок) і досить високу точність (рис. 10.19). Зовнішні різьби нарізають плашками чи різьбонарізними головками.

Плашка являє собою розрізне кільце з внутрішньою різьбовою поверхнею. При нагвинчуванні її на циліндричну поверхню відбувається нарізування різьби. Цей метод нарізування різьб малопродуктивний, тому що вимагає додаткового часу для звинчування при зворотному ході інструмента. Основний час для нарізування різьби мітчиками і плашками визначається за формулою

$$t_0 = \left(\frac{l+x}{n \cdot S} + \frac{l+x}{n_1 \cdot S} \right) \cdot i, \quad (10.6)$$

де l – довжина різьби, що нарізується, мм; x – величина врізання і перебігу, яка дорівнює $\frac{2}{3} \cdot S$, мм; n_1 – частота обертання заготовки при зворотному ході, об/хв; n – частота обертання заготовки при прямому ході, об/хв; S – подача на оборот заготовки, яка дорівнює кроку різьби, мм/об.

У серійному і масовому виробництві замість плашок застосовують самовідкриваючі різьбонарізні головки. Різьбонарізні головки за своєю конструкцією поділяються на три види: із плоскими, тангенціальними і круглими різцями. Різьбонарізні головки забезпечують нарізування різьб більш високого класу точності. Основний (машинний) час при нарізуванні різьб головками, які самовідкриваються, визначається за формулою

$$t_0 = \frac{l+x}{n \cdot S}, \quad (10.7)$$

де $x = (2 \div 3) \cdot S$.

10.3.3. ФРЕЗЕРУВАННЯ РІЗЬБ

Для фрезерування різьб застосовують дискові і гребінчасті фрези. Дискові фрези використовують при нарізанні довгих різьб з вели-

ким кроком. Профіль дискової фрези відповідає профілю різьби, яка нарізується. При цьому обертання фрези є робочим рухом різання, а обертання деталі - рухом кругової подачі.

Фрезерування різьби гребінчастою фрезою застосовується для одержання коротких різьб. Гребінчаста фреза являє собою набір дискових фрез. Ширина набору фрез приймається більшою на 2 - 3 нитки від довжини різьбової частини деталі. Цикл нарізування різьби дорівнює 1,25 обороту деталі. При нарізуванні різьби фреза встановлюється на супорті різьбофрезерного верстата паралельно осі деталі. Різьба одержує обертальний рух різання і повздовжню подачу. Деталь закріплюється в патроні верстата й одержує повільний обертальний рух подачі. За повний оборот деталі фреза переміщується на величину кроку різьби. У початковий момент фреза врізається в заготовку на повну глибину різьби, а потім за 1,25 оборот деталі різьба повністю нарізується. Додаткові 0,25 обороту деталі передбачені для перекриття часу врізання фрези в заготовку. Основний (машинний) час обробки при нарізуванні різьби гребінчастою фрезою визначається формулою

$$t_0 = \frac{1,25}{n_d}, \quad (10.8)$$

де n_d – частота обертання деталі, об/хв.

Продуктивність різьбофрезерування гребінчастою фрезою в багато разів вища, ніж нарізування різьби різцем і забезпечує стабільну якість поверхні і точність обробки.

Схема фрезерування зовнішньої і внутрішньої різьби показана на рис. 10.20.

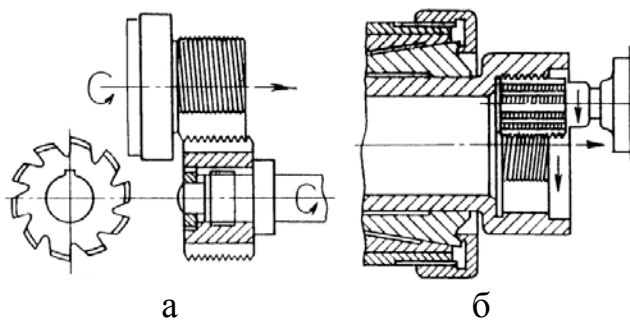


Рис. 10.20. Схема нарізування різьби гребінчастою фрезою: а – зовнішньої; б – внутрішньої.

10.3.4. НАКОЧУВАННЯ РІЗЬБ

Процес формування різьби при накочуванні відбувається без зняття стружки шляхом видавлювання. Процес супроводжується великими зусиллями, під дією яких відбувається пластична деформація й ущільнення матеріалу заготовки. Чим вища пластичність оброблюваного матеріалу, тим вища якість накочуваної різьби.

Накочування різьби здійснюється: плоскими накатними плашками, накатними роликками і сегментами.

Накочування плоскими плашками здійснюють на верстатах МФ-103, МФ-128, 5А935 з автоматизованим циклом обробки.

На рис. 10.21 показана схема накочування різьби плоскими плашками. Плашка 1 нерухома, плашка 2 встановлена на повзуні, що здійснює прямолінійні зворотно-поступальні рухи.

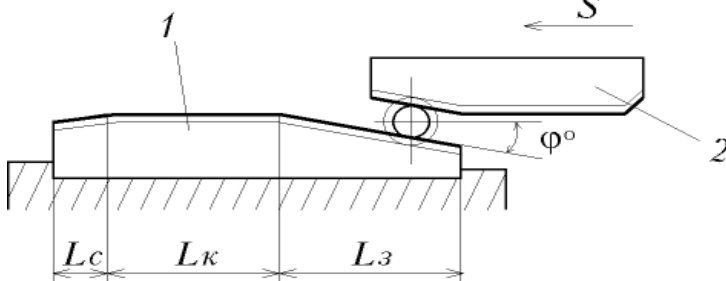


Рис. 10.21. Схема накочування різьби плоскими пластинами: l_z – західна частина, l_κ – калібруюча частина, l_c – збіг різьби.

Робоча поверхня плашок має прямолінійну різьбу з профілем і кутом підйому, що відповідають профілю і куту підйому накочуваної різьби. Плашка має забірні конусу для захоплення заготовки. Різьба накочується за час одного ходу повзуна.

Цей спосіб застосовується для накатки деталей обмеженого діапазону діаметром від 3 до 24 мм із кольорових металів і конструкційних сталей $\sigma_\sigma < 60$ кГм/мм². Спосіб вимагає тривалого переналагодження верстата і має низьку стійкість інструмента, виключає можливість накочування різьб на пустотілих деталях (втулках). Ці обмеження стримують область застосування накатки різьб плашками на машинобудівних заводах.

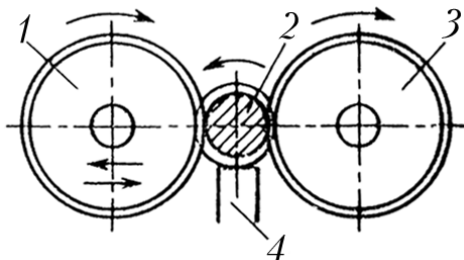


Рис. 10.22. Схема накочування різьби з радіальною подачею.

В практиці найбільше поширення одержав процес накочування різьб круглими обертовими роликами. Цей спосіб значно відрізняється від умов роботи плоскими плашками і має більш широкі технологічні можливості.

Процес накочування роликами характеризується:

- значно меншим тиском, що створює можливість накочування різьби в пустотілих деталях з високоміцних, термічно оброблених сталей з $\sigma_\sigma = 120$ кГм/мм² і HRC 40;
- має значно менші габарити верстата з більш широким діапазоном розмірів різьб - від 5 до 60 мм.

Накочування різьби накатними роликами здійснюється з радіальною й осьюовою подачами.

Накочування різьби з радіальною подачею здійснюється двома чи трьома роликами. Ролики мають різьбу, спрямовану протилежно напрямку різьби, що нарізується, тобто права різьба накочується ро-

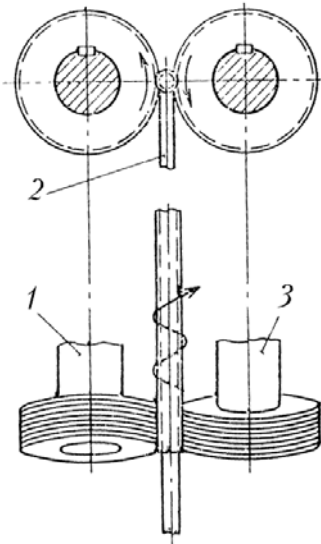


Рис. 10.23. Схема накочування різьби з осьовою подачею. 1, 3 – різьбонакатні ролики, 2– опора.

ликом з лівою різьбою і навпаки.

Схема накочування різьблення з радіальною подачею двома роликами показана на рис. 10.22. Заготовка 2 розміщується на направляючій планці 4 між роликами 1 та 3. При накочуванні обидва ролики обертаються в одну сторону й один з них одержує радіальну подачу від привода.

При накочуванні з осьовою подачею зберігається постійна відстань між осями роликів, що мають гвинтову чи кільцеву нарізку і встановлені під кутом, який дорівнює куту підйому накочуваної різьби (рис. 10.23).

Ролики з кільцевою нарізкою в порівнянні з роликами з гвинтовою нарізкою мають ряд переваг:

- забезпечується можливість обробки довгих різьб;
- діаметр роликів не залежить від діаметра різьби, що накочується.

Розмір заготовки під накатку різьби

$$d_3 = \sqrt{0,5 \cdot (d_3^2 + d_г^2)}, \quad (10.9)$$

де d_3 – зовнішній діаметр різьби; $d_г$ – внутрішній діаметр різьби.

10.3.5 ШЛІФУВАННЯ РІЗЬБ

Шліфування різьб застосовується при виготовленні загартованих виробів з точним різьбленням. Шліфування різьб здійснюється односторонніми чи багатосторонніми абразивними кругами. При багатосторонньому врізному шліфуванні довжина різьби, що шліфується, повинна бути менша на 3 - 4 кроки ширини круга. Шліфування здійснюється методом врізання на повну глибину профілю при наявності повільного обертання заготовки.

Для нарізування довгих різьб застосовують багатостороннє шліфування з повздовжньою подачею. Забірний конус на багатосторонньому кругу створює умову чорнового, напівчистового і чистового шліфування.

Шліфування різьб одностороннім абразивним кругом застосовується для одержання зовнішніх і внутрішніх різьб. Профілюють багатосторонні круги шляхом накочування на круг гвинтової поверхні сталевим роликом.

10.4. МЕТОДИ ОБРОБКИ ЗУБІВ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС

В залежності від умов експлуатації зубчастих коліс призначається визначений ступінь точності їхнього виготовлення. Наприклад, зубчасті колеса, призначені для передачі з особливо строгою погодженістю рухів чи працюючих при кругових швидкостях 100 – 150 м/с повинні виготовлятися по 3-му і 4-му ступеням точності згідно СТ СЕВ641-77.

Зубчасті колеса редукторів, двигунів внутрішнього згорання, коробки швидкостей автомашин і верстатів, призначені для передачі з точною погодженістю обертання на підвищених швидкостях (прямозубі - до 15 м/с, косозубі до 30 м/с) при великих навантаженнях, виготовляють за 6-м ступенем точності. Помірно навантажені високооборотні (прямозубі - до 10 м/с, косозубі до 15 м/с) виготовляють за 7-м ступенем точності. Зубчасті колеса загального машинобудування (наприклад, для верстатів), що не входять у ділильні ланцюги, зубчасті колеса для сільськогосподарських машин виготовляють за 8-м ступенем точності. Не навантажені тихохідні зубчасті колеса виготовляють за 9-м ступенем точності.

Відповідно ГОСТ 1643 - 72, якість виготовлення зубчастих коліс оцінюється нормами кінематичної точності, плавності роботи передачі і контакту зубів. Крім того, стандарт регламентує норми бічного зазору, що служить для компенсації похибок виготовлення зубчастих коліс, забезпечення нормальних умов змащення, а також компенсації похибок складання і температурних деформацій.

Виходячи з конкретних умов роботи передачі, призначаються певні норми кінематичної точності, плавності роботи передачі і контакт зубів.

За ГОСТом 1643 - 72 ступінь точності зубчастого колеса позначається тризначним числом і однією з літер відповідно до виду спряження зубців. Наприклад, 7-6-6-В чи 8-7-6-С. Перша цифра характеризує ступінь кінематичної точності колеса, друга - плавність роботи передачі, третя - контакт зубів, буква характеризує бічний зазор.

Вимога одержання високої точності і плавності зачеплення зубчастих коліс, а також прагнення підвищити продуктивність зубонарізування привели до створення спеціальних зуборізних верстатів. Найбільш розповсюдженими методами нарізування зубчастих вінців є фрезерування і зубодовбання.

При обробці на зубодовбальних верстатах виходить більш правильний профіль евольвенти, ніж при зубофрезеруванні. Тому метод зубодовбання застосовується для чистового нарізування зубів, а метод зубофрезерування двох- чи тризахідними фрезами для чорнового нарізування.

На зубофрезерних верстатах можна нарізати зубчасті вінці шестерень із прямими і косими зубами, черв'ячні зубчасті колеса, черв'яки, шліцеві валики, ланцюгові колеса.

10.4.1 ОБРОБКА ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС

Нарізування зубців. Зубці коліс можна нарізати методом копіювання і методом обкочування.

У першому випадку застосовують в якості інструмента – пальцеві чи дискові фрези з зубами, що мають форму профілю западини колеса.

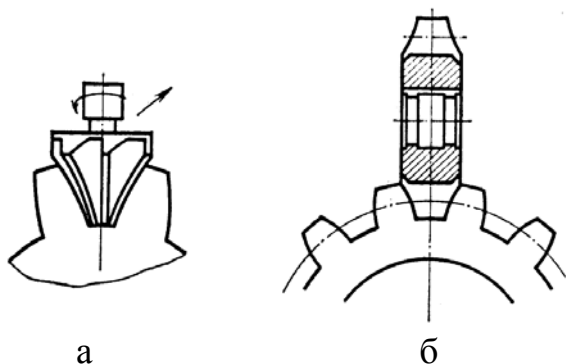


Рис. 10.24. Фрезерування западин зуба методом копіювання: а – пальцевою фрезою; б – дисковою фрезою.

Нарізування виконується на фрезерних верстатах з використанням ділільних пристроїв (головок).

На рис. 10.24 приведені схеми нарізування зубчастих коліс методом копіювання пальцевою і дисковою фрезами. Цей метод є неточним і малопродуктивним. Іноді цим методом здійснюють чорнове нарізування зубів.

Більш точним і продуктивним методом обробки зубів є метод обкочування на зубодовбальних чи зубофрезерних верстатах.

Зубодовбання циліндричних коліс. Зубодовбання здійснюється на верстатах типу 5A12, 5A14, 5A16, “Комсомолець”, “Феллоу”, “Лоренц” і інших. На зубодовбальних верстатах можна нарізувати прямі і спіральні зуби коліс як зовнішнього, так і внутрішнього зачеплення. На рис. 10.25 подані приклади нарізування зубів циліндричних коліс добанням.

При нарізуванні спіральних зубів штассель із закріпленим на ньому довбачем робить зворотно-поступальні гвинтові рухи. Режими різання: $V = 12 \div 18$ м/хв, $S_{кр} = 0,25 \div 0,5$ мм/дв.хід. (для чорнкової обробки); $V = 20 \div 30$ м/хв, $S_{кр} = 0,15 \div 0,3$ мм/дв.хід (для чистової обробки).

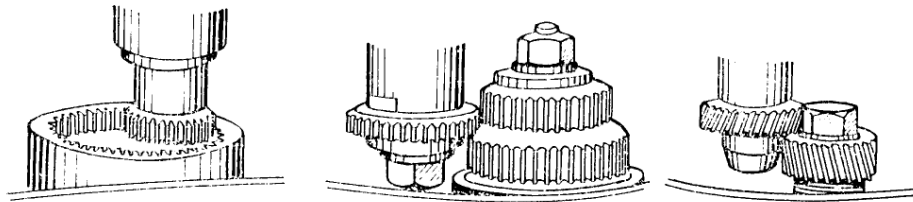


Рис. 10.25. Приклади зубодовбання циліндричних кілець.

Основний машинний час (хв) при зубодовбанні підраховується за формулою

$$t_0 = \frac{\pi \cdot m \cdot z_{\partial} \cdot i}{n \cdot S_0} + \frac{h}{n \cdot S_{rad}}, \quad (10.10)$$

де m – модуль зубців; z_{∂} – число зубців довбача; n – число подвійних ходів у хвилину; h – висота зуба, мм; i – число проходів; S_0 – кругова подача; S_{rad} – радіальна подача.

Зубчасті колеса модулем 1 - 2 мм нарізуються за один прохід, з модулем 2,25 - 4 мм за два проходи і з модулем більше 4 мм нарізуються за 3 проходи. З метою збільшення продуктивності зубодовбальних верстатів при нарізуванні зубчастих коліс малих і середніх модулів застосовують комбіновані довбачі, що здійснюють послідовне чорнове і чистове нарізування зубів за один оборот долбача. У таких довбачів частина зубів має занижену товщину. Вони виконують чорнове нарізування профілів зубів, інша частина видаляє припуск, що залишився, при чистовому нарізуванні.

На довбачі передбачена ділянка із зрізаними зубами, що дозволяє знімати і встановлювати деталі без відводу шпинделя з довбачем.

Варто помітити, що комбіновані довбачі придатні для нарізу-

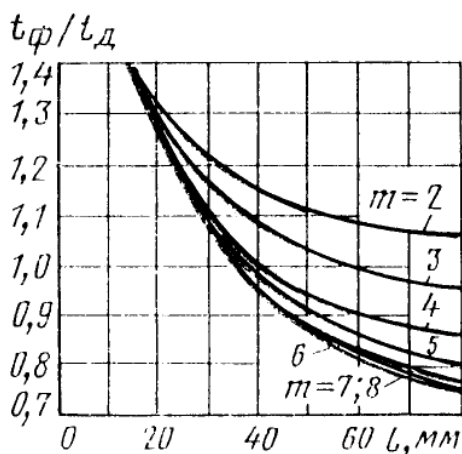


Рис. 10.26. Порівняльний графік продуктивності процесів зубофрезерування і зубодовбання.

вання зубчастих коліс тільки з визначеним числом зубів. Отже, їх доцільно застосовувати тільки на заводах масового і багатосерійного виробництва. Комбіновані довбачі придатні тільки для нарізування зубчастих коліс з малим числом зубів, тому що число зубів цих довбачів повинно бути рівним подвоєному числу зубів колеса, що нарізується. Зубодовбальні верстати забезпечують 7 - 8-ий ступінь точності. Вони дозволяють робити обробку зубчастих вінців у блокових зубчастих колесах із двома,

чотирма вінцями.

На рис. 10.26 даний порівняльний графік продуктивності процесів зубофрезерування і зубодовбання. З аналізу графіка видно, що при малих модулях і великій довжині зубчастого вінця вигідніше застосовувати зубофрезерування.

Зубофрезерування. Зубофрезерування зовнішніх зубчастих коліс із прямими і косими зубами, а також черв'ячних коліс виконується на зубофрезерних верстатах типу "Комсомолец", 5Д32, 5Е32 і ін.

Ріжучим інструментом є черв'ячні фрези з прямолінійними ріжучими крайками зубів розміщеними під кутом зачеплення. Фрези бувають однозахідні і багатозахідні. В процесі нарізування черв'ячна фреза і черв'ячне колесо, що нарізується знаходяться в стані зачеплення. Це зачеплення відповідає черв'ячній передачі з передаточним числом

$$i = n_{\phi} / n_z = z_z / k,$$

де n_{ϕ} і n_z – частота обертання фрези і зубчастого колеса в хвилину; k і z_z – число заходів черв'ячної фрези і число зубів колеса.

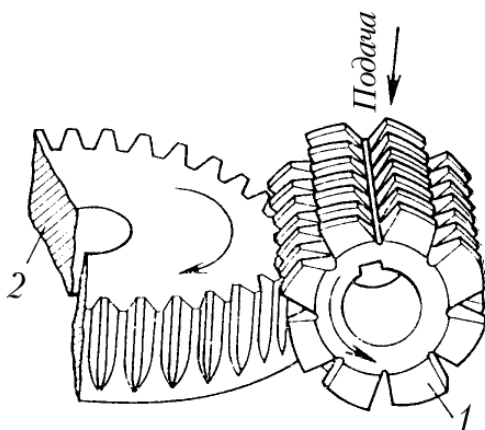


Рис. 10.27. Схема фрезерування зубів.

Схема нарізування зубів показана на рис. 10.27. Фреза 1 встановлюється під кутом підйому зубів фрези на дільному циліндрі. Заготовка 2 одержує обертовий рух, а фреза, крім обертового руху, має ще поступальний рух подачі вздовж утворюючої поверхні колеса.

При нарізуванні прямозубих циліндричних зубчастих коліс на верстаті налагоджуються три гітари: гітара головного руху, що забезпечує необхідну швидкість різання; гітара осьової подачі, що забезпечує переміщення фрезерного супорта за період повного повороту зубчастого колеса; гітара обкочування, що забезпечує рівність швидкостей повздовжнього переміщення прямобічної вихідної ріжучої рейки і обертання зубчастого колеса. Для забезпечення обкочування зубчастого колеса по вихідній ріжучій рейці необхідно виконати при налагодженні гітари обкочування наступну умову.

Один оборот фрези повинен відповідати повороту заготовки на кут k / z_z , де k – число заходів фрези; z – число зубів оброблюваного зубчастого колеса.

При обробці зубчастих коліс з косими зубами налагоджуються чотири гітари: гітара головного руху, гітара подач, гітара обкочування і гітара диференціала. Остання гітара налагоджується виходячи з наступних умов. Фрезерний супорт переміщується вздовж осі заготовки на величину кроку спіралі, оброблюваного зубчастого колеса, а заготовка за цей час повинна зробити один повний оборот.

При нарізуванні зубчастих коліс з косими зубами фрезерний супорт встановлюється з врахуванням нахилу гвинтової лінії витків фрези α і кута спіралі зуба зубчастого колеса β .

Якщо напрямок нахилу гвинтової лінії фрези і зубчастого колеса однакові (фреза і зубчасте колесо правозахідні чи лівозахідні), то кут встановлення фрези дорівнює різниці кутів фрези і зубчастого колеса, тобто $\beta' = \alpha - \beta$; якщо ж напрямок нахилу гвинтової лінії фрези і зубчастого колеса різний, то кут встановлення дорівнює сумі кутів, тобто $\beta' = \alpha + \beta$.

В залежності від величини модуля встановлюється число проходів фрези: зубчасте колесо з модулем до 2,5 мм нарізають за один прохід - начисто; зубчасте колесо з модулем більш 2,5 мм нарізають за два проходи - начорно і начисто.

Крім звичайної схеми зубофрезерування циліндричних зубчастих коліс, відомий метод діагонального зубофрезерування. Тут обробка проводиться при наявності двох подач: повздовжньої - вздовж осі оброблюваної заготовки і тангенціальної - вздовж осі черв'ячної модульної фрези.

При такій схемі обробки беруть участь у різанні всі ріжучі зуби фрези, що сприяє підвищенню її стійкості. Однак точність обробки при діагональному зубофрезеруванні знижується через похибки в кінематичному ланцюгу механізму фрезерної головки. Практично встановлено, що при фрезеруванні зубів коліс із сталі середньої твердості чорнові проходи виконуються на швидкостях різання 25 - 30 м/хв, а чистові - 35 - 40 м/хв. Відповідно повздовжня подача фрези приймається на чорнових проходах 1,5 - 2 мм на оборот заготовки і 0,5 - 1 мм на чистових проходах.

Основний машинний час (хв) зубофрезерування підраховується за формулою

$$t_0 = \frac{m \cdot l + l_1}{n \cdot S \cdot k} z \cdot i, \quad (10.11)$$

де l – ширина зубчастого вінця, мм; l_1 – величина врізання і перебігу,

мм; i – число проходів; n – частота обертання фрези, об/хв; z – число зубів колеса; S – подача, мм/об; m – число одночасне нарізаємих зубчастих коліс; k – число заходів фрези (для чистових проходів $k=1$, для чорнових рекомендується $k=2$).

Накочування циліндричних зубчастих коліс. Накочування зубчастих вінців у 15 – 20 разів має вищу продуктивність у порівнянні із зубофрезеруванням. Відходи металу складають усього лише 3 – 4% від ваги заготовки. Зуби модулем до 1 мм накочуються в холодному стані, а більш 1 мм – у гарячому. У холодному стані дрібномодульні зубчасті колеса можна накочувати на токарних верстатах з повздовжньою подачею (рис. 10.28, а).

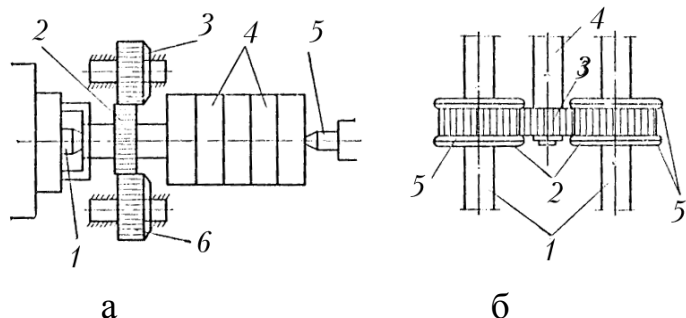


Рис. 10.28. Методи накочування зубів циліндричних зубчастих коліс: а – на токарному верстаті, б – на спеціальному стенді.

чею (рис. 10.28, а).

У передньому 1 і задньому 5 центрах встановлюється оправка, яка отримує обертання від шпинделя верстата. На оправці встановлюються заготовки 4 і ділильне зубчасте колесо 2, що знаходиться на початку процесу накатки в зачепленні з

двома чи трьома накатними роликами, закріпленими на супорті верстата. При виході з зачеплення з ділильним зубчастим колесом 2 ролики приводяться в обертання зубами торованої частини заготовок.

Для утворення симетричного профілю зубів накочування відбувається спочатку в одному, а потім у зворотному напрямку з прискореним зворотним обертанням шпинделя. Ролики 3 і 6 являють собою зубчасті колеса з модулем, рівним модулю колеса, що накочується. Вони мають забірну частину для поступового впровадження в метал оброблюваних заготовок. Ступінь точності коліс, що накочуються, приблизно 8-ий.

При накочуванні зубчастих вінців з нагріванням застосовуються спеціальні стенди. Схема накочування з радіальною подачею показана на рис. 10.28, б. Ролики 2 з обмежувачами 5 обертаються на шпинделях 1. Заготовка 3 закріплюється на оправці 4. За 20 – 30 секунд до накочування зубчастого вінця шари заготовки нагріваються струмами високої частоти до 1000 – 1200 °С. Точність зубчастих коліс після накатки відповідає 9-му ступеню. Зміцнення поверхні зубів значно підвищує стійкість проти спрацьовування зубчастих коліс.

10.4.2. ОБРОБКА ЧЕРВ'ЯЧНИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС

При нарізуванні зубців черв'ячних коліс вісь фрези встановлюється перпендикулярно осі оброблюваного колеса, розташовуючись по центру її ширини. При цьому використовують радіальну і тангенціальну подачі.

Спосіб радіальної подачі. Швидкість обертання фрези 1 колеса 2 (рис. 10.29, а), на якому нарізають зубці, розраховують так, щоб за один оборот фрези колесо обернулося на число зубів, рівне числу заходів черв'яка. Стіл зубофрезерного верстата з закріпленою заготовкою здійснює в горизонтальній площині подачу на глибину зуба в радіальному напрямку.

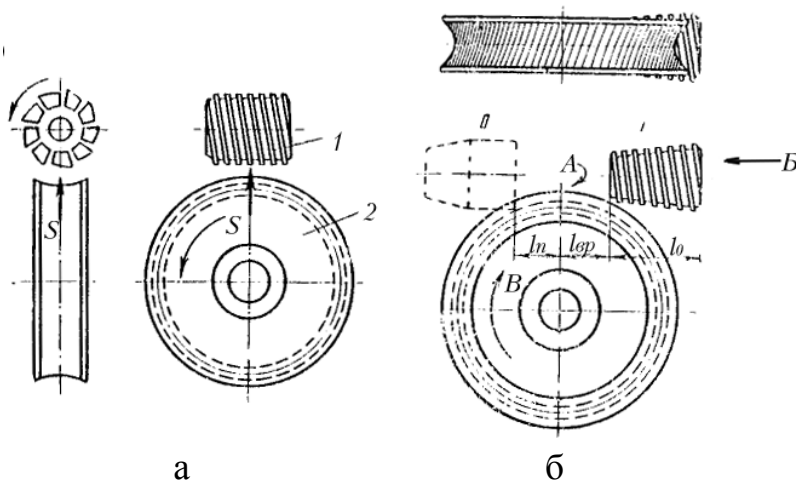


Рис. 10.29. Схеми нарізування зубців черв'ячних зубчастих коліс: а – спосіб радіальної подачі; б – спосіб тангенціальної подачі.

Недолік зазначеного способу полягає в тому, що черв'ячна фреза працює обмеженим числом ріжучих крайок, які піддаються інтенсивному спрацюванню.

Недолік зазначеного способу полягає в тому, що черв'ячна фреза працює обмеженим числом ріжучих крайок, які піддаються інтенсивному спрацюванню.

Спосіб тангенціальної подачі. Спосіб тангенціальної подачі застосовується для нарізування зубців черв'ячних коліс багатозахідних черв'яків. Він виконується за допомогою спеціального супорта, який дозволяє здійснювати тангенціальну подачу фрези (рис. 10.29, б). Стрілка А вказує обертання фрези, стрілка Б – повздовжню подачу по дотичній лінії до колеса, стрілка В – його обертання.

10.4.3. ОБРОБКА КОНІЧНИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС

Для нарізування зубів конічних зубчастих коліс 7 – 8-го ступеня точності застосовуються спеціальні зуборізні верстати. Зубостругальні верстати (рис. 10.30, а) працюють за методом обкочування.

Два стругальні різці 1 і 2 здійснюють прямолінійні зворотно-поступальні рухи вздовж зубів оброблюваної заготовки. При зворотному русі різців вони відводяться від оброблюваної поверхні з метою зменшення спрацювання ріжучої крайки різців. Різці утворюють пря-

мобічну ріжучу рейку, що, обкочується по зубчастому колесу, формуючи евольвентний профіль зубів. На рис. 10.30, б показані три різних положення вихідної ріжучої рейки від відповідному початку, середині і кінцю обробки одного зуба. Після виходу різців із зачеплення з обробленим зубом, заготовка автоматично обертається для обробки наступного зуба. Нарізування конічних зубчастих коліс із криволінійними зубами як правило здійснюють різцевою головкою з профілем зуба по дузі кола. Спирально-конічні зубчасті колеса обробляються за методом обкочування уявного колеса по заготовці.

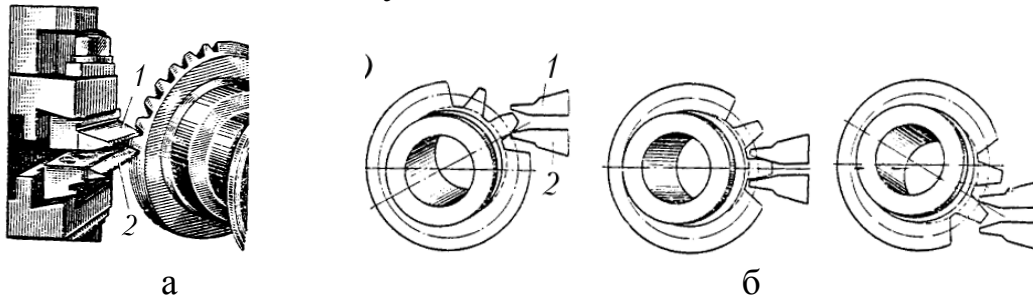


Рис. 10.30. Нарізування конічного зубчастого колеса на зубостругальному верстаті: а – встановлення різців; б – схема обкочування; 1 і 2 – різці.

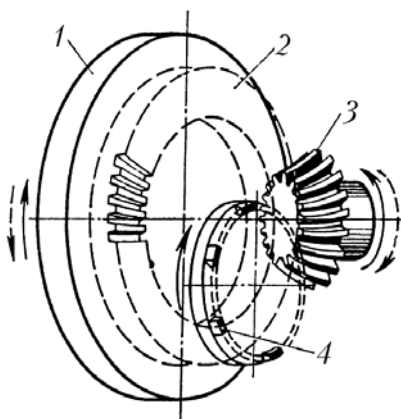


Рис. 10.31. Нарізування конічних коліс із криволінійними зубами: 1 – інструментальний барабан, 2 – уявлюване виробляюче коло, 3 – нарізаємо зубчасте коло, 4 – зуборізна головка з різцями.

На рис. 10.31 приведена схема роботи верстата для нарізування конічних зубів із профілем по дузі кола різцевою головкою. На планшайбі зуборізного верстата 1 встановлюється обертова різцева головка 4, що відтворює криволінійний зуб уявлюваного плоского спірально-конічного колеса. Заготовка зубчастого колеса наприкінці циклу обробки виходить із зачеплення з різцевою головкою й обертається для нарізування наступного зубця.

За конструкцією різцеві головки поділяються на одно- і двосторонні. Двосторонні головки прорізають обидві сторони западини, вони застосовуються для чорнової обробки. Чистове нарізування виконується однобічними головками, тобто спочатку нарізується один профіль зуба, а потім другий.

10.4.4. ОБРОБКА ЧЕРВ'ЯКІВ

Черв'ячні передачі бувають з циліндричним (гелікоїдальним) і глобоїдним черв'яком. Перетин витків циліндричного черв'яка з

осьовою площиною являє собою прямолінійну рейку, а в глобоїдного – кругову.

Серед циліндричних черв'яків найбільше застосування для невідповідальних передач має гвинтовий черв'як (з архімедовою спіраллю), який представляє собою звичайний гвинт із трапецеїдальним профілем (рис. 10.32, а). Черв'ячна пара з таким черв'яком володіє низьким ККД і піддається швидкому спрацюванню, тому її застосовують у тихохідних слабонавантажених передачах. Іншим різновидом циліндричного черв'яка є евольвентний черв'як (рис. 10.32, б). Третім різновидом циліндричного черв'яка є конволютний черв'як (рис. 10.32, в).

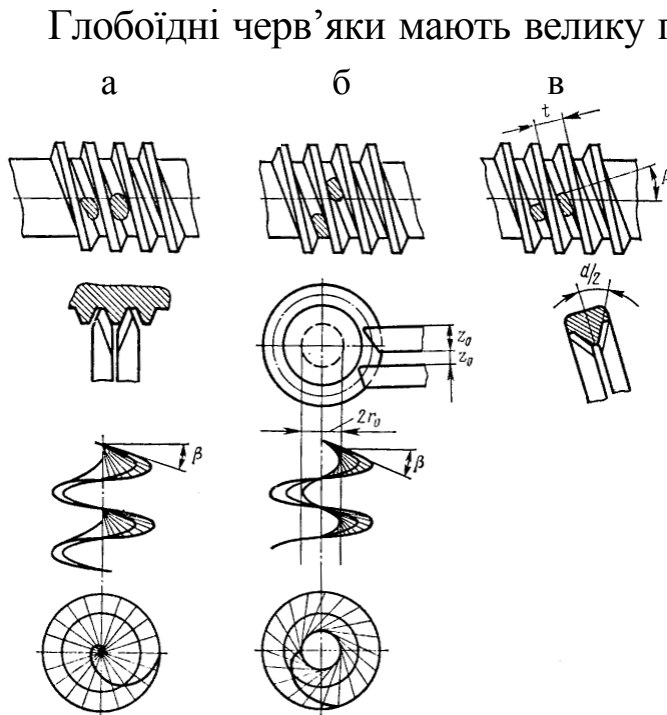


Рис. 10.32. Схеми утворення профілю черв'яків: а – архімедового; б – евольвентного; в – конволютного.

отримується архімедова спіраль (рис. 10.32, а).

Нарізування витків евольвентного черв'яка здійснюється двома різцями, прямолінійні ріжучі крайки яких розташовуються вище і нижче осьової площини черв'яка основного циліндра гвинтової евольвентної поверхні (рис. 10.32, б).

Гвинтова поверхня називається евольвентною, тому що в торцевій площині черв'яка утворюється евольвента. При нарізуванні витків конволютного черв'яка (рис. 10.32, в) різці встановлюються так, щоб їхні ріжучі крайки збігалися з площиною нормальної і гвинтової поверхонь.

Описані методи нарізування гвинтової поверхні черв'яків забезпечують необхідну точність, але мають малу продуктивність.

Глобоїдні черв'яки мають велику поверхню зіткнення витків із зубами черв'ячного колеса, що забезпечує зменшення питомих навантажень і, як наслідок, зменшення спрацювання поверхонь черв'ячної пари.

Найбільш простим способом виготовлення витків черв'яка з архімедовою спіраллю є нарізування різцем на токарно-гвинторізному верстаті. При обробці прямолінійна ріжуча крайка двох різців сполучається з площиною, яка проходить через вісь черв'яка. За цих умов обробки в перетині черв'яка, перпендикулярному його осі,

У серійному виробництві витки черв'яків обробляють дисковими фрезами на спеціальних різьбонарізних верстатах. Фрези мають профіль западини в нормальному перетині і встановлюються під кутом нахилу гвинтової лінії β .

10.4.5. МЕТОДИ ЧИСТОВОЇ ОБРОБКИ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС

Із збільшенням швидкості машин виникла нагальна потреба в безшумно працюючих зубчастих колесах. Шум, викликаний зубчастими колесами, пов'язаний, в основному, з точністю виготовлення елементів зубчастих коліс. Підвищення точності зубчастих коліс, яке сприяє поліпшенню динамічних характеристик зачеплення і зменшенню шуму, досягається застосуванням раціональних способів чистової обробки зубів і спеціальних високоміцних сталей і неметалічних матеріалів (пластмас, текстоліту й ін.).

Кінцева чистова обробка зубчастих вінців шестірен залежить від їхньої форми, твердості матеріалу і необхідної точності. Для обробки зубів на машинобудівних заводах застосовують: обкочування, шевінгування, шліфування і притирання.

Обкочуванням називають процес одержання гладкої поверхні зубів незагартованого зубчастого колеса шляхом обкочування його між трьома обертовими загартованими зубчастими колесами (еталонами), точність яких знаходиться в межах ± 5 мкм.

Шевінгуванням (бриючим різанням) називається процес чистової

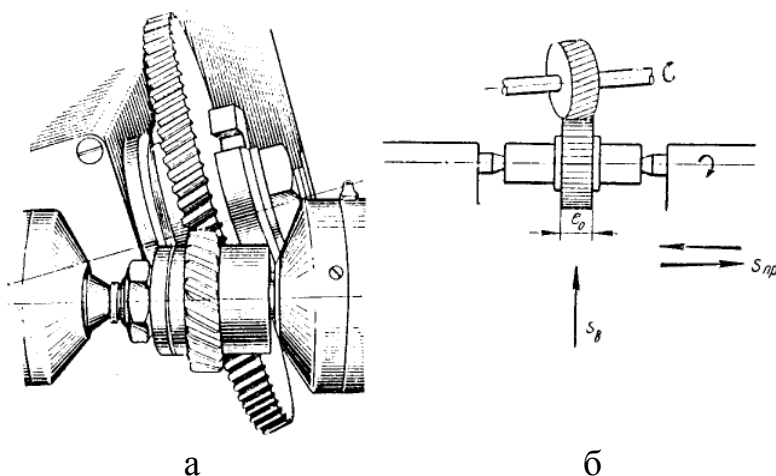


Рис. 10.33. Шевінгування циліндричного зубчастого колеса дисковим шевером: а – загальний вид (подача повздовжня); б – схема шевінгування з вертикальним переміщенням столу верстата.

обробки зубів незагартованого зубчастого колеса (твердістю до $HRC < 40$), що полягає у видаленні дуже тонких стружок спеціальним інструментом – шевером.

Шевер являє собою зубчасте колесо чи рейку з прорізаними на бічних сторонах кожного зуба поперечними канавками

глибиною 0,8 мм. Ці канавки утворюють ріжучі крайки, які зіскрібають волосоподібні стружки. Оправка з обробленим зубчастим колесом (рис. 10.33) закріплюється в центрах верстата. Шевер розташовується над зубчастим колесом під кутом 15° , утворюючи з колесом як би гвинтову пару з перехресними осями. Шевер обертає оброблене зубчасте колесо, яке здійснює осьове зворотно-поступальне переміщення, назване повздовжньою подачею ($S_{np} = 0,15 \div 0,3$ мм на один оборот зубчастого колеса).

Для видалення стружки шевер одержує вертикальне переміщення (подачу на врізання $S_g = 0,025 \div 0,04$ мм на один хід столу). Припуск на шевінгування на сторону коливається в межах 0,04 – 0,06 мм. Основний час на операцію шевінгування циліндричних зубчастих коліс дисковим шевером визначається за наступною формулою:

$$t_0 = \frac{(l_0 + l_{ep} + l_n) \cdot z}{n_{шев} \cdot z_{шев} \cdot S_{np}} \cdot \frac{a}{S_g} \cdot k \text{ (хв)}, \quad (10.12)$$

де l_0 – довжина зуба шестерні, мм; l_{ep} і l_n – врізання і перебіг, у сумі рівні 10 мм; z – число зубів зубчастого колеса; a – припуск на сторону в мм; $n_{шев}$ – число оборотів шевера; S_{np} – повздовжня подача в мм на оборот зубчастого колеса; S_g – вертикальна подача в мм на один хід столу; k – коефіцієнт, що враховує додаткові калібруючі проходи $k = 1,1 \div 1,2$.

Припуск під шевінгування залежить від модуля зубчастого колеса.

Модуль, мм	2	3	4	5	6
Припуск, мм	0,03	0,04	0,05	0,055	0,06

У табл. 10.3 представлені дані, що характеризують ступінь виправлення похибок шевінгуванням

Таблиця 10.3

Найменування похибки	Величина похибки в мм	
	до шевінгування	після шевінгування
1. Сумарна помилка міжцентрової відстані	0,06 – 0,1	0,02
2. Радіальне биття	0,05 – 0,07	0,01
3. Відхилення напрямку зуба	0,05	0,01
4. Відхилення профілю	0,04 – 0,08	0,01
5. Накопичена помилка кроку	0,05 – 0,07	0,03

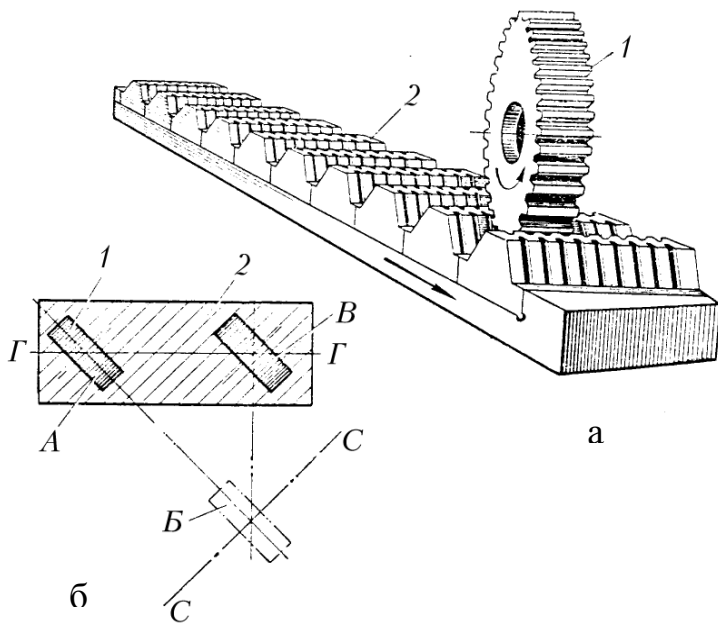


Рис. 10.34. Шевінгування шевером-рейкою: а – шевер-рейка; б – схема ковзання шевера-рейки по зубах шестерні.

пересунеться не в положення Б, а в положення В. В результаті створюється відносне проковзування зубів оброблюваного колеса і шевера-рейки. При цьому ріжучі кромки шевера зрізують тонкі стружки з бічних поверхонь зубів шестерні. Швидкість проковзування є при шевінгуванні швидкістю різання. Шевінгування проводять із мастильно-охолоджуючою рідиною – сульфозфрезолом чи веретенною олією.

Шліфування зубів. Шліфування зовнішніх і внутрішніх зубчастих вінців із прямими і спіральними зубами здійснюють методами копіювання й обкочування. В основному шліфують зубчасті колеса, піддані загартуванню, цементації і загартуванню й азотуванню.

Верстати, що працюють по методу копіювання, роблять шліфування кругом, профіль якого відповідає западині зубів, аналогічно дисковій модульній фрезі. Круг заправляється 3 алмазами з використанням спеціального механізму-пантографа (рис. 10.35).

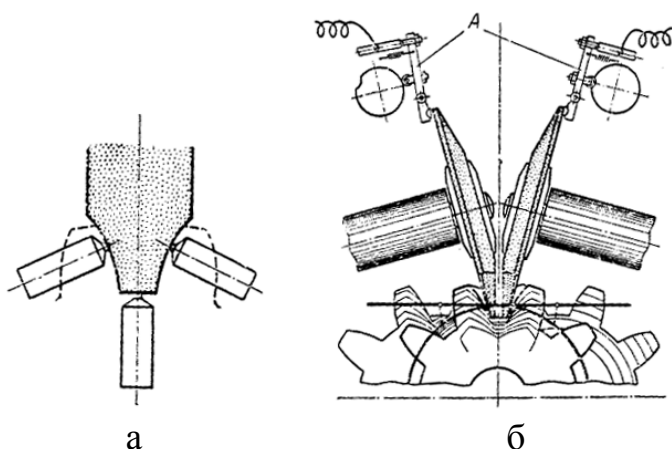


Рис. 10.35. Зубошліфування: а – заправлення круга трьома алмазами; б – обробка двома тарілчастими кругами.

Метод копіювання забезпечує високу продуктивність у порівнянні з методом обкочування, але має низьку точність.

При шліфуванні зубчастих коліс з великим числом зубів по методу копіювання має місце значне спрацьовування шліфувального круга. Якщо шліфування зубів здійснювати послідовно, то між першим і останнім зубами виникає значна похибка. Для запобігання цього рекомендується розподіл роботи на кратне число зубів. Наприклад, якщо зубчасте колесо має 100 зубів, то потрібно розподіл роботи не на $1/z$, а на $5/z$, тобто на $1/20$ чи $10/z$, тобто $1/10$ і т. д.

При цих умовах спрацьовування круга не буде викликати появу великих похибок. Основний час при зубошліфуванні методом копіювання визначається формулою:

$$t_0 = \frac{2L \cdot i \cdot \alpha}{1000 \cdot V_{cm}} \cdot z \quad (\text{хв}), \quad (10.13)$$

де L – довжина ходу столу, мм; i – число проходів; α – коефіцієнт, що враховує час розподілу, тобто поворот на один зуб ($\alpha = 1,3 \div 1,5$); z – число зубів зубчастого колеса; V_{cm} – швидкість зворотно-поступального руху столу, м/хв.

Довжина ходу столу

$$L = l_0 + \sqrt{h \cdot (D_k - h)} + 10, \text{ мм} \quad (10.14)$$

де l_0 – ширина зубчастого вінця колеса, мм; h – висота зуба зубчастого колеса, мм; D_k – діаметр круга, мм.

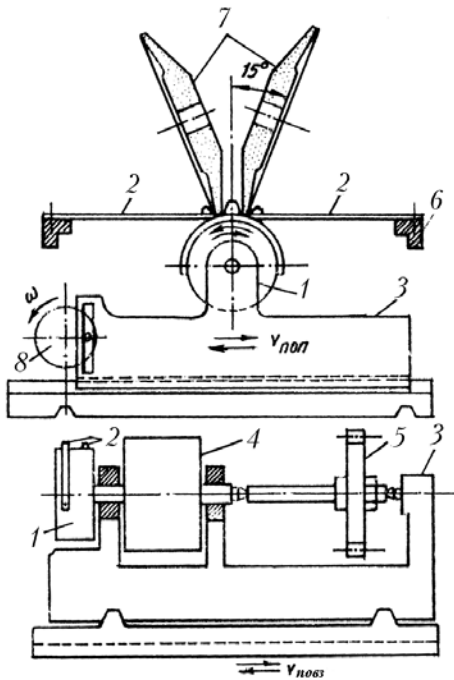


Рис. 10.36. Схема роботи зубошліфувального верстата 5851 МААГ.

На верстатах, які працюють по методу обкочування, можна шліфувати прямі і спіральні зуби коліс із зовнішнім і внутрішнім зачепленням.

Існують різні типи зубошліфувальних верстатів.

Наприклад, шліфування високоточних зубчастих коліс здійснюється на верстатах типу МААГ 5851, 5853, що працюють двома тарілчастими кругами. Ці верстати мають пристрій, що компенсує їх спрацьовування. Цей пристрій працює автоматично в процесі шліфування (рис. 10.35, б).

Зубчасті колеса встановлюються на оправці, що кріпиться в центрах бабок,

розташованих на рухомій каретці 3 на столі верстата. Стіл верстата здійснює зворотно-поступальні рухи в повздовжньому напрямку (рух подачі) $V_{повз}$. Сталеві стрічки 2 закріплені однією стороною на роликку обкочування 1, а іншою- на столі верстата 6 (рис. 10.36).

Каретка, на якій встановлені ділильний механізм 4, оправка з зубчастим колесом 5 і барабан обкочування 1, робить швидкі зворотно-поступальні рухи в поперечному напрямку. Стрічки 2, закріплені на роликку 1, при наявності зворотно-поступального руху каретки відтворюють рухи зубчастого колеса по вихідній ріжучій рейці шліфувальних кругів. Встановлення довжини поперечного ходу каретки 3 здійснюється за рахунок радіуса кривошипа 8. Шліфувальні круги 7 встановлюються під кутом $\alpha_{ш}$, який дорівнює 15° чи 0° .

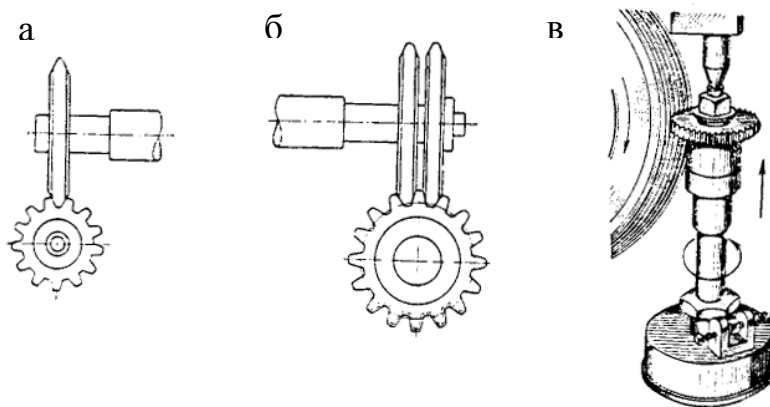


Рис. 10.37. Зубошліфування циліндричних зубчастих коліс: а – на верстаті 5851 одним конусним кругом; б – двома абразивними кругами; в – на верстаті МАТРИКС черв'ячним абразивним кругом.

вання здійснюється за два проходи. Між попереднім і наступним проходами круг автоматично правиться. Верстат забезпечує одержання коліс 6 – 7-го ступеня точності. Для збільшення продуктивності на шпиндель верстата 5831 встановлюють два конусних шліфувальних круга (рис. 10.37, б).

На машинобудівних заводах знаходять широке застосування верстата з черв'ячними абразивними кругами мод. 5830, 5832, що випускаються фірмами “Рейсхауэр” (Швейцарія) і “Мартикс” (Англія) (рис. 10.37, в). Виправлення черв'ячного круга з прямолінійним профілем здійснюються алмазами за допомогою спеціального механізму. Верстата цієї групи мають високу продуктивність, забезпечуючи обробку зубчастих коліс 5–6-го ступенів точності і 8 –9-го класу шорсткості.

По методу обкочування працюють також верстата типу НАЙЛС (5831).

Конусний круг (рис. 10.37, а) здійснює повільне обкочування і швидкий зворотно-поступальний рух вздовж зуба.

Після обкочування одного зуба відбувається перехід до наступного зуба. Шліфування здійснюється за два проходи.

Зубохонінгування. Процес зубохонінгування здійснюється на верстатах без твердого кінематичного зв'язку і полягає в спільному обкочуванні оброблюваного зубчастого колеса й інструмента.

Інструмент – хон, що має вигляд зубчастого колеса, виготовленого з пластичної маси, у складі якої міститься абразивний порошок. Обкочування супроводжується відносним проковзуванням при наявності радіального тиску. Осі виробу й інструмента встановлюються під деяким кутом схрещування $15 - 20^\circ$. При зубохонінгуванні оброблюване колесо здійснює вздовж своєї осі коливальні рухи з частотами $17 - 220$ Гц.

Процес зубохонінгування застосовується для обробки зубчастих коліс з модулем $m = 2 \div 6$ мм, $d = 30 - 500$ мм, шириною зубчастого вінця 150 мм. Після зубохонінгування висота шорсткості поверхні зменшується на $2 - 3$ класи в порівнянні з вихідною.

Зубохонінгування - високопродуктивний метод обробки, але він має обмежену величину припуску, який знімається, - не більше $0,05$ мм. Із збільшенням припуску зростає подріз ніжки і фланкування головки зубів колеса. Зміна профілю евольвенти пов'язана з нерівномірним проковзуванням по висоті зуба сполучених профілів зубчастого колеса і хона.

Хонінгування здійснюють при постійному тиску між інструментом і колесом з рясною подачею СОЖ.

Притирання зубів зубчастих коліс. Притирання застосовується для остаточної обробки загартованих зубчастих коліс. Процес притирання полягає в тому, що оброблюване зубчасте колесо вводиться в зачеплення з чавунною шестірнею - притиром, змащеним пастою, яка складається із суміші дрібного абразивного порошку з мастилом. Зубчасте колесо, крім обертального руху, здійснює зворотно-поступальне переміщення вздовж зуба.

На бічні поверхні зубів під час притирання створюється тиск гідравлічним гальмом, який діє на шпинделі притира. Притирання забезпечує поверхню високої якості, згладжує шорсткість і додає дзеркальний блиск поверхні, значно зменшуючи шум і збільшуючи плавність роботи зубчастих коліс.

За умови правильного виготовлення зубчастого колеса, тобто без істотних похибок, притирання забезпечує більш високу якість, ніж операція шліфування. Але якщо зубчасте колесо має після нарізування і термічної обробки значні похибки, то необхідно спочатку здійснити зубошліфування, а потім притирання.

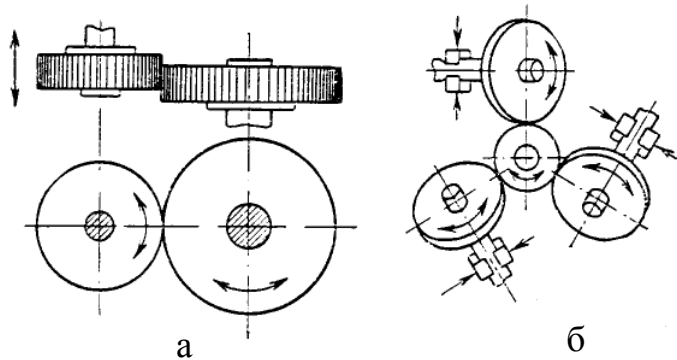


Рис. 10.38. Схеми притирання зубів циліндричних зубчастих коліс: а – з рівнобіжними осями притирів; б – з перехресними осями притирів.

Притирочні верстати виготовляються з рівнобіжними (рис. 10.38, а) і з перехресними (рис. 10.38, б) осями притирів. Ріжучими елементами при зубопритиранні слугують абразивні зерна, які надходять у зону обробки у вигляді суміші з рідкими компонентами. Абразивні зерна, що знаходяться у ві-

льному стані, обкочуються з проковзуванням по евольвентним поверхням зубів, частина з них впроваджується в поверхню інструмента, закріплюється в ній і здійснює процес мікрорізання виступаючими вершинами. Зубопритирання набуло широкого поширення для обробки закритих зовнішніх і внутрішніх зубчастих вінців з цементованих і, особливо, з азотованих сталей. При видаленні малих припусків процес зубопритирання є більш продуктивним у порівнянні із зубошліфуванням.

10.4.6. ВПЛИВ СТУПЕНЯ ТОЧНОСТІ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС НА ТРУДОМІСТКІСТЬ ЇХНЬОГО ВИГОТОВЛЕННЯ

З підвищенням ступеня точності зубчастих коліс зростає кількість операцій механічної обробки, а отже, і собівартість виготовлення. Витрати часу на механічну обробку зубчастих коліс однакових типорозмірів ($m = 5$, $z = 40$), але які мають різний ступінь точності, наступні:

Ступінь точності	3	4	5	6	7	8
Витрати часу на обробку, хв	210	170	140	110	60	55

Зубчасті колеса 7-й і 8-й ступенів точності не піддаються зубошліфуванню. Точність зубчастого вінця тут формується на операціях зубофрезерування чи зубодовбання. Технологічні процеси зубчастих коліс 6-й і 7-й ступенів точності в розглянутому варіанті відрізняються лише однією операцією зубошліфування, а час, затрачуваний на механічну обробку, відрізняється в 2 рази (від 60 до 110 хв). З підвищенням ступеня точності необхідні додаткові операції, наприклад: відновлення установчих баз, зубошевінгування, зубохонінгування

і т.д. Наведені дані наочно показують, що оздоблювальні операції зубчастих коліс є найбільш трудомісткими.

10.5. ФІЗИКО-ХІМІЧНІ МЕТОДИ ОБРОБКИ ПОВЕРХОНЬ

Деталі з жароміцних, титанових сплавів і інших важкооброблюваних матеріалів обробляються фізико-хімічними методами.

У практиці знайшли застосування електроерозійний, електрохімічний, ультразвуковий, електронно-променевий і світлопроменевий методи обробки. За допомогою цих способів обробки знімання металу і формоутворення поверхні деталі відбувається під впливом електричної, світлової і хімічної енергії без перетворення її в механічну, теплову чи інші види енергії поза оброблюваною зоною.

10.5.1. ЕЛЕКТРОІСКРОВА ОБРОБКА

Електроіскрова обробка заснована на використанні електричної енергії шляхом спрямованого впливу імпульсних електричних розрядів на оброблювану поверхню. Це явище називається електричною ерозією. При цьому явищі відбувається плавлення, випарювання і гідродинамічне викидання розплавленого металу. Електроіскрова обробка здійснюється в рідкому середовищі-діелектрику – олії або керосині. В результаті електричного розряду в ерозійному проміжку між двома електродами (деталлю й інструментом) у локальній ділянці виникає температура більше 3000°С. Під впливом цієї температури відбувається гідродинамічне викидання розплавленого металу з утворенням кратера. Електроіскрова обробка застосовується для обробки складних фасонних деталей, наприклад, лопаток з жароміцних титанових сплавів і вирубних штампів із твердих сплавів.

Для обробки лопаток з жароміцних сплавів рекомендується застосовувати наступні режими: напруга 20 – 30В, сила струму 30 – 50А. Продуктивність електроерозійної обробки залежить від теплофізичних параметрів оброблюваного матеріалу, властивостей міжелектродного середовища, сили струму, напруги і частоти імпульсів.

Продуктивність Q визначається кількістю металу, знятого з оброблюваної поверхні за одиницю часу, і виражається в $\text{мм}^3 / \text{хв}$

$$Q = CAf,$$

де C – коефіцієнт, що залежить від теплофізичних констант оброблюваного металу й електрода; A – енергія імпульсів; f – частота імпульсів.

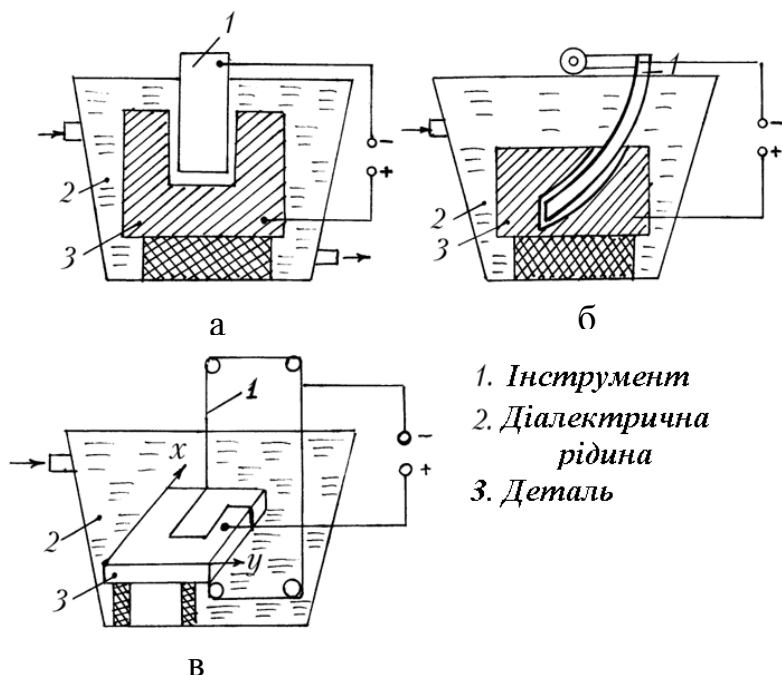


Рис. 10.39. Електроіскрова обробка.

Найкращою оброблюваністю володіє магній, алюміній, найгіршою - тверді сплави, молибден і вольфрам. Деякі схеми, які ілюструють можливості електроіскрової обробки, представлені на рис. 10.39.

Деталь 3 розташовується у ванні, що заповнена діелектричною рідиною (керосином чи індустріальним мастилом) 2, і підключається до позитивного полюса, а електрод, що має необхідну профільну форму отвору, який пропалюється, - до негативного.

В якості матеріалу для виготовлення профільних інструментів-електродів звичайно використовують: пористу мідь, МПГ-7, МП-75, МП-85, вольфрам ВА-3, мідний сплав МЦ4, латунь ЛС59, сірий чавун, алюміній і його сплави Д1, АК7, АЛ3, АЛ5.

За допомогою дугоподібного електрода, який обертається, 1 (рис. 10.39, б) можна обробляти криволінійні отвори. При вирізанні в пластинах отворів складної конфігурації застосовують дротові електроди (рис. 10.39, в). Дротовий електрод, до якого підключений позитивний полюс, повільно переміщується по замкнутому контуру. Деталь зі столом по визначеній програмі одержує необхідні переміщення відносно координат x і y .

10.5.2. АНОДНО-МЕХАНІЧНА ОБРОБКА

Анодно-механічний метод обробки здійснюється в результаті електрохімічного, теплового і механічного впливу на оброблювану деталь. Процес анодно-механічної обробки здійснюється в електролі-

ті, склад якого залежить від марки оброблюваного матеріалу. Ріжучий інструмент - обертовий диск із листової сталі чи міді, товщиною 1,0 - 1,5 мм, - виконує роль катода, а оброблювана деталь є анодом. Електроліт подається в зону різання. Електричний режим вибирають в залежності від діаметра заготовки, яка розрізається. Наприклад, якщо діаметр прутка 20 мм застосовується наступний режим: напруга 20 - 28 В, сила струму 40,0 - 45,0 А, швидкість обертання металевого диска діаметром 400 - 700 мм 15 - 25 м/с, тиск круга на заготовку 0,5 - 2,0 МПа, витрата електроліту 8 - 10 л/хв.

На верстатах для анодно-механічного заточення різців всі операції (чорнова, напівчистова, чистова) виконуються з одного встановлення, змінюється лише електричний режим шляхом включення додаткових опорів. У табл. 10.4 наведені режими для заточення різців із твердого сплаву.

Таблиця 10.4

Операція	Напруга В	Сила струму А	Опір ланцюга	Продуктивність мм/хв
Чорнове шліфування	18–20	50–70	0,10–0,15	1,0–1,5
Напівчистове шліфування	15–17	13–15	0,5–0,7	0,1–0,2
Чистове шліфування	8–12	4–8	2,0–2,25	0,03–0,06

Заточення інструментів здійснюється на спеціальних заточувальних верстатах 3623, 3Е6249, 3672, інструмент являє собою диск діаметром 150 – 200 мм з частотою обертання 1250 – 1440 об/хв.

10.5.3. ЕЛЕКТРОХІМІЧНА РОЗМІРНА ОБРОБКА

Електрохімічна розмірна обробка заснована на явищі анодного розчинення металу при проходженні електричного струму через електроліт. Електроліти - це речовини, які володіють іонною провідністю. При електрохімічній обробці як електроліти застосовують водяні розчини солей, кислот, основ (лугів). Анодне розчинення супроводжується утворенням на оброблюваній поверхні пасируючої плівки (гідрату окису металу). Ця плівка через недостатню провідність струму сповільнює протікання процесу, а в ряді випадків цілком припиняє електрохімічне роз'ятрювання металу. Для нормального протікання анодного розчинення пасируючу плівку необхідно видаляти.

При алмазному хонінгуванні і поліруванні продукти гідролізу видаляються з поверхні механічним шляхом - абразивними зернами.

Наприклад, при електрохімічній розмірній обробці пера лопаток продукти анодного розчинення видаляються потоком електроліту.

Принцип електрохімічної розмірної обробки в проточному електроліті полягає в тому, що оброблювана деталь встановлюється відносно електродів із зазором, через який прокачують з великою швидкістю електроліт. При цьому деталь є анодом, а електрод-інструмент - катодом. При проходженні електричного струму ланцюгом катод - інструмент - анод - заготовка, остання під дією струму розчиняється, приймаючи форму електрода інструмента. Продукти анодного розчинення безупинно видаляються з поверхні анода-заготовки потоком прокачаного електроліту й осаджуються в баці у виді шлама. Електроди-інструменти при електрохімічній обробці практично не спрацьовуються, зберігаючи свою первісну форму і слугують струмопровідними елементами. В залежності від геометричних і електрохімічних параметрів міжелектродний зазор змінюється від 0,3 до 0,5 мм.

Для регулювання процесу електрохімічного розчинення потрібно підтримувати стабільними гідравлічні, механічні й електричні режими. До гідравлічних режимів відносять швидкість протікання електроліту в зазорі між електродами. Сталість швидкості забезпечується зміною тиску електроліту в трубопроводах. До механічних режимів відносять поперечну подачу, яка забезпечує постійний зазор між електродами. До електричних режимів відносять стабілізацію напруги і щільності струму. При виборі електроліту треба враховувати електропровідність, безпеку в роботі і вартість. Електроліти не повинні містити шкідливих для здоров'я людей речовин і не повинні вражати металеві частини верстата корозією.

З врахуванням цих вимог рекомендується застосовувати для сталей водяні розчини повареної солі NaCl , для титанових сплавів - розчин азотнокислого натрію NaNO_3 , для жароміцних сталей - розчин сірчано-кислого натрію NaSO_4 . Концентрація розчинів коливається від 10 до 15% (найкраща 8 – 12%), щільність струму 20 – 30 A/cm^2 , швидкість протоки електроліту 20 – 30 м/с, температура електроліту 20 – 30°C.

Пропорційно величині зазору змінюється шар знімання металу на окремих ділянках профілю пера оброблюваних лопаток. Чим більший зазор, тим менше шар знімання металу і навпаки. Отже, на виступаючих ділянках профілю пера лопатки знімання металу буде протікати більш інтенсивно і з часом відбудеться вирівнювання зазору і шар металу, що знімається, буде рівномірним на всій поверхні лопатки.

Для прискорення процесу вирівнювання міжелектродного зазору рекомендується застосовувати електроліти, насичені повітрям. При пропусканні газованого електроліту через міжелектродний зазор

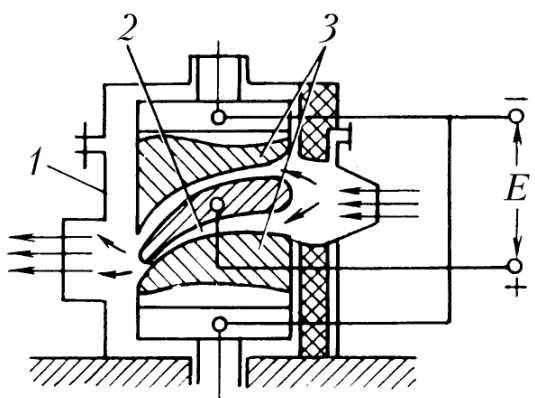


Рис. 10.40. Схема електрохімічної обробки пера лопатки ГТД: 1 – манна камера; 2 – деталь; 3 – інструмент.

повітряні пухирці будуть концентруватися в зонах, які мають максимальний зазор, тобто в зонах з мінімальним опір. За цих умов концентрація повітря в електроліті буде нерівномірною. У зонах із збільшеною концентрацією повітря процес електрохімічного розчинення буде сповільнюватися, і, навпаки, у зонах з мінімальним міжелектродним зазором (на виступах) знімання металу буде протікати більш інтенсивно. За цих умов за більш короткий проміжок часу вирівнюється нерівномірність припуску, що знімається, за рахунок більш інтенсивного видалення нерівностей з профілю лопатки.

На рис. 10.40 представлена схема електрохімічної обробки пера газотурбінної лопатки. Тривалість робочого циклу обробки однієї лопатки електрохімічним методом складає 15 – 20 хв. Точність профілю пера штампованої заготовки із сталі EI 435 після електрохімічної обробки коливається в межах 0,1 – 0,2 мм.

Для електрохімічної обробки великогабаритних лопаток запропонована схема обробки не може бути реалізована через надмірно велику площу електродів. За цих умов забезпечити необхідну щільність струму 20 – 30 А/см² практично дуже складно. Тому обробку великогабаритних деталей здійснюють за принципом біжучої хвилі що рухається електричним полем. Для цієї мети електрод виготовляються у вигляді окремих секцій, ізольованих одна від одної. На кожну секцію подаються короткочасні імпульси за рахунок вибіркової комутації. У першу чергу підключаються ті секції, які мають міні-

мум зазор.

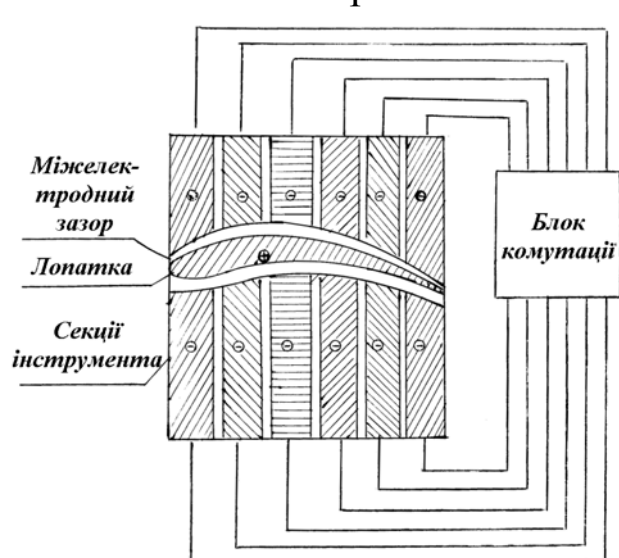


Рис. 10.41. Електрохімічна обробка великогабаритних лопаток секційними електродами.

мум зазор.

мальний міжелектродний зазор.

На рис. 10.41 представлена схема електрохімічної обробки секційними електродами. Видалення припуску із заготовок здійснюється згідно програми.

Величина коливань припуску на заготовці лопатки визначає черговість комутації секцій з метою вирівнювання відхилень. Після вирівнювання нерівностей обробка здійснюється за допомогою біжучої хвилі. Електрохімічний метод застосовується також для обробки отворів у деталях із твердих сплавів.

Як електрод використовують трубки, виготовлені з титанових або нержавіючих сплавів з ізоляційним багат шаровим покриттям. Ізоляційне покриття електродів здійснюється за допомогою лаків чи емалей, які під впливом застосовуваних електролітів не піддаються руйнуванню.

10.5.4. ЕЛЕКТРОАБРАЗИВНА ОБРОБКА

При електроабразивній обробці інструментом-електродом є шліфувальний струмопровідний круг. Зазор між деталлю - анодом і шліфувальним кругом - катодом дорівнює висоті найбільш виступаючих зерен із зв'язки. В цей зазор подається електроліт. Продукти анодного розчинення матеріалу заготовки видаляються абразивними зернами, які виступають. Електроабразивна обробка застосовується при плоскому і круглому шліфуванні твердих сплавів, швидкорізальних конструкційних і жароміцних сталей і сплавів, при шліфуванні профільних пазів, шліцевих поверхонь, заточенню ріжучих інструментів. Процес протікає при значно меншій теплонапруженості в порівнянні із звичайним шліфуванням.

Як ріжучий інструмент застосовуються абразивні й алмазні круги на струмопровідних зв'язках М1, М5, СЕШ-1, СЕШ-2, основними компонентами в яких є мідь, цинк, алюміній. При електроабразивному шліфуванні жароміцних і конструкційних сталей застосовують білий електрокорунд, для титанових - зелений карбід кремнію. Як струмопровідні електроліти, що забезпечують необхідну якість поверхні, точність і продуктивність, а також виключають корозію на незахищених частинах устаткування, застосовуються розчини нейтральних солей з добавками інгібіторів для надання їм антикорозійних властивостей. Як інгібітори використовують двохромовокислий калій, бензойнокислий натрій, триетаноламін.

У табл. 10.5 наведені деякі склади електролітів, які застосовуються для електроабразивної обробки [52].

Таблиця 10.5

Оброблюваний матеріал	Склад електроліту	Масова частка компонента, %	Знімання, мм ³ /хв	R _a , мкм
Сталі вуглецеві	натрій азотно-кислий	25	4560–5360	1,25–0,32
	хлористий натрій	10–25		
	гексаметафосфат натрію	0,04–0,4		
	силікат натрію	0,3–0,5		
	інше вода			
Сплави титанові	хлористий натрій	3–15	870–3000	2,5–1,25
	бромистий калій	3	1250–3500	
	інше вода			
Тверді сплави	хлористий натрій	8–10		0,63–0,32
	інше вода			

Електроабразивне шліфування твердих сплавів здійснюється на наступних режимах: швидкість круга 15 – 30 м/с, напруга 15 – 20 В, щільність струму 1 – 7 А/см², тиск 15 – 20 МПа [53].

10.5.5. УЛЬТРАЗВУКОВА ОБРОБКА

Ультразвукова обробка застосовується для виготовлення деталей з крихких і твердих матеріалів (скла, кераміки, порцеляни, твердих сплавів). Метод заснований на використанні ультразвукових коливань інструмента здійснюваних за допомогою магнітострикційних вібраторів.

Магнітострикційний ефект заснований на здатності деяких металів змінювати свої геометричні розміри в магнітному полі. Такими властивостями володіє нікель. магнітострикційні вібратори дозволяють одержати частоти коливань порядку 20 - 30 кГц. Іноді потрібно одержати коливання з частотами порядку 100 - 150 кГц. Для цього використовують п'єзоелектричний ефект, пов'язаний зі здатністю деяких матеріалів змінювати свої геометричні розміри під впливом електричного поля. Ця властивість найбільш виражена у кристалів кварцу і титаніту барію.

При наявності ультразвукових коливань у рідких середовищах виникає кавітація - утворення в рідині невеликих кавітаційних пухи-

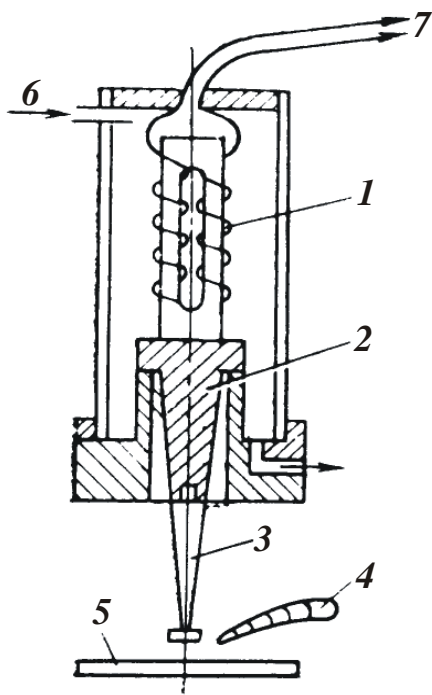


Рис. 10.42. Схема ультразвукової обробки: 1 - магнітострикційний вібратор; 2 - концентратор; 3 - інструмент; 4 - сопло для подачі абразивної суспензії; 5 - деталь; 6 - вода для охолодження вібратора; 7 - вихідні кінці обмотки вібратора для підключення до генератора високої частоти.

рців. Ці пухирці нестійкі. При їхньому руйнуванні виникають сили, що супроводжуються гідравлічним ударом. Якщо поблизу цих пухирців буде знаходитися тверде тіло, то під впливом гідравлічного удару воно руйнується. На поверхні утворюються дрібні раковини.

Якщо в зону обробки безупинно подавати абразивну суспензію з дрібних часток алмазного пилю, карбіду бора чи карбіду кремнію, то під впливом високочастотних коливань інструмента магнітостриктора 3 (рис. 10.42) абразивні зерна з великою швидкістю будуть вдарятися об поверхню, яка обробляється, руйнуючи неї. При резонансі амплітуди коливань магнітострикційних вібраторів складають не більше 5 – 10 мкм. Для підвищення ефективності ультразвукової обробки необхідно, щоб торець стрижня інструмента вібрував з амплітудою 0,03–0,1 мм.

Для досягнення цієї мети застосовують підсилювачі коливань. Конічний стрижень (концентратор) 3 виготовляють з високоміцного металу, що володіє висо-

кими антифрикційними властивостями і стійкістю проти спрацювання від руйнуючого впливу абразиву. Продуктивність процесу обробки залежить від властивостей оброблюваного матеріалу, амплітуди і частоти коливань інструмента і зернистості абразивного матеріалу.

На машинобудівних заводах ультразвуковий метод застосовується для обробки отворів у деталях із загартованих сталей, жароміцних і титанових сплавів, карбіду вольфраму і молібдену, скла, графіту, кераміки і т.п. Точність обробки залежить від величини зерна абразиву і може бути забезпечена в межах 0,005 - 0,04 мм.

Ультразвукову обробку часто застосовують у сполученні з електроіскровою. Попередня обробка здійснюється електроіскровим, а чистова – ультразвуковим методами.

Г Л А В А 11

ТИПОВІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ

11.1. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ

До корпусних деталей відносяться деталі коробкоподібної форми. Отвори корпусних деталей поділяються на точні (які служать опорами для валів і підшипників) і допоміжні, призначені для кріплення деталей і змащення. Діаметри основних отворів під посадку підшипників виготовляються за п'ятим квалітетом точності із шорсткістю $R_a=0,08 - 0,14$ мкм. Неспіввісність отворів допускається в межах половини допуску на діаметр меншого отвору, а їх конусність і овальність не більше 0,3 - 0,5 поля допуску на відповідний розмір. Допуски на міжосьову відстань для циліндричних зубчастих передач з міжцентровою відстанню 50 - 800 мм при різних видах сполучень змінюються від ± 25 до 150 мкм. Непаралельність осей отворів змінюється в межах 0,02 - 0,05 мм на довжині 100 мм довжини. Привалові поверхні обробляються із шорсткістю поверхні $R_a=0,2 - 0,8$. Неперпендикулярність торцевих поверхонь до осей отворів допускається в межах 0,01 - 0,05 мм на 100 мм радіуса. Шорсткість поверхонь отворів $R_a=1,6 - 3,2$.

Для виготовлення заготовок корпусних деталей часто застосовують сірий чавун, рідше - сталеве лиття. Перед обробкою різанням внутрішні і зовнішні поверхні корпусних деталей фарбують. Трудомісткість виготовлення корпусних деталей у значній мірі залежить від технологічності конструкції. Для зниження трудомісткості виготовлення корпусних деталей необхідно при проектуванні забезпечити наступну технологічну вимогу - корпусна деталь повинна бути досить твердою, щоб у процесі обробки не виникали деформації.

Базові поверхні корпусної деталі повинні мати достатню довжину і забезпечувати обробку від однієї бази. Отвори корпусної деталі повинні мати по можливості просту геометричну форму, без кільце-

вих канавок і фасок. Бажано, щоб діаметри отворів, розташованих на одній осі, зменшувалися від зовнішніх стінок до перегородок. Отвори, осі яких розташовані під кутом до стінки деталі, небажані, тому що це викликає при обробці відхилення свердла і навіть його поломку.

Кріпильні отвори повинні бути стандартними. В усіх видах виробництв послідовність обробки корпусних деталей принципово однакова і полягає в обробці зовнішніх поверхонь (базових) і основних отворів.

Обробка зовнішніх і основних отворів здійснюється за дві операції: чорнову і чистову. Кріпильні отвори обробляються за одну операцію. В одиничному виробництві заготовки корпусних деталей обробляються по розмітці чи з застосуванням УСП на універсальних верстатах. В умовах серійного виробництва обробку заготовок корпусних деталей здійснюють із застосуванням пристроїв, які повністю виключають розмітку заготовок і їхню вивірку при встановленні на верстат.

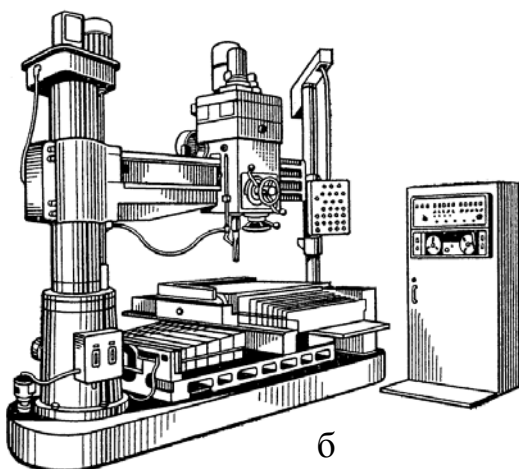
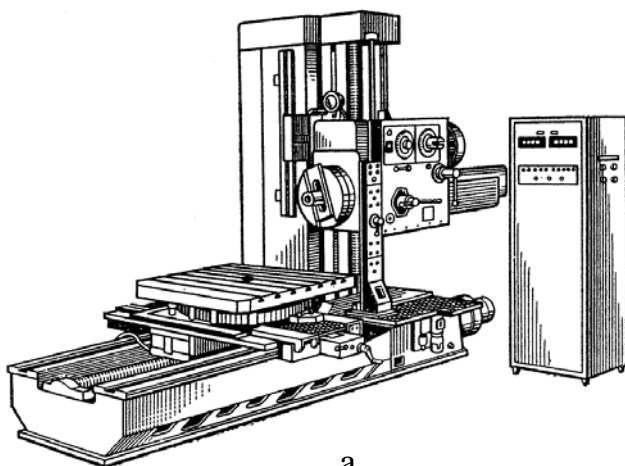


Рис. 11.1. Верстати з програмним керуванням для обробки корпусів: а – горизонтально-розточувальний верстат; б – радіально-свердильний.

Корпусні деталі базуються по поверхні і двом точним установчим технологічним отворам, розташованим на максимально можливій відстані один від одного по діагоналі.

В одиничному і дрібно-серійному виробництвах основні отвори в заготовках корпусних деталей обробляють на горизонтально-розточувальних (рис. 11.1, а), карусельних і радіально-свердильних верстатах (рис. 11.1, б) із програмним керуванням. Розточення роблять двома способами: із встановленням різця на консольній оправці і розточуванням за допомогою бортштанг.

Консольна обробка простіша, але забезпечує меншу точність. Тому при об-

робці довгих отворів замість консольного розточування застосовують розточування за допомогою бортштанг, які мають додаткову опору в люнетній стійці.

Координатно-розточувальні верстати оснащені відрахунково-вимірjuвальними системами (оптичні з екранною оптикою). Точність встановлення координат на цих верстатах 0,002 мм для верстатів малих розмірів, 0,003 – 0,004 мм для верстатів середніх розмірів і 0,006 – 0,008 мм для великогабаритних верстатів. У координатно-розточувальних верстатів підвищеної точності (майстер верстатах) точність міжцентрових відстаней при обробці деталей досягається в мажах 0,001 мм.

У серійному виробництві для розточування отворів застосовують спеціальні пристрої. Напрямок інструмента забезпечується кондукторними втулками. Бортштанга з'єднується із шпинделем верстата гнучким зв'язком. При даній схемі розточення верстат надає бортштанзі не тільки обертання, але й осьове переміщення. Точність координат забезпечується пристроєм.

У масовому і багатосерійному виробництвах розточування отворів у корпусних деталях здійснюється на агрегатних верстатах. Схеми чорнового розточування отворів корпуса коробки швидкостей представлені на рис. 11.2. На агрегатному двосторонньому верстаті здійснюється зенкерування і свердління всіх отворів.

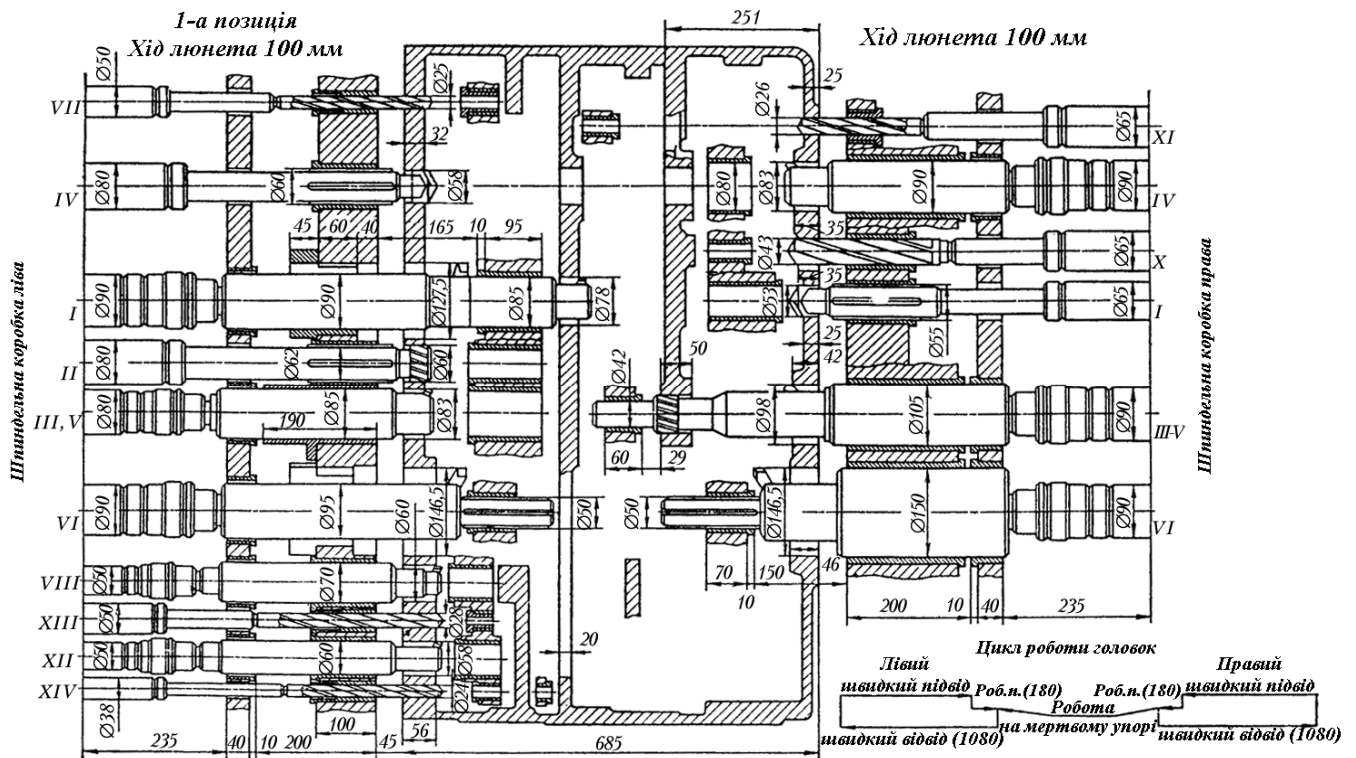
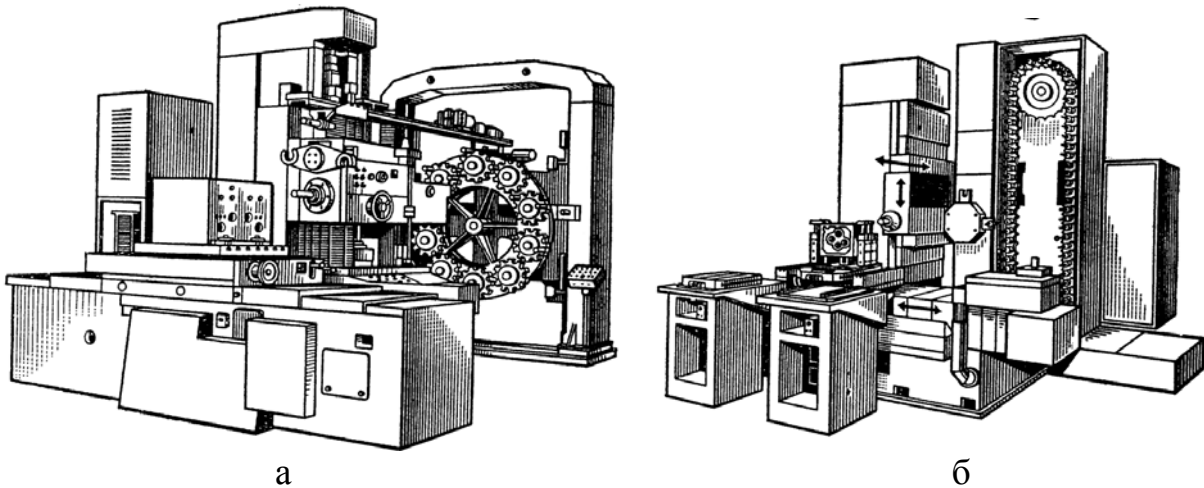


Рис. 11.2. Схема чорнового розточування корпуса коробки швидкостей.



а

б

Рис. 11.3. Верстати з програмним керуванням з автоматичною зміною інструментів: а – з одним столом; б – із двома столами.

Після закінчення робочого ходу силові головки повертаються у вихідне положення, а заготовка з робочої позиції переміщується в завантажувальну. В другій позиції (завантажувальній) оброблену заготовку знімають і встановлюють нову. За цих умов обробки допоміжний час на встановлення і зняття деталі об'єднуються з машинним. На рис. 11.3 наведений зовнішній вигляд верстатів із програмним керуванням з автоматичною зміною інструмента з одним (рис. 11.3, а) і двома (рис. 11.3, б) столами.

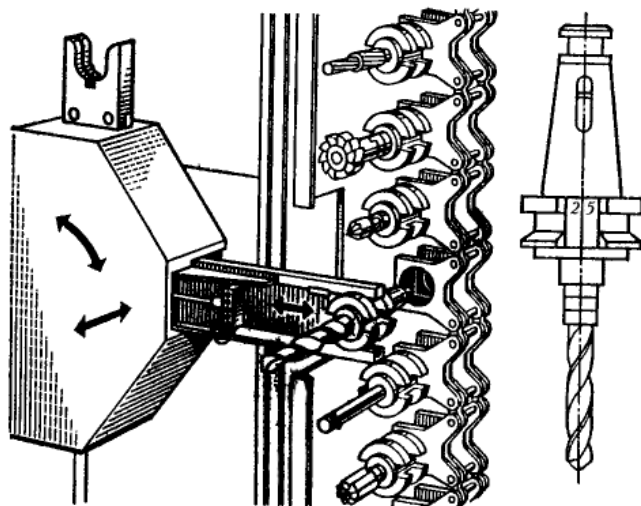


Рис. 11.4. Інструменти для обробки корпусних деталей.

Швидкодіючі пристрої для зміни інструментів (рис. 11.4) дозволяють використовувати при обробці складних корпусних деталей набори різноманітних інструментів. Наявність двох столів дозволяє об'єднати час на встановлення і зняття деталі з машинним часом. Поки на одному верстаті здійснюється обробка деталі, на іншому

відбувається зміна оброблюваної деталі. Незважаючи на високу вартість верстатів із ЧПК, обробка складних корпусних деталей є ефективною завдяки різкому скороченню трудомісткості і тривалості виробничого циклу.

На машинобудівних заводах для більшої ефективності створюють спеціалізовані й автоматизовані ділянки. Особливістю автоматизованих

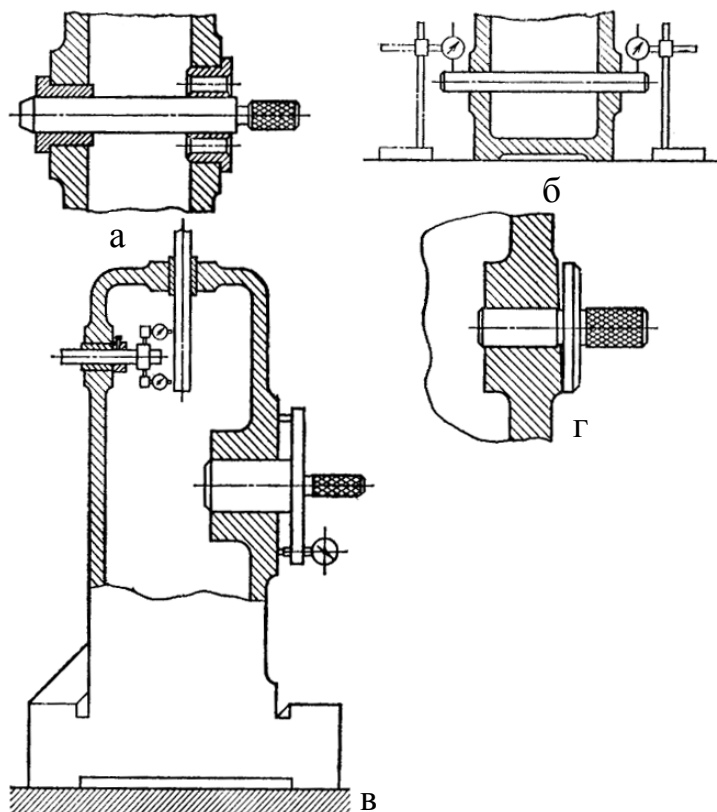


Рис. 11.5. Схеми контролю корпусних деталей.

ділянок є централізоване керування групою верстатів і транспортних пристроїв, а також диспетчеризація й облік заготовок оброблених деталей за допомогою ЕОМ.

Міжопераційні заділи заготовок розташовують на спеціальних стелажах, які обслуговуються автоматичними штабелерами командами від ЕОМ. Переміщення заготовок і деталей від стелажа і назад виконують спеціальні автоматично переміщуючі візки. Впровадження таких автоматизованих ділянок на заводах дрібносерійного виробництва

дозволяє в багато разів підвищити продуктивність праці, скоротити виробничий цикл обробки, підвищити культуру виробництва.

Після завершення обробки в корпусних деталях перевіряють:

1. Прямолінійність і правильність розташування основних (базових) поверхонь.

2. Розміри і форму основних отворів.

3. Співвісність осей отворів.

4. Міжосьові відстані, паралельність і перекіс осей.

5. Перпендикулярність осей основних отворів до торців.

Прямолінійність перевіряють рівнем чи індикатором. Діаметри вимірюють штангенциркулями, мікрометрами, граничними калібрами. Співвісність контролюють гладкими чи східчастими контрольними оправками. При перевірці співвісності великих діаметрів контрольні оправки розміщують у втулки (рис. 11.5, а).

Міжосьові відстані і непаралельність осей перевіряють мікрометром, індикаторним приладом чи штангенциркулем.

Правильність розташування осей отворів щодо основної поверхні, а також її паралельність можна перевіряти штангенрейсмусом з точністю 0,02 мм і індикатором (рис. 11.5, б) з точністю 0,01 мм.

Неперпендикулярність осей отворів перевіряють за допомогою оправки з індикатором (рис. 11.5, в) і калібром. Перевірку неперпендикулярності торцевої поверхні щодо осі отвору здійснюють за допомогою індикатора і спеціального калібру (рис. 11.5, г).

11.1.1. ОБРОБКА ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ ТИПУ СТАНИН

Станини, колони, стійки, столи й інші деталі, призначені для з'єднання і координації взаємного положення основних вузлів верстата, називають базовими. Точність обробки на верстатах залежить від точності направляючих станин, тому що вони визначають траєкторію руху ріжучої кромки інструмента. Технічними умовами передбачаються наступні вимоги:

1. Непрямолінійність направляючих не більше 0,01 - 0,05 мм на довжині 1000 мм в залежності від призначення верстата.
2. Непаралельність направляючих не більш 0,01 - 0,05 мм на довжині 1000 мм.
3. Неперпендикулярність поверхонь 0,02 - 0,1 мм на довжині 1000 мм.
4. Шорсткість поверхні напрямних повинна бути $R_a=0,4 \div 0,8$ мкм.

Станини виготовляються з чавуну СЧ 15 - 32 і СЧ 21 - 40.

Технологічна послідовність обробки станин для усіх видів виробництва принципово однакова і полягає в наступному: чорнова і чистова обробка поверхонь, обробка отворів, оздоблювальна обробка напрямних. Часто після чорнкової обробки станин передбачають старіння.

У табл. 11.1 поданий зразковий технологічний процес обробки станини токарного верстата в умовах багатосерійного виробництва.

На першій операції станину встановлюють по необроблених поверхнях напрямних, які у даному випадку є технологічними базами. Це дозволяє на наступних операціях рівномірно розподілити припуск, зберігаючи найбільш щільний, однорідний і стійкий шар на напрямних. На другій операції обробляють усі поверхні напрямних. Технологічною базою є основа оброблена на першій операції. Потім обробляють торці і платики, розташовані в площинах, перпендикулярних напрямним, якщо вони передбачені конструкцією станини.

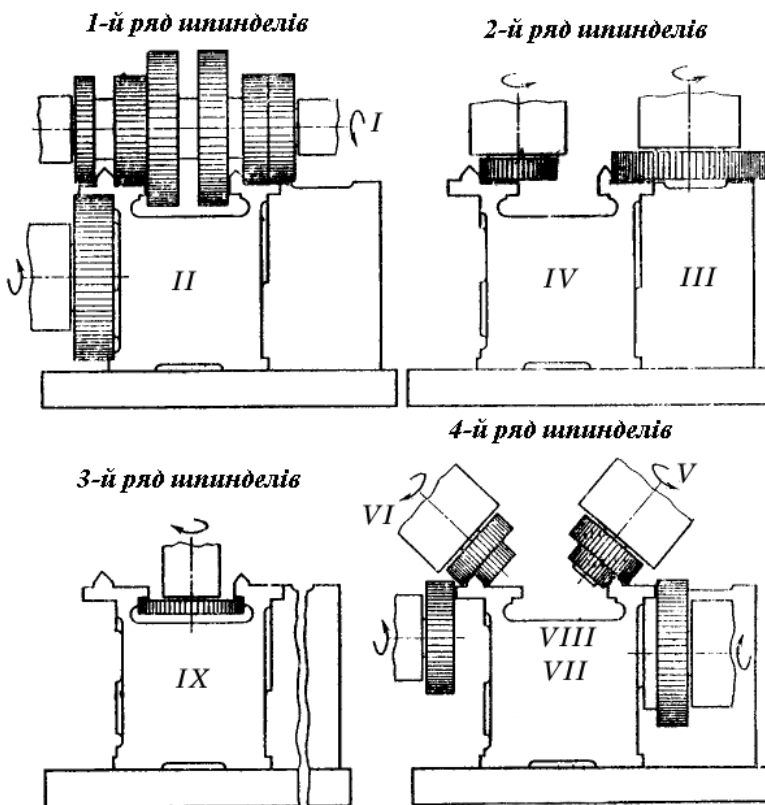
Станини верстатів підвищеної точності піддають старінню для зняття залишкових внутрішніх напружень. Потім здійснюється чистова обробка поверхонь, паралельних основі, від яких вона обробля-

ється. Останньою операцією є обробка напрямних.

Таблиця 11.1

№ п/п	Операція
1	Чорнове фрезерування поверхонь підкладки на повздовжньо-фрезерному верстаті.
2	Чорнове фрезерування поверхонь напрямних на спеціальному дев'ятишпindelьному повздовжньо-фрезерному верстаті.
3	Штучне старіння в плинні 24 годин.
4	Чистове фрезерування поверхонь підкладки на повздовжньо-фрезерному верстаті.
5	Чистове фрезерування поверхонь напрямних під шліфування на спеціальному повздовжньо-фрезерному верстаті.
6	Стругання канавок, заокруглень, вершин призм і зняття фасок.
7	Обробка кріпильних отворів.
8	Загартування поверхонь напрямних з нагріванням ТВЧ.
9	Шліфування поверхонь напрямних на повздовжньо-шліфувальному верстаті.

Чорнове фрезерування направляючих станин на заводах багатосерійного виробництва здійснюється на спеціальних багатошпindelьних повздовжньо-



фрезерних верстатах (рис. 11.6). Станини закріплюють за допомогою швидкодіючих електромеханічних затискачів.

Старіння (природне чи штучне) станин роблять після чорнової обробки для зняття залишкових напружень, які виникають при відливанні і чорновій обробці різанням. Штучне старіння здійснюють при нагріванні до 400 – 600°C з наступною витримкою протягом

Рис. 11.6. Схема чорнової обробки станини на дев'ятишпindelьному повздовжньо-фрезерному верстаті.

4÷12 годин і охолодженням до кімнатної температури протягом 5÷6 годин.

Чистову обробку направляючих станин здійснюють у дрібносерійному виробництві струганням, а в масовому – фрезеруванням.

Обробку кріпильних отворів станин виконують на радіально-свердлильних верстатах з використанням поворотних пристроїв і накладних кондукторів і на верстатах із ЧПК.

Оздоблювальна обробка направляючих станин полягає в тонкому струганні, тонкому фрезеруванні, шліфуванні торцем чи периферією круга і шабруванні. Вибір способу обробки напрямних залежить від розмірів станини, технічних вимог, а також від масштабу виробництва.

Шабрування застосовують для обробки направляючих особливо точних верстатів, направляючих великогабаритних станин, які не можна обробити на шліфувальних верстатах. Шабрування забезпечує точність за непощинністю в межах 0,02 мм на довжині 1000 мм при 30 плямах на площі 25 - 25 мм.

Найбільш продуктивним методом обробки напрямних є шліфування. Трудомісткість обробки направляючих станин методом шліфування в 4 - 5 разів менше процесу шабрування.

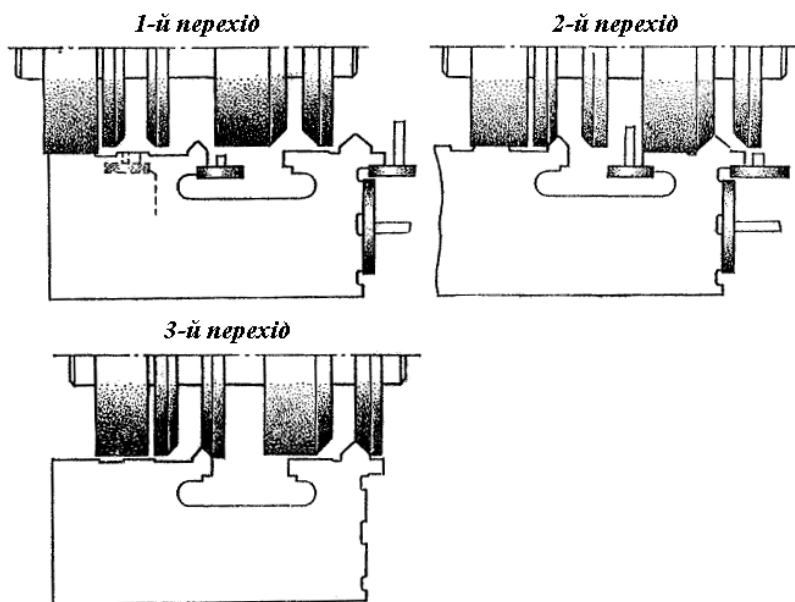


Рис. 11.7. Схема установки шліфувальних кіл для обробки напрямних за три переходи.

Схема встановлення шліфувальних кіл для обробки направляючих станини токарного верстата показана на рис. 11.7. На верстаті п'ять шліфувальних кіл працюють периферією і чотири торцем.

Тонке фрезерування застосовується для обробки прямолінійних напрямних простого профілю. Цей процес ефективний при одночасному фрезеруванні декількох поверхонь фрезерними головками, оснащеними пластинками з твердого сплаву.

В умовах багатосерійного виробництва шліфування напрямних здійснюється на спеціальних багатопіндельних верстатах.

11.1.2. ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ МОДИФІКАЦІЇ ЕЛЕМЕНТІВ ВЕРСТАТІВ НА ТОЧНІСТЬ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ

Точність виготовлення деталей визначається відповідністю траєкторії руху робочих органів верстата по напрямних. Напрямні верстатів, особливо прецизійних, виготовляються з високою точністю. Однак висока точність виготовлення напрямних, як еталонів прямолінійних переміщень, не завжди гарантує збереження точності в процесі переміщень рухомих вузлів верстата.

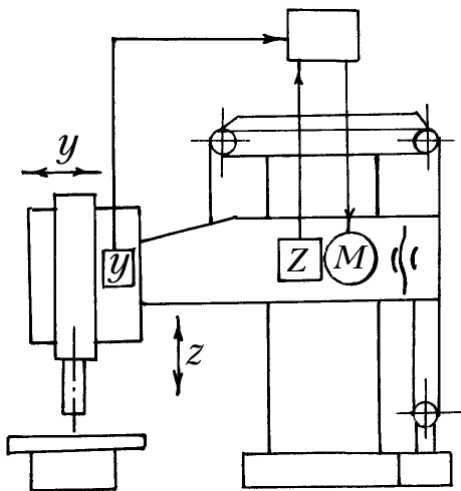


Рис. 11.8. Конструктивна компенсація прогинів для координатно-розточувального верстата.

Наприклад, встановлено, що гравітаційні навантаження при переміщенні рухомих вузлів координатно-розточувального верстата 2В460 призводять до відхилення від прямолінійності переміщення в 10 мкм на довжині 1000 мм ходу. Для компенсації змінних по довжині переміщень прогинів колон, стійок, порталів, консолей застосовуються гідравлічні або електромеханічні системи компенсації похибок за рахунок створення за допомогою тросів перекидаючого протимоменту, величина якого стабілізує точність положення рухливих

органів верстата (рис. 11.8).

Застосування аналогічного методу компенсації похибок при зубофрезеруванні на верстаті моделі 5343 дозволило підвищити точність нарізаємих зубчастих коліс з 8 до 7-го ступеня точності.

На точність виготовлення деталей і продуктивність обробки впливає вібростійкість базових деталей, зокрема, станин верстатів. У зв'язку з цим вважається перспективним напрямком застосування дешевих конструкційних матеріалів, які мають високу вібростійкість. До числа таких матеріалів можна віднести епоксидний бетон "Гранітан", що складається із сталі і гранітної крихти. Фірма "Буркхард і Вебер" (ФРН) для столів прецизійних верстатів застосувала матеріал, який складається з часток ферита і полістирольної зв'язки. Здатність цього демпфуючого матеріалу у 100 разів більша, ніж у чавуну. Крім того, у перспективі планується створити аналогічні, але більш дешеві

конструкційні матеріали з промислових відходів. Верстати з полімерно-бетонними станинами випускають фірми “Манфорс і Борингер” (ФРН), “Діка, Сміт і Крейс” (Великобританія). Полімербетони виготовляються на основі епоксидної, поліефірної й акрилової смол з наповнювачем із кварцового піску, базальту, гранітної крихти.

Полімерні бетони мають межу міцності на розтяг $\sigma = 25 \text{ Н/мм}^2$, негігроскопічні, стійкі до олій, води, СОЖ і інших агресивних середовищ. Вони мають приблизно в 10 разів вищу вібростійкість у порівнянні з чавуном.

Для економії металу ряд фірм при виготовленні корпусних деталей застосовують цементний бетон різних типів. Однак застосування цементного бетону, як найбільш дешевого матеріалу, стримується рядом причин: цементний бетон має малу статичну твердість, низьку міцність на розтяг і згин та гігроскопічність. Тому низьку твердість слід компенсувати за рахунок збільшення товщини стінок, а в ряді випадків виготовляти суцільним монолітом. Підвищення точності на високошвидкісних верстатах досягається за рахунок поліпшення динамічних характеристик. Для гасіння вібрацій застосовують пасивні чи активні вібропогашувачі. Пасивні вібропогашувачі (демпфери) фрикційної, динамічної і гідравлічної дії застосовуються в розточувальних бортштангах. Активні вібропогашувачі (вібратори) керуються від давача швидкості того елемента, вібрацію якого необхідно знизити.

Для збереження точності напрямних протягом життєвого циклу верстата необхідно забезпечити підвищену їхню стійкість проти спрацьовування. Поряд із традиційними способами захисту напрямних від твердих часток, пилу і бруду, застосовуються нові: присадки до змащень, які забезпечують процес вибірного переносу; перехід від напрямних ковзання до напрямних кочення і термічна обробка напрямних.

Для запобігання напрямних від подряпин і задирів на їх поверхню наноситься композиційний матеріал на основі епоксидних смол типу SKC-3. Шар наноситься в пастоподібному вигляді під тиском у спеціальних пристроях. Після затвердіння здійснюється обробка лезвійними чи абразивними інструментами. Покриття SKC-3, працюючи в парі із сталевими чи чавунними загартованими напрямними, поглинає тверді частки, що потрапили в зону ковзання напрямних, попереджаючи тим самим їх від появи подряпин і задирів. Важливою властивістю сполученої пари композиційний матеріал SKC-3 – чавун є рівнозначність коефіцієнтів тертя спокою і руху. Допустимий пито-

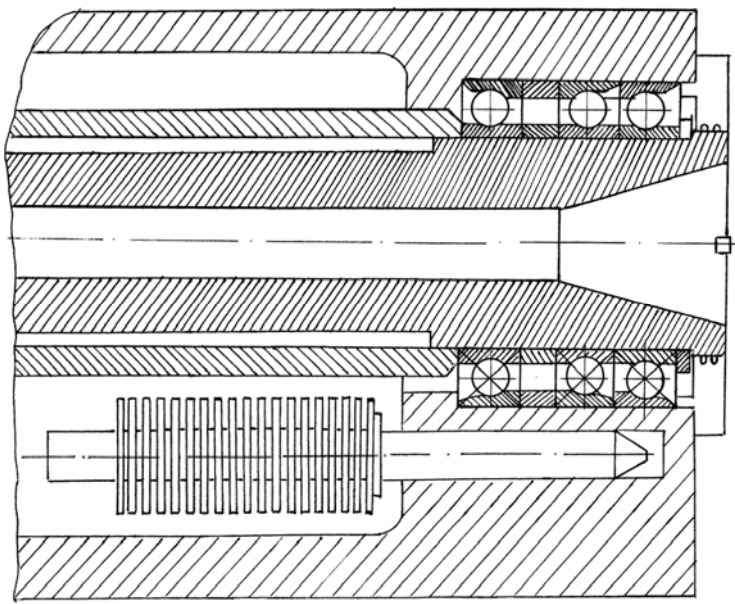


Рис. 11.9. Компенсація теплових деформацій за допомогою “теплової труби”.

мий тиск 1500 Н/см^2 при температурі 30°C .

На точність оброблених деталей значно впливають температурні деформації вузлів верстата. На прецизійних високоточних верстатах застосовуються спеціальні системи автоматичної компенсації теплових деформацій верстатів. Пристрої здійснюють спрямовані зміни теплових потоків у вузлах верстатів.

Одним із прикладів пристрою автоматичної підтримки теплового режиму є “теплова труба”, яка складається з пустотілого стрижня, виготовленого з матеріалу з високою теплоємністю і теплопровідністю. Пустотілий стрижень, запаяний герметично, заповнюється рідиною з високою теплоємністю. На стрижень встановлюються мідні диски, які утворюють радіатор, що обдувається струменем повітря. Теплова трубка відсмоктує тепло від джерела. Приклад охолодження шпиндельного вузла тепловою трубкою представлений на рис. 11.9.

На безцентрово-шліфувальному верстаті моделі 3M182, шпиндельний вузол якого оснащений тепловими трубками, похибка від температурних деформацій діаметральних розмірів у партії деталей знизилася в 1,5 рази. З вбудованими тепловими трубками в шпиндельні вузли випускаються фрезерно-свердлильно-розточувальні верстати MC-50, фірма “Хамай” (Японія); моделей В-3V і В-10V, фірма “Шизока” (Японія) і ін.

Другим напрямком компенсації теплових деформацій і зменшення похибок є встановлення в місцях інтенсивного тепловиділення датчиків. Сигнали, отримані від датчиків, надходять у систему CNC керування верстатом, за спеціальною програмою розраховується температурний зсув шпинделя і вноситься корекція в положення інструмента.

Алгоритм величин корекції розробляється на основі експериментальних досліджень температурних деформацій верстатів у відповідності до умов.

11.1.3. КОРЕКЦІЯ СИСТЕМАТИЧНИХ ПОХИБОК

Корекція систематичних похибок обробки широко застосовується для підвищення точності позиціонування робочих органів верстата. На точність позиціонування впливають похибки вимірювальної системи, геометричні похибки (непрямолінійність, вивернутість) напрямних. У випадку включення у вимірювальну систему ходових гвинтів (наприклад, передача гвинт-гайка кочення) у сполученні з круговим вимірювальним перетворювачем (давачем) на точність позиціонування впливає також внутрікрокова і накопичена похибка гвинтової пари.

Традиційний - механічний - спосіб корекції похибок позиціонування полягає в створенні додаткової кінематичної ланки, диференціально зв'язаної з рухомим органом. Ця ланка містить у собі коригувальний пристрій, наприклад, корекційну лінійку, на якій є виступи і западини, що відповідають похибкам системи.

По лінійці ковзає чи котиться ролик важеля, і з врахуванням виступів і западин важіль повертається навколо своєї осі. Поворот важеля здійснює безпосередній силовий вплив на рухомий орган верстата, сповільнюючи чи прискорюючи його рух.

Іншим прикладом використання методу корекції систематичних похибок є підналагодження верстата в процесі обробки партії деталей.

Розмірна корекція полягає в переміщенні різця на величину половини зсуву вершини кривої розсіювання, яке викликане впливом систематичної похибки. У результаті такого зсуву ріжучої крайки інструмента центр групування розмірів випадкових величин повертається в початкове положення, тобто з'єднується з середньою поля допуску на виготовлення деталі. Ймовірність появи браку усувається.

Момент підналагодження верстата визначається за точковою діаграмою, коли величина середньоарифметичної величини вибірки з m деталей наближається до верхньої границі (ВГ) завуженого допуску точкової діаграми

$$ВГ = \bar{x} + U_p \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{m}},$$

де \bar{x} – середньоарифметичне значення розмірів $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$. Параметр

U_p залежить від величини довірчої ймовірності p .

Таблиця 11.2

p	0,8	0,9	0,95	0,99	0,999
U_p	0,842	1,282	1,645	2,326	3,00

На рис. 11.10 хрестиками показані розміри середньоарифметичних групових значень вибірок з m деталей. Автоматизація налагодження за результатами активного контролю дозволяє стабілізувати точність у часі, забезпечуючи високу продуктивність обробки.

Найбільший вплив на величину поля розсіювання розмірів мають: коливання припуску на обробку, твердість матеріалу заготовки, зміна сил різання і швидкості при позиціонуванні. Зростання коливань припуску і твердості збільшує діапазон змін сил різання, а зміна швидкості виконавчих механізмів при позиціонуванні змінює коливання шляху на ділянці точного позиціонування.

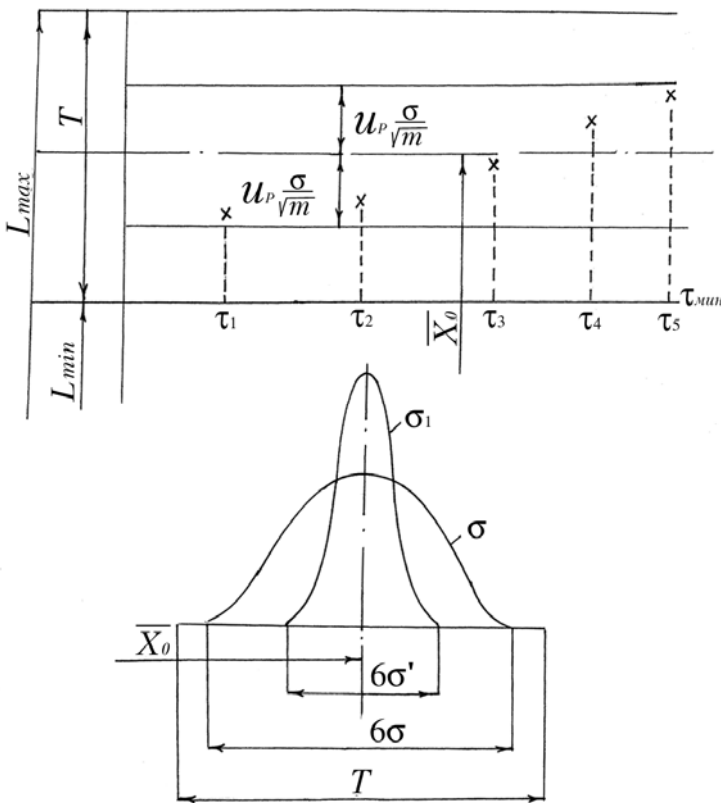


Рис. 11.10. Точкова діаграма T – допуск на виготовлення деталі; σ – середньоквадратичне відхилення розмірів; σ' – середньоквадратичне відхилення групових величин; m – кількість деталей у групі.

Для корекції випадкових похибок, пов'язаних з коливаннями припуску і твердості заготовки, можна шляхом попереднього вимірювання цих параметрів розсортувати заготовки на групи і для кожної групи внести відповідні виправлення в налагоджуючі розміри.

Для автоматичної стабілізації точності обробки при наявності випадкових величин, які змінюються, необхідно забезпечити постійне значення радіальної складової зусилля різання $F_y = const$.

З аналізу формули $F_y = C_y \cdot t^x \cdot S^y \cdot HB^n V^z$ ви-

дно, що випадкові зміни твердості матеріалу HB , глибини різання t і її швидкості V можуть бути компенсовані за рахунок зміни повздовжньої подачі S .

Для стабілізації точності необхідно забезпечити сталість пружного стиску, пропорційну силі різання. Таким чином, умовою регулювання є забезпечення $F_y = const$, тобто

$$C_y \cdot t^x \cdot S^y \cdot HB^n V^z = const.$$

Для забезпечення цієї умови найбільш зручним у технічному відношенні керованим параметром є подача S . Пружний стиск, точніше, його коливання, слугує сигналом збільшення чи зменшення подачі для підтримки сталості пружних деформацій, що рівнозначно підтримці налагоджувачого розміру при випадкових збурюваннях. Даний метод підвищення точності обробки може бути також використаний для компенсації систематичних похибок, які виникають у результаті зміни твердості технологічної системи в процесі обробки. Наприклад, при обточуванні довгих маложорстких деталей їх прогин при повздовжньому переміщенні інструмента щодо деталі змінюється, викликаючи відхилення від прямолінійності твірної. За рахунок корекції величини повздовжньої подачі можна компенсувати величину пружного стиску за законом

$$y = \frac{F_y}{k} = \frac{M \cdot S}{k} = const,$$

де k – змінна твердість технологічної пружної системи;
 $M = C' \cdot t^x \cdot V^z \cdot HB$.

11.1.4. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ

Ні в кого не викликає сумнівів той факт, що підвищення вимог до точності обробки і підвищення технологічних можливостей забезпечення точності верстатів мають тісний і нерозривний зв'язок. За останнє сторіччя досягнуто стрибок збільшення точності в 1000 разів (від часток міліметрів до часток мікромметрів).

Багато виробів сьогодні вимагають забезпечення точності деталей, розміри яких змінюються в частках мікрона. Наприклад, точність форми тіл кочення в прецизійних підшипниках кочення чи точність деталей гідроапаратури. Проникнення в молекулярний світ ще більше розширює границі підвищення точності.

Питання полягає в тому, яким шляхом слід забезпечувати підвищення точності.

Однією з головних проблем, яка стримує підвищення точності

виготовлення деталей, є метрологічна проблема. Дійсно, при оцінці точності виготовлення деталей необхідно розглядати три різні види розмірів:

1. Розмір, проставлений на кресленні.
2. Розмір отриманий при вимірюванні.
3. Фактичний розмір.

Точність розміру, отриманого при вимірюванні, залежить від здатності приладу і суб'єктивних похибок оператора. Проблеми метрології слід розглядати з двох позицій: перша - забезпечення точності виготовлення деталей; друга - оцінка результатів вимірювання, тобто контроль похибок.

Перша задача включає конструкторсько-технологічні питання. Тут враховуються можливості конструкції верстатів і технології забезпечення точності.

Друга задача пов'язана із здатністю вимірювальних засобів, які входять до складу технологічного устаткування.

Вимірювальні системи повинні забезпечувати точність налагодження робочих органів верстата, точність їхнього переміщення і позиціонування, точність базування деталі і, нарешті, точність вимірювання розмірів.

Головна проблема метрології полягає в тому, що необхідна точність вимірювальних приладів верстатів наближається до точності контрольно-вимірювальних засобів. Багато верстатів із ЧПК оснащуються вимірювальними засобами з дискретністю 0,001 мм. Таку ж точність мають і засоби контролю. Якщо застосування лазерних інтерферометрів головним чином призначалося для юстировочних операцій, то останнім часом здійснюються роботи з використання інтерферометрів для вимірювання розмірів безпосередньо на верстатах при обробці деталей.

11.2. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ШПИНДЕЛІВ ВЕРСТАТІВ

Шпиндель є однією з найбільш відповідальних деталей металорізальних верстатів. Від якості шпиндельного вузла залежить точність і якість оброблюваних деталей.

Шпиндель верстатів відноситься до деталей типу валів з уступами. Точність виготовлення шпинделя залежить від класу точності верстата:

- нормальної точності;
- підвищеної точності;
- високої точності й особливо високої точності.

Овальність і конусність опорних шийок шпинделя для верстатів нормальної точності не повинна перевищувати 50% допуску на діаметр шийок. Для верстатів підвищеної точності ці величини не перевищують 25%, а для верстатів високої точності й особливо високої точності - 5 - 10% допуску на діаметр шийок.

Шорсткість поверхонь опорних шийок: $R_a=0,4 - 0,8$ мкм для верстатів нормальної точності, $R_a=0,1 - 0,2$ мкм для верстатів підвищеної точності і $R_a = 0,05 - 0,1$ мкм для більш точних верстатів.

Технологічний процес виготовлення шпинделів особливо високоточних прецизійних верстатів має більш високі вимоги за точністю розмірів, геометричної форми його елементів, їхнього розташування щодо повздовжньої осі, а також шорсткості поверхні опорних шийок.

Для зменшення впливу залишкових напружень, які викликають в процесі виготовлення й експлуатації, заготовки шпинделей піддають додатковій термічній обробці. Після чорнової обробки вони піддаються нормалізації, а при подальшій обробці - штучному старінню.

Обробка шпинделів, які мають центральний отвір (для токарно-гвинторізних верстатів), починається з фрезерування торців і свердління в них центрових отворів. Ці отвори слугують технологічною базою для чорнового і напівчистового обточування зовнішніх поверхонь.

У серійному виробництві обточування здійснюється на гідрокопіювальних верстатах за кілька проходів. Число ходів визначається розмірами шпинделя, а, головне, величиною припуску на обробку.

Часто чорнову обробку зовнішніх поверхонь виконують на багаторізцевих верстатах.

Наскрізний отвір шпинделя свердлять на спеціальному верстаті для глибокого свердління перовим свердлом, оснащеним пластинкою з твердого сплаву. Для зменшення відведення свердла отвір свердлять до половини вала з одного кінця і другу половину з іншого кінця, тобто за два встановлення з базуванням по обточених шийках, які є основними конструкторськими базами. Потім зенкерують отвір з переднього кінця шпинделя конічним зенкером на вертикально-свердлильному верстаті з наступним розточуванням конічного отвору з переднього і заднього кінців шпинделя при одночасному підрізання обох торців на токарному верстаті.

При базуванні накладного кондуктора по конічному отвору

свердлять отвір у фланці шпинделя.

Після нарізування різьб виконують термічну обробку - загартування з нагріванням ТВЧ на глибину 1,2 - 2,2 мм, $HRC = 45 - 50$.

Сутність термічної обробки полягає в короткочасному нагріванні поверхневого шару індуктором ТВЧ і швидкому охолодженні. Інша частина металу не нагрівається, що виключає деформацію шпинделя. Загартуванню піддаються поверхня зовнішнього конуса під патрон, поверхня конічного отвору в передньому кінці шпинделя і шийки під підшипники.

При виготовленні шпинделів із сталі 20 їх піддають цементації з наступним загартуванням і відпуском.

Шліци фрезерують з базуванням шпинделя по отворах центрових пробок, які встановлюються у внутрішніх конічних поверхнях. Передній конусний отвір шліфують на внутрішньоліфувальному верстаті з базуванням шпинделя по циліндричним шийкам для підшипників.

Контроль концентричності конусного отвору щодо опорних шийок перевіряють за допомогою оправки, яка встановлюється в конічному отворі переднього кінця шпинделя і по двох індикаторах, які впираються в циліндричну частину оправки, на відстані 300 мм один від одного. При перевірці концентричності вал встановлюють опорними шийками на призми. При обертанні шпинделя відхилення стрілки індикатора не повинно бути більше 5 – 10 мкм.

Особливості обробки шпинделів прецизійних верстатів

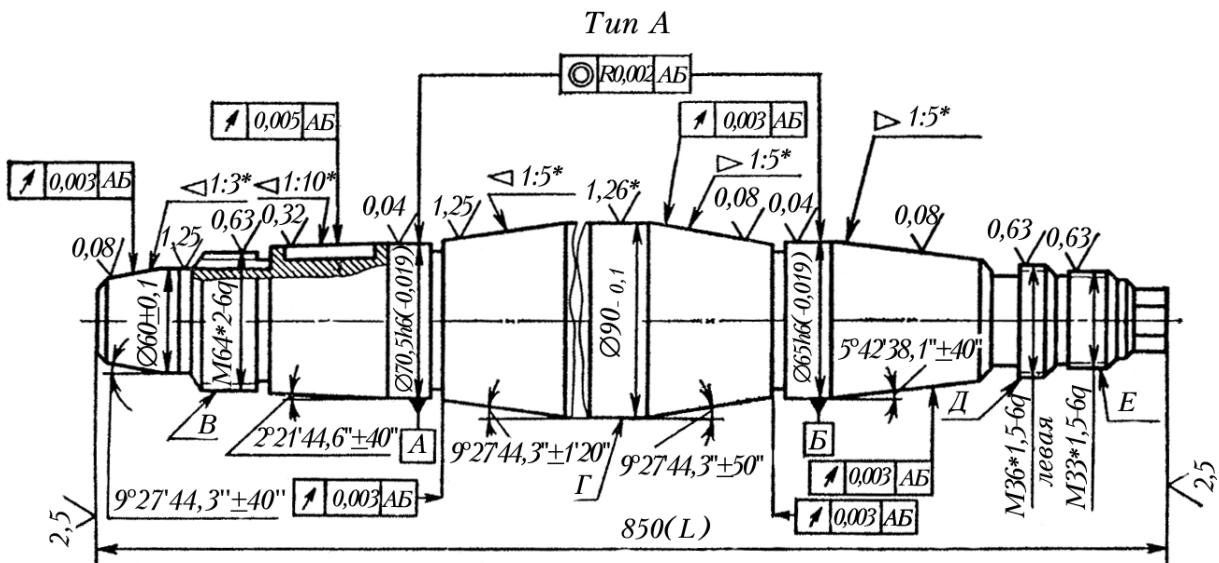


Рис. 11.11. Ескіз шпинделя.

Технологічний процес виготовлення шпинделів прецизійних верстатів більш складний, тому що до них висувають більш високі

вимоги. Наприклад, у шпинделя координатно-розточувального верстата 2А430 відхилення від конусності й овальності опорних шийок не повинні перевищувати 0,002 мм, биття повинне бути не більше 0,003 мм, параметр шорсткості $R_a=0,04$ мкм. Для усунення впливу залишкових напружень, які можуть викликати деформацію шпинделя не тільки в процесі виготовлення, але й при експлуатації, шпинделі прецизійних верстатів піддаються багаторазовій термічній обробці.

Шпинделі зубошліфувальних і різбошліфувальних верстатів (рис. 11.11) високої точності в умовах дрібносерійного виробництва виготовляються за наступним технологічним процесом:

1. Відрізка заготовки із сталі 38ХМЮА.
2. Ковальська обробка.
3. Термічна обробка (випал).
4. Чорнова обробка торців і центрових отворів на токарному верстаті.
5. Термічна обробка - загартування з високим відпуском.
6. Обробка торців і центрових отворів.
7. Обробка зовнішніх поверхонь.
8. Обробка пазів, лисок.
9. Обробка зразків-свідків під шліфування.
10. Попереднє шліфування точних зовнішніх поверхонь і торців на круглошліфувальному верстаті; вал встановлюється на центрових фасках.
11. Термічна обробка - стабілізуючий відпуск (разом із зразками-свідками).
12. Шліфування центрових (базових) фасок.
13. Попереднє шліфування точних зовнішніх поверхонь і торців із припуском 0,15 мм. Овальність і конусність оброблених базових поверхонь не повинна перевищувати 0,005 мм, $R_a \leq 0,63$ мкм.
14. Термічна обробка - відпуск стабілізуючий (разом із зразками-свідками).
15. Шліфування центрових (базових) фасок.
16. Шліфування зовнішніх робочих поверхонь і торців під азотування з припуском під наступну обробку 0,05-0,08 мм. Овальність і конусність базових поверхонь не повинна перевищувати 0,0025 мм. Радіальне биття щодо осі повинне бути не більше 0,008 мм, шорсткість $R_a \leq 0,63$ мкм.
17. Термічна обробка - азотування (разом зі зразками-свідками). Азотування газове в шахтних електропечах.

18. Шліфування центрових (базових) фасок. Цю і наступну операції для шпинделів верстатів класу точності В, А, С рекомендується виконувати в термоконстантному приміщенні.

19. Остаточне шліфування зовнішніх поверхонь.

20. Нарізування метричного різьблення на різьбошліфувальних верстатах високої точності.

21. Суперфінішування опорних шийок.

Усі шпинделі швидкохідних прецизійних верстатів проходять балансування в зібраному виді. Похибки виготовлення і монтажу шпиндельного вузла, а також різна щільність металу деталей, що входять у шпиндельний вузол призводять до неврівноваженості, яка в умовах експлуатації може викликати появу вібрацій. Вібрації знижують стійкість ріжучого інструмента, погіршують якість оброблюваних поверхонь, збільшують спрацювання опор шпинделя.

Неврівноваженість може бути статичною, коли не збігається центр ваги деталі з віссю обертання (вона викликає тільки відцентрову силу) і динамічною, коли дія незрівноважених мас викликає появу пари сил і відцентрових моментів інерції, що не дорівнюють нулю.

Для усунення незрівноваженості шпиндельний вузол проходить балансування. Відповідно до двох видів незрівноваженості існує два види балансувань – статичне і динамічне.

Статичне балансування застосовують для деталей, у яких відношення L/D мале (маховики, диски, зубчасті колеса).

Оскільки на шпинделі верстатів $L/D \gg 1$ монтується ряд деталей (зубчасті колеса, гайки, кільця, втулки, підшипники, фланці), то для такого вузла характерні обидва види незрівноваженості. Тому шпиндельний вузол піддають динамічному балансуванню, що усуває обидва види незрівноваженості. Динамічне балансування здійснюють на спеціальних балансувальних верстатах.

11.3. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ХОДОВИХ ГВИНТІВ

Службове призначення ходових гвинтів. Ходові гвинти верстатів призначені для перетворення обертального руху в поступальне лінійне переміщення за допомогою сполучених з ним гайкою різних вузлів верстата (супортів, кареток, фартухів, столів і ін.) із заданою точністю.

Ходові гвинти в залежності від ступеня точності переміщення,

який вони забезпечують, поділяються на п'ять класів: 0, 1, 2, 3, 4.

У металорізальних верстатах в основному застосовуються ходові гвинти 0-го і 2-го класів точності. Профіль різьб ходових гвинтів може бути прямокутним, напівкруглим, трапецеївидним і трикутним. Ходові гвинти з трапецеївидною різьбою є найбільш технологічними (рис. 11.12). Гвинти з трапецеїдальним профілем дозволяють за допомогою розрізної гайки регулювати осьові зазори. Спрощується технологія нарізування і шліфування різьб цих гвинтів.

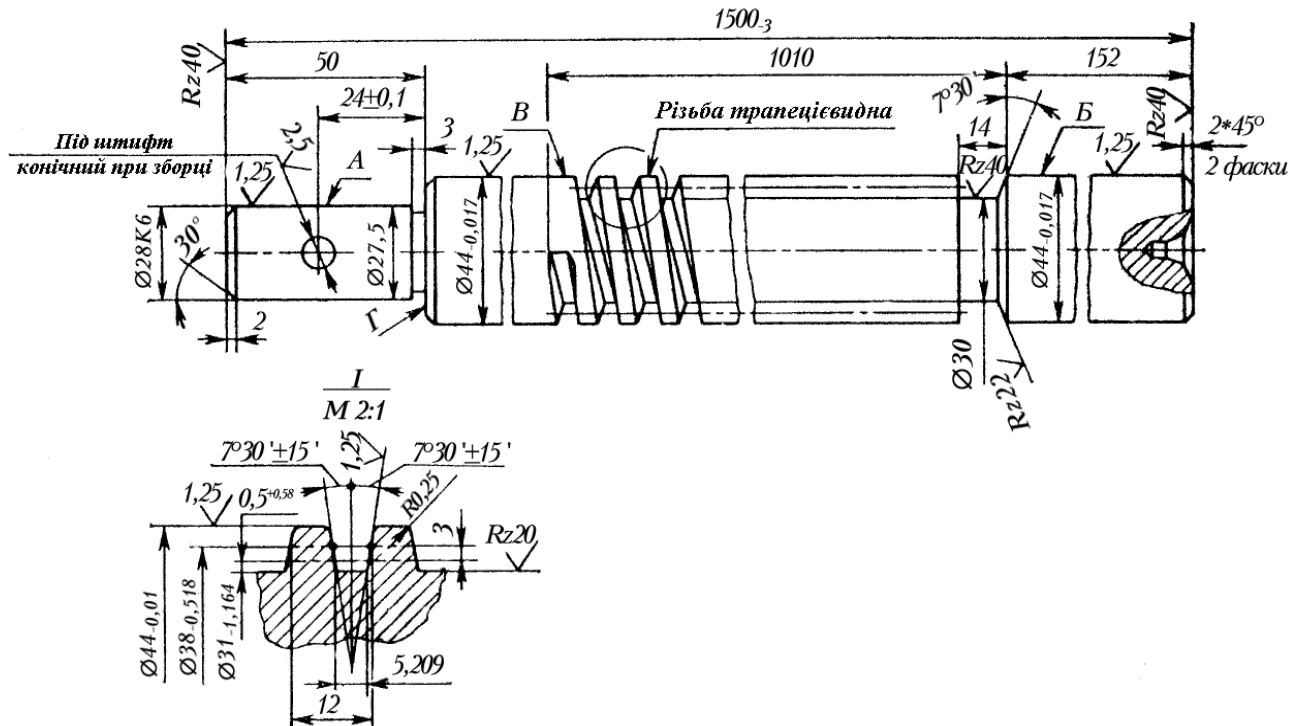


Рис. 11.12. Ходовий гвинт із трапецеївидним профілем.

Ходові гвинти мають малу жорсткість, тому що їхня довжина в багато разів перевершує діаметр. Тому при виготовленні під дією сил різання, а також власної ваги виникають деформації. Усе це створює певні труднощі при виготовленні ходових гвинтів.

Прецизійні ходові гвинти 0-го і 1-го класів точності піддаються кількаразовій термічній обробці: стабілізуючому відпалу, загартуванню, високотемпературному відпуску, стабілізуючому відпуску. Після чорнових токарних операцій проводять високотемпературний відпуск. Гвинти із сталі ХВГ діаметром 40 – 80 мм піддають штучному старінню в масляній ванні протягом 30 годин при температурі 140 – 150°C.

Термічне зміцнення гвинтів до твердості $HRC=57 - 60$ забезпечується об'ємним загартовуванням у шахтній соляній ванні у вертикальному підвішеному положенні при східчастому нагріванні: спочатку нагрівання до 550 – 600°C і витримка протягом однієї години, потім поступове збільшення температури до 840 – 850°C.

Охолодження здійснюється в олії, підігрітій до 50⁰С. Після загартування передбачений відпуск.

Попереднє нарізування різьб здійснюється багатонитковим кругом з монокорунда 44А8-16М1-28-12К. Остаточне шліфування трапецеївидної різьби здійснюється на прецизійних різьбошліфувальних верстатах 5Д822В однопітковим ельборовим кругом Л12-Л25СМ1-СМ28К 100%.

Типовий технологічний процес механічної обробки ходових гвинтів із сталі ХВГ з трапецеївидним профілем різьби в умовах серійного виробництва наведений нижче:

1. Відрізка заготовок і зразків-свідків. Зразки-свідки проходять всі операції механічної і термічної обробки разом з партією заготовок.
2. Термічна обробка (відпал).
3. Обробка торців і центрових отворів на токарних верстатах при встановленні заготовки в патроні і люнеті з переустановкою на 180⁰ і повторною вивіркою на биття.
4. Попередня обробка зовнішньої поверхні на токарно-гвинторізних верстатах і токарних із ЧПК.
5. Термічна обробка. Відпал стабілізуючий (разом із зразками-свідками).
6. Обробка торців і центральних отворів (перецентрування).
7. Обробка зовнішніх поверхонь під шліфування на токарно-гвинторізнму верстаті з рухомим люнетом чи на токарному верстаті із ЧПК з рухомим програмувальним люнетом.
8. Обробка пазів, отворів і інших конструктивних елементів.
9. Попереднє шліфування зовнішньої поверхні під трапецеївидну різьбу.
10. Термічна обробка, загартування, відпуск (разом із зразками-свідками).
11. Шліфування центрових фасок. Шорсткість $R_a \leq 1,25$ мкм. Допускається замість шліфування притирання на токарному верстаті.
12. Попередня обробка точних зовнішніх поверхонь і торців. Операція може здійснюватися точінням на токарних верстатах різцями з ельбора-Р чи шліфуванням.
13. Попередня обробка різьби багатонитковим кругом на різьбошліфувальному верстаті.
14. Шліфування заходів різьби на різьбошліфувальному верстаті.
15. Контроль на відсутність тріщин.
16. Термічна обробка. Відпуск стабілізуючий.

17. Шліфування центрових фасок ($R_a=0,32 - 0,16$ мкм).
18. Попереднє шліфування точних зовнішніх поверхонь і торців. Припуск на посадкові поверхні 0,2 - 0,3 мм.
19. Попереднє (напівчистове) шліфування трапецеївидної різьби на різбошліфувальному верстаті колами з ельбора.
20. Термічна обробка. Відпуск стабілізуючий.
21. Шліфування центрових фасок ($R_a=0,32 - 0,16$ мкм).
22. Напівчистове шліфування точних зовнішніх поверхонь і опорних торців.
23. Напівчистове шліфування трапецеївидної різьби.
24. Термічна обробка. Відпуск стабілізуючий.
25. Шліфування центрових фасок. Операція виконується в термомоніторному приміщенні.
26. Остаточне шліфування трапецеївидної різьби.
27. Шліфування фасок на вершинах витків різьблення.
28. Остаточне шліфування базових зовнішніх поверхонь і опорних торців.
29. Контроль.

Після завершення обробки проводиться контроль зовнішнього і середнього діаметрів, відхилення від круглості, кут профілю і крок різьби. Контроль здійснюється скобами, профільними шаблонами, спеціальними вимірювальними мікроскопами, приладами для контролю похибок кроку.

11.4. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС

11.4.1. СЛУЖБОВЕ ПРИЗНАЧЕННЯ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС

Циліндричні зубчасті колеса призначені для передачі обертового руху між валами. Розрізняють силові і кінематичні зубчасті передачі. За ГОСТом 1643 - 81 передбачено 12 ступенів точності зубчастих коліс. Для 1-го і 2-го ступеня точності допуски і граничні відхилення в ГОСТі не приводяться.

На рис. 11.13 показані основні типи циліндричних зубчастих коліс середніх розмірів, що застосовуються у коробках швидкостей автомобілів, тракторів, верстатів: 1-а група – одновінцеві зубчасті колеса; 2-а – багатовінцеві; 3-я – одновінцеві у вигляді дисків; 4-а – зубчасті вінці надіті на маточину; 5-а – вали-шестірні [92].

Колеса зазначених типів виготовляються з прямими і косими зубами. Для передачі великих крутних моментів застосовують шевронні зубчасті колеса. Щоб забезпечити в прямозубих колесах розташування плями контакту в середній частині довжини зуба, профіль зуба роблять бочкоподібним (рис. 11.14).

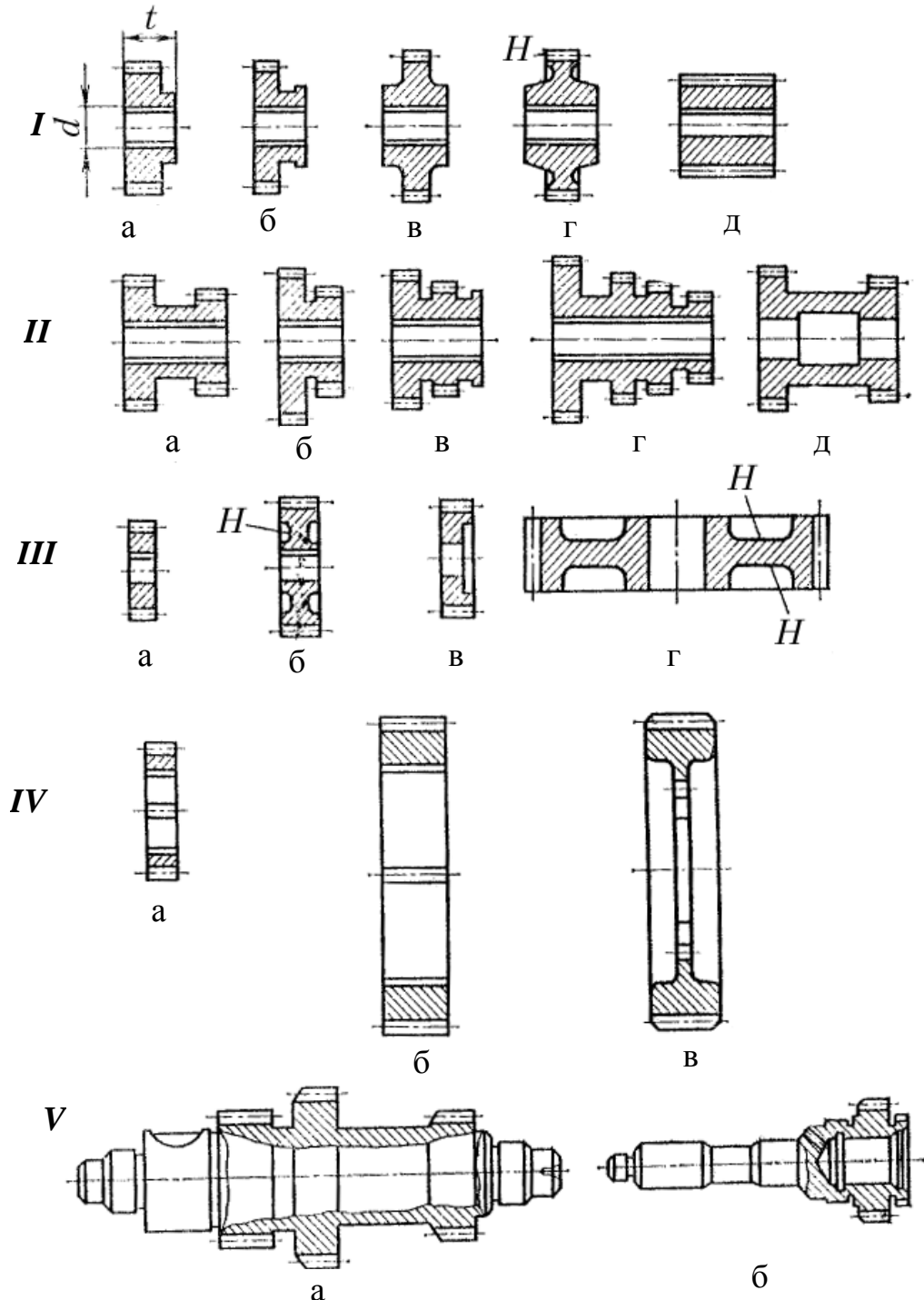


Рис. 11.13. Конструктивні різновиди циліндричних зубчастих коліс.

На вершині роблять зріз (фланкують) на величину $a_c m$, де a_c – коефіцієнт; m – модуль, мм.

Для коліс з модулем 2 – 7 мм, $a_c m = 0,03 \div 0,063$ мм.

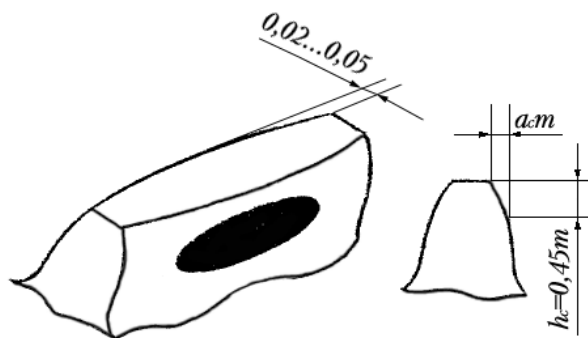


Рис. 11.14. Пляма контакту при бочкоподібному профілі зуба.

Основні вимоги до силових передач – стійкість проти спрацювання, плавність і безшумність роботи. Чим вища швидкість коліс, тим точніше вони повинні бути виготовлені.

Зв'язок колової швидкості з шорсткістю поверхні і ступенем точності представлений в табл. 11.3.

Таблиця 11.3. Залежність ступенів точності і R_a від колової швидкості

Колова швидкість м/с	Ступінь точності	R_a , мкм
до 2,5	8	1,25 – 0,63
2,5 – 6	7	2,5 – 1,25
6 – 16	6	1,2 – 0,63
16 – 40	5 – 6	0,63 – 0,32

Ступінь точності кінематичних передач встановлюється з врахуванням призначення передачі, наприклад:

№ п/п	Типи коліс	Ступінь точності, що рекомендується
1	Зубчасті колеса ділительних механізмів	5
2	Змінні колеса гітари диференціала	6
3	Змінні колеса коробок передач верстатів	7

11.4.2. МАТЕРІАЛІ І ТЕРМІЧНА ОБРОБКА

В залежності від службового призначення зубчасті колеса виготовляються з вуглецевих 40 або 45, легованих 12Х2Н4А, 20Х, 40Х, 18ХГТ сталей і в ряді випадків з чавуну, пластмас і бронзи. Зубчасті колеса, виготовлені із сталей 20Х, 12Х2Н4А піддаються цементації при температурі 920 – 950⁰С на протязі 7 - 10 годин з наступним загартуванням (нагрівання до 820 – 840⁰С й охолодженні в олії). Для зменшення залишкових напружень, які виникають після загартування, застосовується низькотемпературний відпуск при температурі 180 – 200⁰С.

У складнолегованих сталях, наприклад 12Х2Н4А, точка мартенситного перетворення знаходиться нижче нуля, тому в структурі цієї сталі зберігається велика кількість залишкового аустеніту. Для перетворення залишкового аустеніту в мартенсит застосовують обробку холодом у середовищі рідкого азоту при температурі (-70⁰С).

Після хіміко-термічної обробки твердість $HRC = 58 \div 63$. Сталь 40X, 45 і інші піддаються загартуванню: нагрівання ТВЧ, охолодження в олії, низький відпуск при температурі $180 - 200^\circ\text{C}$.

Глибини зміцнених шарів у залежності від модуля зубчастих коліс і виду зміцнення змінюються, наприклад для зубчастих коліс з модулем (3 – 4,5) мм глибина цементації змінюється від 0,7 мм до 1,0 мм. Після нітроцементації – від 0,5 мм до 0,8 мм, після азотування – від 0,35 мм до 0,5 мм і після загартування ТВЧ – від 0,8 мм до 1,2 мм.

Послідовність механічної і термічної обробки при виготовленні зубчастого колеса 6-го ступеня точності діаметром 80 – 200 мм із $m=2,5 \div 5,0$ мм із сталі 12X2H4A для дрібносерійного виробництва зазначена нижче.

1. Заготовка-штампівка чи поковка.
2. Попередня токарно-револьверна обробка.
3. Нормалізація - для здрібнювання структури і зменшення напружень (режим нагрівання до $960 \div 10^\circ\text{C}$, витримка при даній температурі на протязі 1,5 - 2 годин, охолодження на повітрі).
4. Механічна обробка кругом.
5. Зміднення (гальванічне покриття).
6. Видалення міді з тих поверхонь, які повинні піддаватися цементації, нарізування зубчастого вінця.
7. Цементация, видалення міді, загартування і відпуск. Глибина цементації 1,0 - 1,5 мм, температура цементації $930 \div 10^\circ\text{C}$, температура загартування $870 \div 10^\circ\text{C}$, температура відпуску $180 - 200^\circ\text{C}$.
8. Чистова механічна обробка (шліфування зовнішнього діаметра, торців і отворів).
9. Штучне старіння - в електричній масляній ванні (веретенне 3). Температура старіння $150 \div 10^\circ\text{C}$ з витримкою 8 - 10 годин.
10. Оздоблювальна механічна обробка. Остаточне шліфування внутрішнього отвору і базового торця. Встановлення зубчастого колеса здійснюється по трьом роликам, для забезпечення концентричності діаметра ділильної окружності і внутрішнього діаметра отвору.
11. Чистове зубошліфування, контроль і консервація.

11.4.3. ВИБІР БАЗ І ТЕХНОЛОГІЧНИЙ МАРШРУТ ОБРОБКИ ЗУБЧАСТОГО КОЛЕСА

Базування зубчастих коліс пов'язано з їхнім конструктивним оформленням, із службовим призначенням і точністю зубчастого ко-

леса. На перших операціях обробляються ті поверхні, що надалі будуть використані як установчі бази на більшості наступних операцій.

Наприклад, при виготовленні зубчастих коліс (вал – шестерня – позиція V (рис. 11.13) на першій операції оброблюються торці і центрові отвори, що надалі використовуються як установчі бази майже на всіх наступних операціях.

При виготовленні зубчастих коліс типу (III - IV, рис. 11.13), що мають малу ширину зубчастого вінця і велику площу торцевої поверхні, на першій операції оброблюється торець і отвір, що надалі будуть використовуватися як технологічні бази на більшості операцій.

При виготовленні зубчастих коліс (типу I - II, рис. 11.13), що мають маточину, на першій операції обробляють отвір, який виконує роль подвійної направляючої бази, і базовий торець (опорна база), що потім використовуються як комплект установчих баз на токарних зубонарізних і зубошліфувальних операціях.

Маршрут виготовлення зубчастих коліс 5 - 6-го ступенів точності закінчується шліфуванням зубів колеса, а маршрут виготовлення коліс 7 - 8-го ступенів точності - шевінгуванням до термічної обробки, калібруванням отвору і зняттям задирок після термічної обробки. Операція зубошліфування передбачається тільки при наявності великих похибок, що виникають після термічної обробки.

У табл. 11.4 представлений технологічний маршрут виготовлення зубчастого колеса 5-го і 6-го ступеня точності з маточиною.

Для зубчастих коліс 5-го ступеня точності операції 19 і 20 виконуються в термоконстантному цеху, а для зубчастих коліс 6-го ступеня точності варто виконувати операцію 21.

При виготовленні зубчастих коліс 7 - 8-го ступеня точності нормалізацію і відпуск слід робити після штампування. Для зубчастих коліс 7-го і 8-го ступеня точності до операції “термічна обробка” передбачається операція “зубошевінгування зубів”. Вона забезпечує 6-ий ступінь точності і при втраті точності під час термічної обробки на один ступінь кінцева, 7-ий ступінь точності при цьому буде забезпечений.

Плоскі зубчасті колеса без маточини типу III - IV при обробці базуються по поверхням торців. Обробка виконується на токарно-револьверних верстатах, після чого здійснюється шліфування торців і розточування отвору, а потім протягання шліців і обточування зовнішнього діаметра на оправці з базуванням по внутрішньому діаметру шліців.

На рис. 11.16 показані ескізи обробки і способи базування плос-

кого зубчастого колеса на операціях:

1) попередня (чорнова) токарна обробка з двох сторін (рис. 11.16, а) на вертикально-токарному патронному напівавтоматі;

Таблиця 11.4

№ п/п	Зміст операції
1.	Виготовлення заготовки (штампування)
2.	Попередня токарна обробка (рис. 11.15, а)
3.	Попередня обробка базового торця А, зовнішнього діаметра й отвору з іншої сторони (рис. 11.15, б)
4.	Контроль
5.	Термічна обробка, нормалізація і відпуск
6.	Напівчистова токарна обробка з однієї сторони (за аналогією з операцією №2) під протягування
7.	Те ж з іншої сторони за аналогією з операцією №3
8.	Протягування шліцевого отвору
9.	Зачищення заусенців на торці шліцевого отвору
10.	Попереднє шліфування базового торця А і зовнішнього діаметра (рис. 11.15, в)
11.	Попереднє шліфування отвору шліців і торця поверхні маточини
12.	Зубонарізування під наступне шліфування
13.	Зубозакруглення
14.	Термічна обробка, цементация, загартування і відпуск
15.	Притирання шліців чавунним притиранням
16.	Друге попереднє шліфування базового торця А і зовнішньої циліндричної поверхні на спеціальній цанговій оправці
17.	Друге попереднє шліфування отвору
18.	Штучне старіння – стабілізуючий відпуск.
19.	Остаточне шліфування базового торця А циліндричної поверхні на центровій оправці з конусом 1:10000, биття не більше 0,003÷0,005 мм
20.	Остаточне шліфування отвору і торця зубчастого колеса із встановленням в чотирьокучковий патрон з вивіркою по зовнішньому діаметрі з точністю 0,005 мкм
21.	Шліфування зубчастого вінця на зубошліфувальному верстаті класу А (5851, 5833)
22.	Мийка
23.	Контроль параметрів зубчастого колеса

2) чистове розточування отвору по 7-му квалітету точності при встановленні з піджимом до торця за допомогою скошених кулачків на алмазно-розточувальному верстаті (рис. 11.16, б);

3) чистове обточування по вінцях на круглій оправці з базуванням по внутрішньому діаметру шліців (рис. 11.16, в).

Відповідно до технологічного процесу виготовлення зубчастих

коліс їх контроль здійснюється в два етапи: на ділянці виготовлення коліс до зубообробки і на ділянці зубообробки.

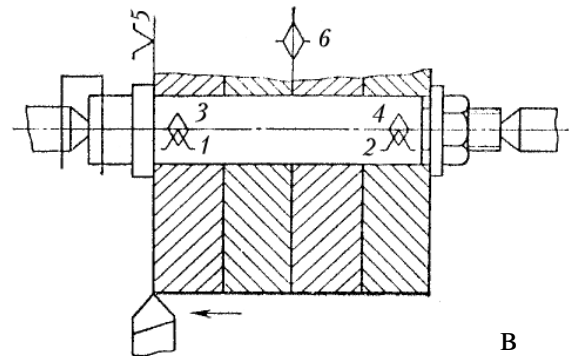
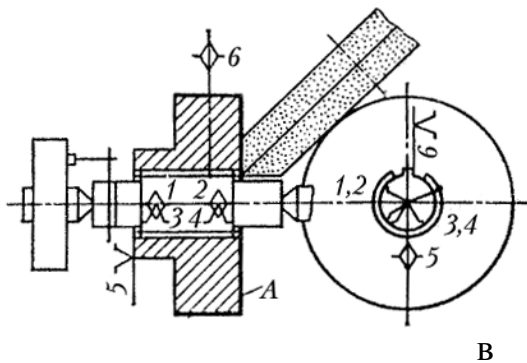
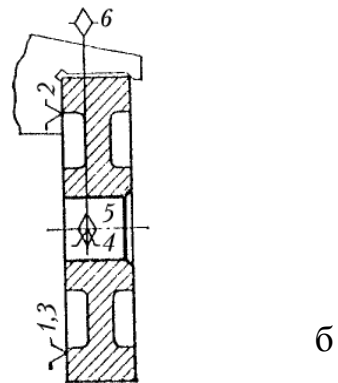
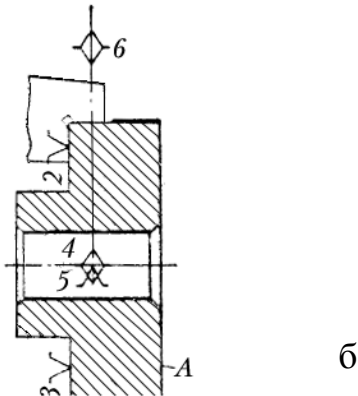
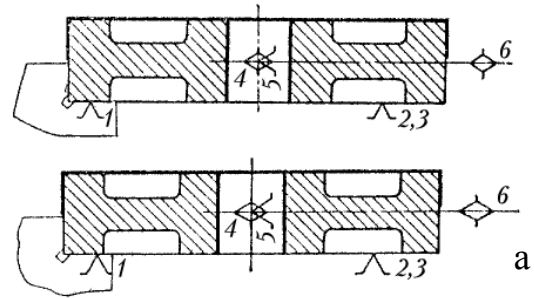
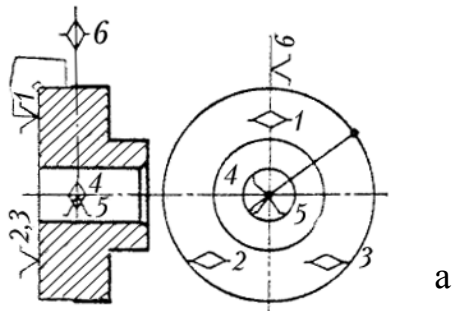


Рис. 11.15. Операційні ескізи.

Рис. 11.16. Операційні ескізи.

Найважливішими параметрами, що характеризують точність зубчастого колеса, є параметри точності шліцевого отвору і зубчастого вінця. Варто забезпечити співпадання осі шліцевого отвору з віссю ділильного кола колеса.

При обробці зубчастого вінця потрібно забезпечити точність параметрів, від яких залежить працездатність зубчастої передачі. До числа основних показників точності зубчастого колеса відносяться:

- радіальне биття зубчастого вінця, F_{rr} ;
- коливання довжини загальної нормалі, V_{wr} ;
- граничне відхилення кроку, f_{ptr} ;
- найбільша різниця сусідніх колових кроків, V_{pr} ;

- накопичена похибка кроку, F_{pr} ;
- похибка напрямку зуба $F_{\beta r \xi}$.

Таблиця 11.5

Показники точності	Стадії обробки	Межі відхилень, мкм	Розмах R , мкм	Середнє значення і його помилка $\bar{x} \pm \Delta x$	σ , мкм	Ступінь точності
Радіальне биття F_{rr}	Зубофрезерування, цементация, загартування, відновлення баз	17...75	58	42,7±6,3	14,9	9,2
		20...86	66	44,6±7,9	18,7	9,8
		37...97	60	62,3±6,8	16,0	10,2
		33...116	83	75,8±9,8	23,9	11,4
Коливання довжини загальної нормалі V_{wr}	Зубофрезерування, цементация, загартування	5...30	25	16,0±5,8	7,1	7,3
		10...35	25	20,4±5,6	6,2	7,2
		20...55	35	30,7±6,2	9,0	9,0
Накопичена похибка кроку F_{pr}	Зубофрезерування, цементация, загартування, відновлення баз	20...105	85	58,6±8,2	9,8	9,0
		–	100	54,0±10,6	25,8	9,3
		32...119	87	71,4±9,2	22,3	9,5
		37...163	126	95,3±14,3	35,2	10,3
Похибка напрямку зуба $F_{\beta r}$	Зубофрезерування, цементация, загартування, відновлення баз	19...51	32	29,5±3,9	8,2	9,6
		30...90	50	55,7±5,8	13,6	10,8
		31...97	66	67,3±8,2	19,8	11,4
		28...146	118	79,3±15,0	36,8	12,3

Кількісна оцінка точності зубчастих коліс на різних стадіях технологічного процесу наведена в табл. 11.5 [60].

З аналізу даних, наведених у таблиці 11.5 видно, що після цементации середня величина похибки в більшості випадків залишається незмінної, а після загартування коліс і відновлення баз істотно зростає.

11.5. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ З ПЛАСТМАС І МЕТАЛОКЕРАМІКИ

11.5.1. ХАРАКТЕРИСТИКА ПЛАСТМАС І МЕТОДИ ВИГОТОВЛЕННЯ ПЛАСТМАСОВИХ ДЕТАЛЕЙ

Пластмаси із синтетичних смол або їхніх композицій з різними наповнювачами в даний час знаходять широке застосування в автомобілебудуванні, авіаційній, хімічній й оборонній промисловості.

До переваг пластмас відносяться: при малій вазі досить висока міцність, простота виготовлення складних конструкцій, вібростійкість, здатність поглинати шум, висока стійкість проти впливу агресивних середовищ і ін.

У машинобудуванні пластмаси застосовуються, наприклад, для виготовлення різних рукояток, важелів керування, підшипникових втулок, різних ущільнень, кришок коробок передач, крильчаток, шестерень, шківів, ободів, ковзанок, протекторів шин і ін. Наприклад, в автомобілі “Форд Таурус” (США) із пластмас виготовляють 123 деталі, які застосовуються в 67 складальних одиницях.

Вибір матеріалу залежить від призначення і технічних вимог, які висуваються до виробу (міцність, герметичність, теплостійкість, стійкість проти спрацьовування і ін.).

Вироби виготовляють з термопластичних і термореактивних полімерів. До термопластичних полімерів відносяться: поліетилен, поліміди, полівінілхлорид, поліуретан, поліформальдегід, полікарбонат, фторопласти й ін.

Усі зазначені пластмаси, за винятком фторопласта, здатні багаторазово розм’якшуватися при нагріванні і знову тверднути при охолодженні. Отже, деталі з зазначених пластмас можуть піддаватися багаторазовій переробці в міру виходу їх з ладу і відпрацьовуванню ресурсу роботи.

До термореактивних полімерів відносяться пластмаси на основі фенолформальдегідних композицій (текстоліт, волокніт, асботекстоліт, асбоволокніт), на основі епоксидних і поліефірних композицій (склопластики). Особливістю цих пластмас є перехід при нагріванні спочатку у в’язкотекучий стан, а потім у необоротну нерозчинну речовину. При повторному нагріванні вони не розм’якшуються, і тому, не можуть піддаватися повторній переробці.

Фізико-механічні властивості пластмас істотно залежать від різ-

них добавок. Як добавки застосовують пластифікатори, стабілізатори, прискорювачі твердіння, барвники й ін. У табл. 11.6 і 11.7 приведені фізико-хімічні властивості пластмас, методи їхньої переробки й галузь застосування.

Найбільш розповсюдженими методами виготовлення деталей із пластмас є пресування, лиття під тиском, екструзія і вакуумне формування. Перевагою зазначених методів виготовлення є одержання практично готових виробів, що вимагають незначної доробки, яка включає видалення задирок, відрізки литників і розрізання. Як вихідний матеріал застосовуються порошок чи попередньо спресовані таблетки. Основними параметрами процесу пресування є температура і тиск. Варто відмітити, що тиск пресування залежить від складності конфігурації виробу. Чим складніша конфігурація, тим вищий тиск. Продуктивність обробки залежить від часу витримки під тиском при пресуванні. Час витримки залежить від матеріалу пластмаси і товщини стінок виробу. Орієнтовно час витримки для прес-порошків складає 1 хв на 1 мм товщини стінки виробу, для реактопластів з волокнистим наповнювачем - 2 - 3 хв на 1 мм товщини стінки виробу. Лиття під тиском застосовують для виготовлення виробів з термопластів. Спеціальні лит'єві машини мають нагрівальний циліндр, куди з бункера надходить пластмаса в гранульованому стані. У циліндрі пластмаса нагрівається до рідкотекучого стану і зусиллям плунжера під тиском 50 - 250 МПа видавлюється в охолоджувану прес-форму і витримується в ній під тиском якийсь час. Прес-форми охолоджуються проточною водою. Для витягу деталей із прес-форми необхідно передбачити ухили на зовнішніх поверхнях не менше 15° , а на внутрішніх - не менше 30° .

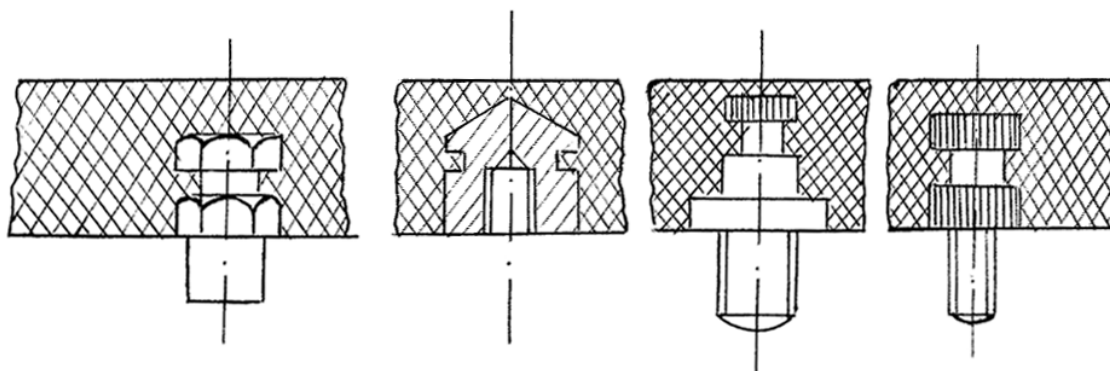


Рис. 11.17. Армуючі елементи в пластмасових деталях.

Гладкі і різьбові отвори в деталях оформляють за допомогою металевих футерок, заформованих у пластмасову деталь. У конструкціях пластмасових деталей, крім різьбових вставок, можуть бути пе-

редбачені різноманітні армуючі елементи для зміцнення чи кріплення до інших деталей. Щоб уникнути короблення армуючі елементи розміщуються рівномірно по всій деталі. Для міцності зчеплення металевих армуючих елементів із пластмасою передбачають проточки, рифлення чи накатку. На рис. 11.17 показані варіанти розміщення армуючих елементів у пластмасових деталях.

Екструзія (безупинне видавлювання) здійснюється на спеціальних машинах - екструдерах. Екструдер складається з черв'ячного преса (шнеки-машини), формуючої головки і прийомного пристрою. Гранульований термопластичний полімер завантажують у бункер машини, звідки він безупинно надходить у циліндр, що обігрівається, всередині якого обертається шнек з частотою 20 - 100 об/хв. За допомогою шнека матеріал переміщується і безупинно переміщується до формуючої головки. У процесі перемішування матеріал пластмаси нагрівається і переходить у рідкотекучий стан. У цьому стані пластмаса видавлюється з формуючої головки у виді профілю заданого перетину і піддається інтенсивному охолодженню водою. Методом екструзії виготовляють різні профілі, труби, пластини з термопластичних матеріалів, призначені для обробки кузовів автомашин.

Таблиця 11.6. Термопласти

Вид пластмас	Межа міцності кгс/см ²		Твердість НВ	Коефіцієнт тертя по сталі	Метод переробки	Область застосування
	при розтягу	при стиску				
Поліформальдегід	700	1300	25 – 30	0,1 – 0,3	Лиття під тиском при 210±10°C, тиск 100– 150 МПа екструзія, пресування	Шестерні, підшипники ковзання, рукоятки
Полікарбонат	670 – 780	900– 950	15 – 16	0,078 – 0,082	Лиття під тиском 220°C, тиск 100–200 МПа екструзія	Шестерні, вентилятори, втулки
Фторопласт	150 – 200	200	3 – 4	0,064 – 0,08	Пресування на повітрі і спікання при 360– 570°C, тиск 30–35 МПа	Прокладки, ущільнювачі, підшипники ковзання
Поліетилен високого тиску	120 – 160	125	–	0,24	Лиття під тиском 150–180°C, тиск 50–100 МПа, вальцювання, екструзія, механічна обробка	Арматура трубопроводів
Пінопласт	7,8 – 18	5,5 – 22	–	–	Розпилення, заливання	Сидіння, прокладки

Таблиця 11.7. Реактопласти

Вид пластмас	Межа міцності кГс/см ²		Твердість НВ	Коефіцієнт тертя по стали	Метод переробки	Область застосування
	при розтя- гу	при сти- ску				
Текстоліт листовий	650– 1000	1200– 1500	25 – 40	0,12 – 0,22	Пресування при $T=150–165^{\circ}\text{C}$, тиск 15–30 МПа	Кільця, коло- дки, прокла- дки
Асботекстол- літ марки А і Б	800	850– 1000	30 – 40	0,05 – 0,3	Гаряче пресування $T= 50–165^{\circ}\text{C}$, тиск 7–15 МПа, механічна обробка	Деталі галь- мових при- строїв, про- кладки
Асбоволок- ніт К6, КФ3	250–270	850– 1000	30	0,3	Пресування при $T=165–175^{\circ}\text{C}$, тиск 45–15 МПа	Фрикційні гальмові ко- лодки
Стек- пластик АГ 4	800 –5000	1300	26 – 30	0,05 – 0,7	Пресування при $T=160^{\circ}\text{C}$, тиск 40–5 МПа	Кронштейни, шківки, флан- ці, шестерні, навантажені корпусні де- талі

Механічна обробка заготовок із пластмас. Деталі з пластмас одержують у більшості випадків у готовому виді. У ряді випадків потрібна обробка різанням. Наприклад, літники видаляються ріжучими інструментами. При пресуванні неможливо одержати різьбові отвори високої точності.

При обробці пластмас слід враховувати їхні властивості: низьку теплопровідність, абразивну здатність, низьку твердість. При обробці деяких пластмас різці спрацьовуються більш інтенсивно в порівнянні з обробкою сталевих деталей. Різці нагріваються до високих температур, а гранично допустима температура, наприклад, для термореактивних пластмас, не повинна перевищувати 160°C , а для термопластичних пластмас $60 – 100^{\circ}\text{C}$. Спрацьовання різців найбільш інтенсивно відбувається по задній поверхні. Рекомендується застосовувати різці, оснащені пластинками з твердого сплаву ВК. При обробці заготовок з полістиролу рекомендується застосовувати різці і швидкорізальних чи інструментальних легованих сталей.

Свердління є найбільш розповсюдженою операцією обробки заготовок із пластмас. Процес стружкоутворення має спільність із процесом стружкоутворення при обробці заготовок із сірого чавуну. Швидкість різання при раціональному періоді стійкості допускається трохи вищою, ніж при обробці заготовок із сталі 40. Наприклад, при точінні текстоліту різцем, оснащеним пластинкою твердого сплаву

P6M5, із глибиною різання 1,5 - 3,0 мм і подачею 0,2 - 0,3 мм/об рекомендовані швидкості різання 180 - 400 м/хв. При обробці волокніту різцем із пластинкою BK8 швидкість різання коливається від 100 до 600 м/хв. Різці мають кути $\alpha=12\div 20^\circ$ і $\gamma=10\div 20^\circ$; фрези мають кути $\gamma=0\div 10^\circ$ і $\alpha=12\div 20^\circ$; свердла мають кут при вершині $2\varphi=60\div 70^\circ$ і пряму канавку.

11.5.2. ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТАЛОКЕРАМІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ І ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ

Методи порошкової металургії засновані на одержанні заготовок деталей машин спіканням порошків металів і сплавів. Деталі з металокераміки використовують у вузлах тертя з обмеженим змащенням і фрикційними механізмами, вони успішно працюють при високих температурах. При спіканні тонкодисперсних порошків, сплавів, вуглецю вдається одержати композиції з металів і неметалічних матеріалів, які не можуть бути отримані шляхом сплавлення. За рахунок підбору вихідних компонентів дрібнодисперсних порошків можна одержати вироби із заданими властивостями.

Металокерамічні вироби піддаються механічній і термічній обробці, зварюванню, пайці, на них можна наносити різні види покриттів. Ці вироби відрізняються підвищеною пористістю, завдяки чому можливе їхнє просочення різними мастилами. Це дозволяє металокерамічним деталям тривалий час працювати без додаткового змащення, наприклад, у вузлах тертя колісних і гусеничних машин. З них виготовляють підшипникові втулки, вкладиші підшипників, що направляють втулки клапанів, плоскі опорні шайби, кульові опори, поршні амортизаторів, поршневі кільця, кулачки й інші антифрикційні деталі.

Порошки одержують шляхом електролізу водяних розчинів або розплавів солей металів при проходженні їх через ванну постійного струму. Охолоджений на катоді метал, що має губчасту будову, надалі піддається механічному здрібнюванню. У такий спосіб одержують порошки з міді, заліза, титану, свинцю й ін.

Дрібнодисперсні порошки одержують також шляхом розпилення струменя розплавленого металу за допомогою повітряного струменя, інертного газу і води з наступним здрібнюванням отриманих продуктів механічним шляхом на розмелювальних млинах.

Для виготовлення антифрикційних деталей застосовують залізо-

графіт (1 - 3% графіту) і бронзографіт (9 - 10% олова, 2 - 3% графіту, інше мідь). Щільність цих матеріалів складає 70 - 80% від щільності основного матеріалу.

Пори деталей з антифрикційних матеріалів заповнюються олією чи розплавленим фторопластом з добавкою дисульфиду молібдену. Термін служби підшипників з таких матеріалів у 10 - 15 разів вище, ніж бронзових.

Укрупнені етапи технологічного процесу виготовлення метало-керамічних деталей:

1. Підготовка вихідної порошкової шихти.
2. Формування в спеціальних пресформах для одержання заготовок необхідних розмірів і форм.
3. Спікання заготовок.
4. Додаткова обробка спечених заготовок у залежності від заданих вимог: калібрування, цементація, загартування, просочення, механічна обробка.
5. Контроль фізико-механічного стану і геометричних розмірів.

Підготовка вихідної порошкової шихти. Порошкова шихта просівається на механізованих ситах для одержання дрібнодисперсних порошоків визначеного розміру. Різні компоненти змішуються у вібраційних змішувачах протягом 2 – 8 годин. Для поліпшення процесу пресування до складу порошкової суміші вводяться склеюючі добавки (розчин парафіну, воску, каучуку й ін.), шихта повинна бути однорідна у всьому обсязі.

Формоутворення. Формоутворення виконується пресуванням, литтям, прокаткою в холодному і гарячому стані. Деталі, спресовані в холодному стані, спікають; при гарячому пресуванні спікання відбувається безпосередньо в прес-формі. Пресування виконується в закритих прес-формах при суворо визначеному дозуванні суміші при тиску 150 - 700 МПа. Шихта нагрівається до температури 0,5 - 0,8 % температури плавлення порошоків. Гаряче пресування здійснюється в прес-формах, виготовлених із графіту, твердих сплавів і жароміцних сталей.

Шихту завантажують у прес-форму, нагрівають ТВЧ і при температурі спікання порошоків 1150 – 1200°C здійснюють пресування. Одночасне нагрівання і тиск значно прискорюють процес спікання.

Спікання. Спікання додає металокерамічним заготовкам необхідні фізико-механічні властивості. При спіканні важливо запобігти утворення окисних плівок на поверхні часток металевого порошку.

З цією метою спікання виконують в умовах вакууму чи в середовищі захисних газів (аргоні). Для спікання металокераміки використовують електропечі. При дрібносерійному виробництві це вакуумні і газові печі. У багатосерійному і масовому виробництвах - конвеєрні печі безупинної дії в середовищі захисного газу. Ці печі по шляху переміщення спікаємих виробів мають три зони: нагрівання, витримки й охолодження.

Спресовані в холодному стані заготовки при тиску 600 МПа спікаються при температурі 1140 – 1180⁰С в захисному середовищу протягом 1,0 - 1,5 години. Після спікання заготовки піддаються відпалу при температурі 900⁰С і прохолоджуються разом з піччю до температури 640⁰С.

Технологія виготовлення деталей методом порошкової металургії:

1. Розпилення порошку з розплаву нейтральним газом аргонем.
2. Просівання порошку акустичним полем для розподілу за фракціями.
3. Обробка холодом під великим тиском, у результаті якої частка рекристалізується, переходячи у понаддрібнозернисту структуру.
4. Перемішування і гомогенізація порошку в атмосфері аргону в обертових ємкостях.
5. Перенос порошку в оболонкові форми із склоподібних матеріалів. Форми працюють у широкому інтервалі температур і руйнуються після пресування.
6. Електродинамічна дегазація у вакуумних камерах. Порошок тонким струменем проходить через камеру і цілком дегазується протягом декількох секунд.
7. З дегазатора порошок подається у форми, в яких попередньо створений вакуум.
8. Здійснюється попереднє нагрівання.
9. Проводиться гаряче ізостатичне пресування в автоклаві-резервуарі високого тиску, у якому знаходяться нагрівальні елементи. Максимальний тиск в автоклаві 100 МПа, температура 1300⁰С.
10. Після закінчення циклу спікання деталі витягаються з автоклава. У процесі охолодження матеріал оболонки втрачає пластичність, стискається і під впливом виникаючих напружень руйнується.
11. Подальша обробка отриманої заготовки залежить від вимог, що диктуються умовами експлуатації.

Наприклад, після спікання зубчастих коліс заготовку піддають відпалу в захисному середовищі при температурі 900⁰С і вихолоджують

разом з піччю. На внутрішшліфувальному верстаті обробляється отвір, що є установчою базою для наступної обробки. Проводиться цементация, загартування і шліфування зубчастого вінця. Технологічний процес виготовлення залізграфітових підшипникових втулок включає пресування заготовки при тиску 500 - 600 МПа, спікання в середовищі захисних газів при температурі 1120 – 1150⁰С на протязі 1,5 години, просочення олією в масляній ванні при температурі 120 – 130⁰С на протязі 40 - 90 хв і калібрування внутрішнього діаметра.

11.6. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ПРИБАДОБУДУВАННЯ

11.6.1. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ КОНТАКТІВ І ЇХНІХ ДЕТАЛЕЙ

В приладобудуванні, електроапаратобудуванні застосовуються контакти і контактні деталі, які комутують і проводять електричні струми від часток ампера у реле до багатьох тисяч ампер у потужних силових вимикачах при напругах від одиниць до сотень тисяч вольт.

В літературі, в технічній документації і в розмовній мові застосовується скорочений термін «контакт» для двох різних понять в залежності від змісту фрази.

Надалі в тексті для стислості викладу «контакти» апаратів, тобто деталі, що замикають і розмикають електричні ланцюги, називатимуться «контакти», а «електричні контакти», тобто місця переходу, - «контактні поверхні».

З метою забезпечення надійної роботи електроапаратів для контактів і контактних деталей необхідно застосовувати матеріали, які задовільняють відповідним вимогам в залежності від умов роботи апарату (низький питомий і контактний перехідний опір, стійкість проти окислювання і зварювання, зносостійкість, пружні властивості і ін.). Цим вимогам відповідають деякі матеріали.

11.6.1.1. КЛАСИФІКАЦІЯ

В процесі розвитку приладобудування і електроапаратобудування, з однієї сторони, і технологічних процесів, з іншої, з'являються все нові і нові конструктивні форми контактів і контактних

деталей. Так, у самі останні роки знайшли поширення металокерамічні і біметалеві контакти.

У той же час багатопластинчасті (щіткові) контакти, що з'явилися на зорі приладобудування і електроапаратобудування, майже у всіх апаратах замінені більш вдосконаленими конструкціями з лінійними контактами з срібними і металокерамічними накладками.

Конструкції проектують на визначені технологічні процеси, тому всю розмаїтість їх форм можна класифікувати за конструктивно-технологічними ознаками на наступні види:

1. Контакти з дротових і пруткових матеріалів, отримані шляхом холодного висадження, гарячого штампування і обробки зі зняттям стружки (обточування, фрезерування і ін.).

2. Контакти і контактні деталі із прутків фасонних перерізів (профілів).

3. Контакти і контактні деталі, штамповані зі смугових, стрічкових і листових матеріалів.

4. Багатопластинчасті щіткові контакти з стрічкових пружних матеріалів.

5. Контактні деталі з металокерамічних композицій (головним чином залізо-мідь по 50%), що отримують пресуванням з порошків з наступним спіканням. Такі деталі доцільно застосовувати, наприклад, замість латунних із прокату (тримач нерухомих контактів магнітних пускачів серії ПА). Крім економії міді, застосування металокераміки дає значну економію за рахунок відсутності механічної обробки заготовок на металорізальних верстатах. Виготовляються ці деталі на заводах, спеціалізованих в галузі металокераміки (порошкової металургії). Деталі поступають на заводи, що виготовляють електричні апарати, готовими; звичайно вони піддаються тут тільки гальванічному лудінню. В зв'язку з цим в даному розділі не розглядаються питання технології виробництва металокерамічних деталей.

6. Литі контакти і контактні деталі.

7. Контакти з накладками із срібла металокерамічні, вугільно-мідно-графітові і інших металів і композицій.

11.6.1.2. МАТЕРІАЛИ КОНТАКТІВ

1. Мідь марки М1 тверда (смуги, прутки, труби, листи, дріт, злитки; останні мають невелику твердість).

2. Мідь кадмієва (кадмієва бронза) марки МК тверда з вмістом кадмію біля 1%. Така мідь застосовується для колекторів електричних машин. Зносостійкість контактів контакторів, що розмикаються, із кадмієвої міді приблизно в 2 рази вища, ніж із чистої міді М1. Доцільно застосовувати в ряді випадків металокерамічні контакти із кадмієвої міді - 99% міді і 1% кадмію.

3. Благородні метали, стійкі проти окислення: срібло чисте СР-999,9, вольфрам чистий Вч, платина Пл-998, паладій-998 і сплави, наприклад, паладій з іридієм ПДі-Ю, платина-іридій ПІ-10, паладій з сріблом ПДС-40 і ін. благородні метали і їх сплави (дріт, смуги, листи).

Вказані благородні метали і сплави використовуються в основному для реле і регуляторів. Винятком є срібло, що застосовується також і для багатьох інших апаратів на номінальні струми від часток ампера до тисяч ампер. Срібло дуже широко використовується в приладобудуванні і електроапаратобудуванні.

Благородні метали необхідно всіляко економити. З цією метою в багатьох випадках їх варто замінити металокерамічними композиціями, що містять меншу кількість дорогоцінного металу і, крім того, володіють кращими якостями у відношенні стійкості.

4. Металокерамічні композиції (спресовані із порошкоподібних срібла, нікелю, окису кадмію, вольфраму, міді, графіту і ін., а потім спечені) у вигляді дисків, пластинок і т. п. З метою економії дорогоцінних металів неробочий шар контактів (основа - 25% або 75% загальної висоти контакту) доцільно виконувати із порошоків заліза, міді або нікелю. Контакти електричні комутуючі, композиційні і біметалеві - циліндричні дископодібні і прямокутні пластинкоподібні.

5. Біметали:

- а) срібло-мідь, срібло-маловуглицева сталь і ін. (смуги, прутки фасонного перерізу, дріт з робочим шаром із срібла);
- б) алюміній-мідь (шар до 30%), сталь-мідь (шар від 5 до 25%) з одностороннім або двостороннім покриттям (плакуванням) міддю марки М1, що утворить шар робочої контактної поверхні. Основний метал - алюміній марки А1 і сталь маловуглицева. Ці біметали випускаються у вигляді листів і смуг. З метою економії варто можливо ширше замінити мідь цими біметалами.

6. Латуні (головним чином лиття для деталей складних форм, що вимагають механічної міцності чи працюють в оливі, а також для

зменшення сил тертя при ковзальних контактах мідь-латунь).

7. Вугільно-мідно-графітові композиції у вигляді деталей різних форм. У ряді випадків замість вугільно-мідно-графітових контактів доцільно застосовувати металокерамічні, наприклад для дугогасних контактів великих автоматичних вимикачів.

11.6.1.3. МАТЕРІАЛИ КОНТАКТНИХ ДЕТАЛЕЙ

1. Мідь марки М1 (смуги, прутки, листи, труби).
2. Латуні різні (смуги, листи, прутки, труби, лиття).
3. Бронзи різні (стрічки, смуги, прутки).
4. Бронза нікель-алюмінієва БрНА 6-1,5 куніаль Б і берилієва бронза БрБ2; застосовуються для деталей з високими механічними властивостями, які можна забезпечити термообробкою.
5. Алюміній і його сплави (смуги, листи, прутки, труби и лиття). Литі деталі доцільно відливати, наприклад, із сплавів Ал2 і Ал9 і після необхідної механічної обробки гальванічно лудити і цинкувати. З метою економії міді і її сплавів варто можливо ширше застосовувати алюміній і його сплави. Гальванічне покриття дозволяє зберегти контактні властивості, близькі до властивостей деталей з міді і її сплавів.
6. Біметали алюміній-мідь, сталь-мідь.
7. Сталі низьковуглицеві (смуги, листи, прутки); після обробки обов'язкове покриття (як правило цинком).
8. Чавун литий; після обробки обов'язково металопокриття (як правило цинком). На неробочі поверхні деталей великих розмірів варто наносити лакофарбові покриття.
9. Металокераміка (з порошків заліза і міді, наприклад, по 50%).

11.6.2. ТЕХНОЛОГІЯ КОНТАКТІВ З ДРОТОВИХ І ПРУТКОВИХ МАТЕРІАЛІВ

З дроту і прутків виготовляються контакти електроапаратів на номінальні струми від часток до тисяч ампер. Багаточисленні конструктивні форми цих контактів можна привести до чотирьох видів:

1. **Заклепкоподібні контакти** (рис. 11.18). Заклепкоподібні контакти виготовляються головним чином з срібла і його сплавів, а також з рідких металів і їх сплавів. Застосовуються ці контакти в апаратах на малі струми, вимірювані частками і одиницями ампер. Вони мають як правило невеликі розміри, тому для їхнього виготовлення застосовують-

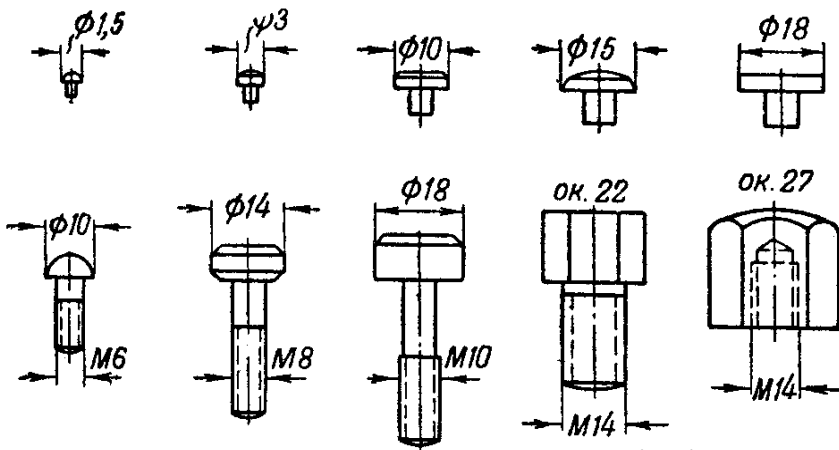


Рис. 11.18. Заклепко-гвинто-гайкоподібні контакти.

ном з міді, що поступає на електроапаратний завод у вигляді дроту або у вигляді прутків круглого шестигранного або квадратного перерізу.

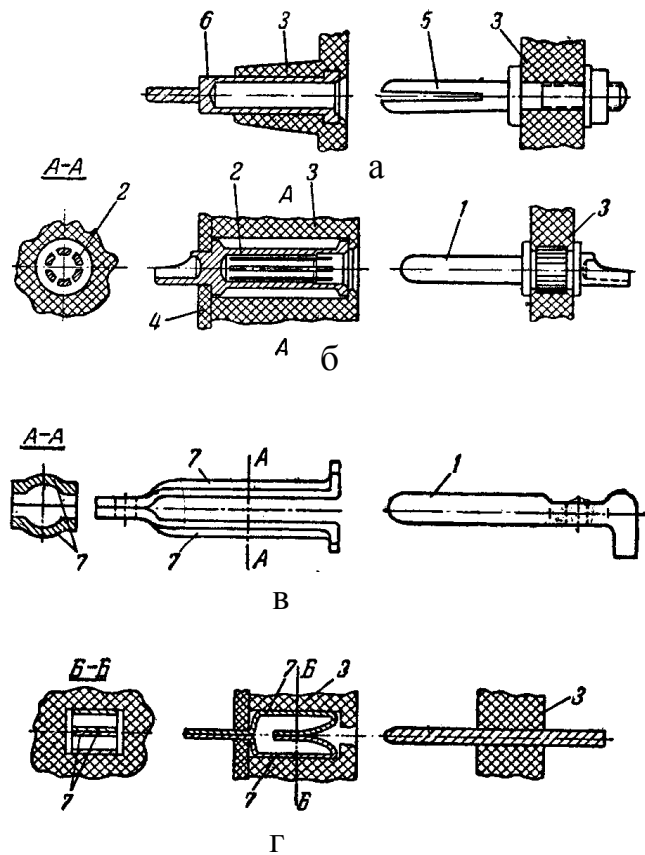


Рис. 11.19. Штепсельні контактні роз'єми: а – жорстке циліндричне гніздо і пружний штир; б – пружне точкове циліндричне гніздо і жорсткий штир; в – пружне штамповане гніздо і жорсткий циліндричний штир; г – штамповане пружне гніздо і жорсткий ніж; 1 – жорсткий штир; 2 – гніздо з поздовжніми розрізами; 3 – пластмасова колодка; 4 – пластмасова пластина; 5 – штир з прорізами для пружності; 6 – жорстке гніздо; 7 – пружне гніздо.

ся матеріали у вигляді дроту.

2. Гвинто-болтоподібні контакти (рис. 11.18). Гвинто-болтоподібні контакти застосовуються на номінальні струми від одиниць до сотень ампер. Вони виготовляються головним чином з міді, що поступає на електроапаратний завод у вигляді дроту або у вигляді прутків круглого шестигранного або квадратного перерізу.

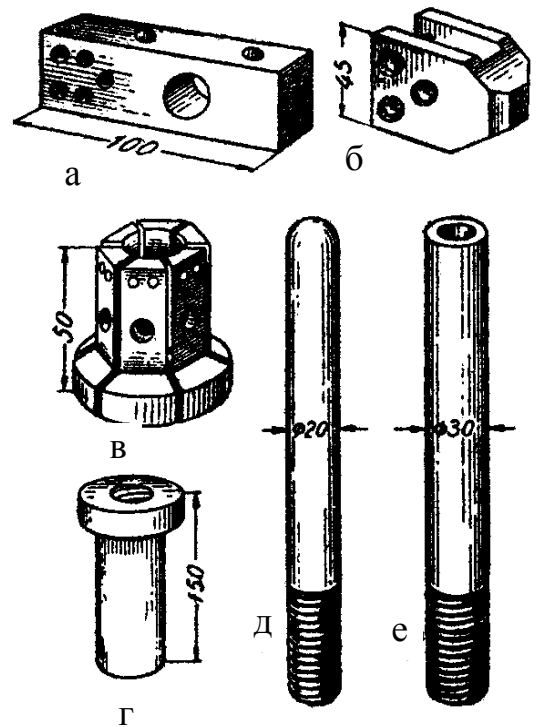


Рис. 11.20. Масивні контакти різних форм: а - осьовий контакт роз'єднувача високої напруги; б - контакт швидкодіючого автомата; в, д - гніздо і стержень розеткового контакту вимикача високої напруги (див. рис. 11.6,г); г, е - проміжний (без наконечників) і трубчатий контакти масляного вимикача високої напруги.

3. **Контакти штепсельних роз'ємів** (рис. 11.19). Контакти штепсельних роз'ємів застосовуються в електричних ланцюгах при струмах, що вимірюються частками, одиницями, десятками і сотнями ампер. Кожний контактний елемент штепсельного роз'єму складається з двох деталей: штирка і гнізда.

В якості матеріалів для контактів штепсельних роз'ємів з дроту і прутка застосовуються головним чином латунь і бронза.

Необхідно сказати, що не завжди дві деталі штепсельного роз'єму виготовляються з дроту або прутка. В сучасних конструкціях усі чи частіше тільки гнізда, або гнізда і штирки виготовляються з листових, смугових або стрічкових матеріалів шляхом штампування (рис. 11.19, в, г).

4. **Масивні контакти і контактні деталі різних форм** (рис. 11.20), Масивні контакти з пруткових матеріалів і труб застосовуються головним чином в апаратах на великі струми, що вимірюються сотнями ампер. Ці контакти виготовляються, як правило, з міді круглого, шестигранного, прямокутного і квадратного перерізів.

11.6.2.1. ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ВИГОТОВЛЕННЯ

Для виготовлення контактів електроапаратів з дровових і пруткових матеріалів (мідь, латунь, срібло і його сплави, рідкісні метали і їх сплави) застосовуються в основному три технологічних процеси.

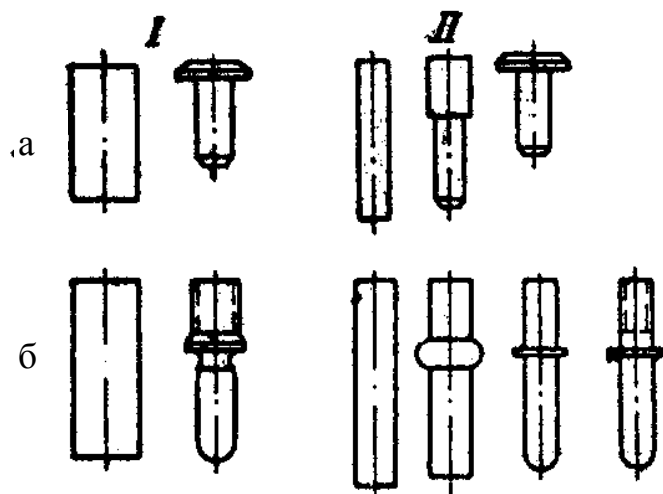


Рис. 11.21. Приклади заміни обробки з зняттям стружки обробкою тиском - холодною висадкою - при виготовленні двох контактних деталей а, б. I - обробка на металорізальних верстатах; II - холодна висадка.

ли і їх сплави) застосовуються в основному три технологічних процеси.

1. **Холодне висадження.** Холодне висадження з дроту і прутків заклепко-гвинто-болтоподібних деталей, штирків, роз'ємів і інших на холодно-висадочних автоматах має наступні переваги в порівнянні з виготовленням таких деталей на металорізальних верстатах, навіть на токарних автоматах (рис. 11.21):

а) висока продуктив-

ність; 2000 - 25000 деталей за годину в залежності від розмірів і конфігурації;

б) економія матеріалу внаслідок відсутності відходів (обробка без зняття стружки);

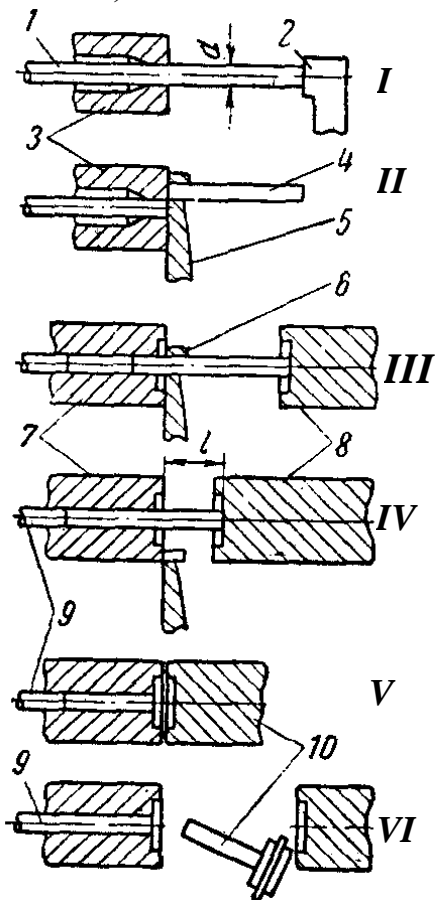


Рис. 11.22. Холодна висадка деталей з круглого пруткового матеріалу в шість послідовних переходів: 1 - матеріал; 2 - упор; 3 - відрізна матриця; 4 - відрізна заготовка; 5 - відрізний ніж; 6 - підтримуюча планка; 7 і 8 - висадочні матриці и пуансон; 9 - виштовхувач; 10 - деталь з висадженою головкою.

в) підвищення механічних властивостей висаджених деталей внаслідок того, що біля головки або стовщеної деталі при висадженні волокна матеріалу не перерізаються, як це має місце при обробці різанням.

Холодна висадка заклепко-гвинтоболтоподібних деталей здійснюється за одну операцію при декількох переходах - ударах (рис. 11.22) або за декілька операцій. Число операцій і число переходів залежать від розмірів, форми і матеріалу деталі, що висаджується.

2. **Гаряче штампування.** Гаряче штампування на молотах, фрикційних пресах і горизонтально-кувальних машинах в закритих штампах дає можливість отримати деталі складної конфігурації, високої точності (14-15-го квалітету точності) і достатньої чистоти поверхні. Це дозволяє значно скоротити наступну механічну обробку.

3. **Обробка з зняттям стружки.** Виготовлення гвинто-болтоподібних і інших деталей з прутків шляхом різання з зняттям стружки здійснюється на токарно-гвинторізних, токарно-револьверних верстатах, а також на токарно-револьверних автоматах і на поздовжньо-токарних автоматах.

11.6.3. ТЕХНОЛОГІЯ КОНТАКТІВ І КОНТАКТНИХ ДЕТАЛЕЙ З ПРУТКІВ ФАСОННИХ ПЕРЕРІЗІВ

З холоднотягнутих (тверdotягнутих) прутків фасонних перерізів (профілів) міді електролітичної, міді кадмієвої, біметалу (мідь накла-

дкою з срібла) виготовляються комутуючі контакти електричних апаратів на номінальні струми, що вимірюються десятками, сотнями і на-

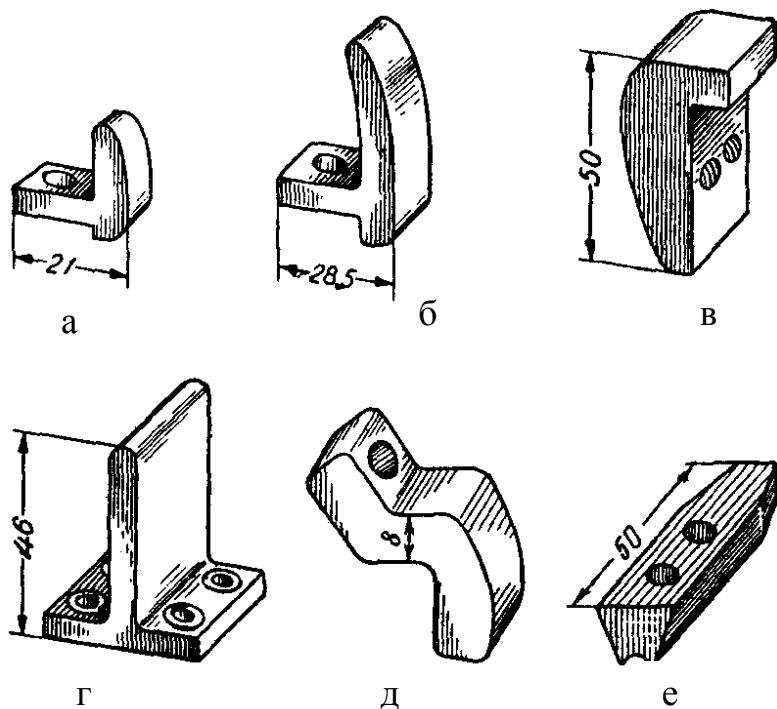


Рис. 11.23. Контакти мідні із прутків фасонних перерізів (профілів): а, б, в - комутуючі контакти контакторів; г - нерухомий контакт роз'єднувача високої напруги; д - ламель Z-подібної форми розеткового контакту вимикача високої напруги; е - ламель розеткового контакту маломасляного вимикача високої напруги.

такої можливості в серійному виробництві такі деталі варто виготовляти з холодноотягнутих прутків фасонних перерізів.

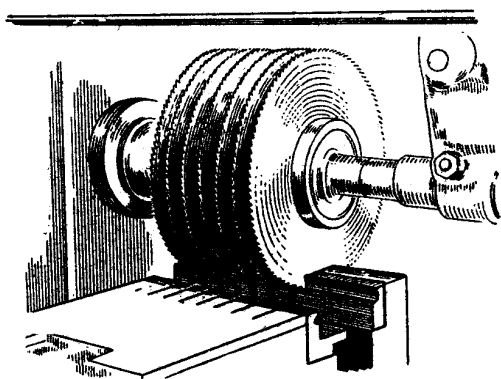


Рис. 11.24. Стандартні лещата з спеціальними губками, що мають надрізи, і набір фрез для розрізування прутків фасонного профілю.

віть тисячами ампер (рис.11.23). При складній формі контактів така конструкція більш доцільна і технологічна, ніж холодного штампування.

Комутуючі контакти виготовляються з холодноотягнутих невідпалених прутків, що мають значну твердість, з метою підвищення механічної зносостійкості контактів. Методом лиття, в тому числі під тиском, не можна отримати контакти достатньої твердості.

Невеликі контактні деталі складних профілів з латуні доцільно виготовляти литтям під тиском. Однак, при відсутності

Контакти різних апаратів виконуються найрізноманітніших профілів. Однак технологічний процес виготовлення їх в основному однаковий.

Типовими прикладами можуть служити два варіанти технологічного процесу:

- 1) виготовлення контактів з отворами без різьби (рис. 11.24, а, б);
- 2) виготовлення контактів з отворами, що мають різьбу (рис. 11.24, в).

Ці варіанти процесу виготовлення приведені в табл. 11.6.

Необхідно зупинитися на деяких питаннях, викладених в таблиці технологічного процесу.

1-я операція. Пруток затискається в машинні лещата, оснащені спеціальними губками, спроектованими для даного профілю (рис. 11.24).

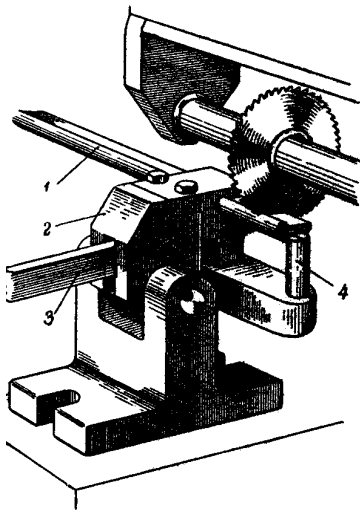


Рис. 11.25. Пристосування для відрізання заготовок контактів від прутків фасонного перерізу.

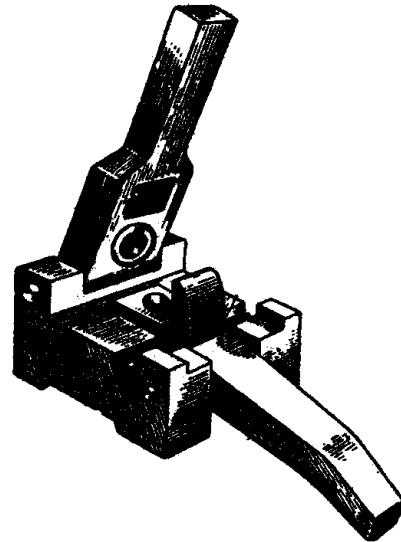


Рис. 11.26. Кондуктор для свердління контакту фасонного перерізу.

При профілях прутків малих перерізів більшої продуктивності можна досягти шляхом відрізки заготовок в хитному пристосуванні, працюючи навіть однією фрезою. Подібне пристосування зображено на рис. 11.25. Пристосування встановлено на горизонтально-фрезерному верстаті. Пруток 1 одним кінцем вставлений в хитну частину 2 пристосування (до упора 4), що за допомогою важеля 3 поступово разом з прутком підводиться до фрези.

2-я операція - свердління отвору. Заготовка встановлюється в кондуктор (рис. 11.26). Нижня відкидна рукоятка кондуктора служить одночасно притиском, що утримує контакт під час свердління. Верхня кришка кондуктора з направляючою свердел втулкою служить другою рукояткою для утримання кондуктора при свердлінні.

11.6.4. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ КОНТАКТНИХ ДЕТАЛЕЙ, ШТАМПОВАНИХ З СМУГОВИХ, СТРИЧКОВИХ І ЛИСТОВИХ МАТЕРІАЛІВ

Значна розмаїтість конструктивних форм штампованих контактів і контактних деталей можна розділити на два основні види.

Пружні контакти і контактні деталі (рис. 11.27, а, б, в, г, д, е). Вони виготовляються з стрічкових і листових пружних матеріалів: фосфористої, берилієвої, алюмінієвої бронз, бронзи-куніаля, твердих невипалених латуні і міді, біметалів алюміній-мідь і сталь-мідь, а також із сталі.

Таблиця 11.9. Технологічний процес виготовлення контактів, зображених на рис. 11.23, а, б, в

Матеріал - мідь кадмієва МК твердо тягнута (пруток фасонного перерізу довжиною 3-5 м)								
Цех або дільниця	№ операції	№ переходу	Характеристика переходу	Устаткування	Пристосування	Інструмент		Примітка
						Робочий	Вимірювальний	
Механічний	1	1	Відрізка заготовки від прутка	Горизонтально-фрезерний верстат	а) Спеціальні губки до машинних лещат б) Пристосування	Фрези дискові	Штангенциркуль	1-й і 2-й варіанти
Теж саме	2	1	Свердління отвору Зняття фаски з однієї сторони отвору	Вертикально-свердлильний верстат	Кондуктор	Свердло спіральне	Штангенциркуль	Теж саме
„ „	3	1	Зняття фаски з другої сторони отвору	Теж саме	Пристосування	Теж саме	-	„ „
„ „	-	2	Зняття фаски з другої сторони отвору	„ „	Теж саме	„ „	-	1-й варіант
„ „	4	1	Нарізка різби Зняття заусенців	Різьбонарізний верстат	„ „	Мітчик	Калібр різбовий	2-й варіант
Металопокриттів	5	1	(після відрізка) Хімічне очищення і лудіння (якщо передбачено)	Шліфувально-полірувальний станок	Кліщі (для малих заготовок)	Повстяний круг з абразивами	-	1-й і 2-й варіанти
Теж саме	6	1		Ванни і інше устаткування	Різні пристосування	-	-	Теж саме

Не пружні контакти і контактні деталі (рис. 1.27, ж, з, і, к, л, м, н, о). Вони виготовляються з смугових і листових матеріалів: міді

кадмієвої МК і чистої М1, з біметалів алюміній-мідь і сталь-мідь, з латуні і маловуглицевої сталі. З метою збільшення зносостійкості контактів необхідно застосовувати матеріал твердий невипалений.

Два види контактів і контактних деталей виготовляються звичайними методами холодного штампування. Однак в даному розділі будуть розглянуті особливості і приклади технології виготовлення таких контактів і контактних деталей.

11.6.4.1. ТЕХНОЛОГІЯ ГНУТИХ КОНТАКТІВ І ДЕТАЛЕЙ З ЗАСТОСУВАННЯМ ДВОХ І БІЛЬШЕ ШТАМПІВ

В табл. 11.10 приведений технологічний процес виготовлення пружної ліроподібної деталі трубчатого запобіжника (рис. 11.27, е), в якого патрон має циліндричні контактні ковпачки. Цей процес може служити типовим для гнутих пружних контактів. Тільки число гнучких операцій для окремих конструкцій буде по-різному.

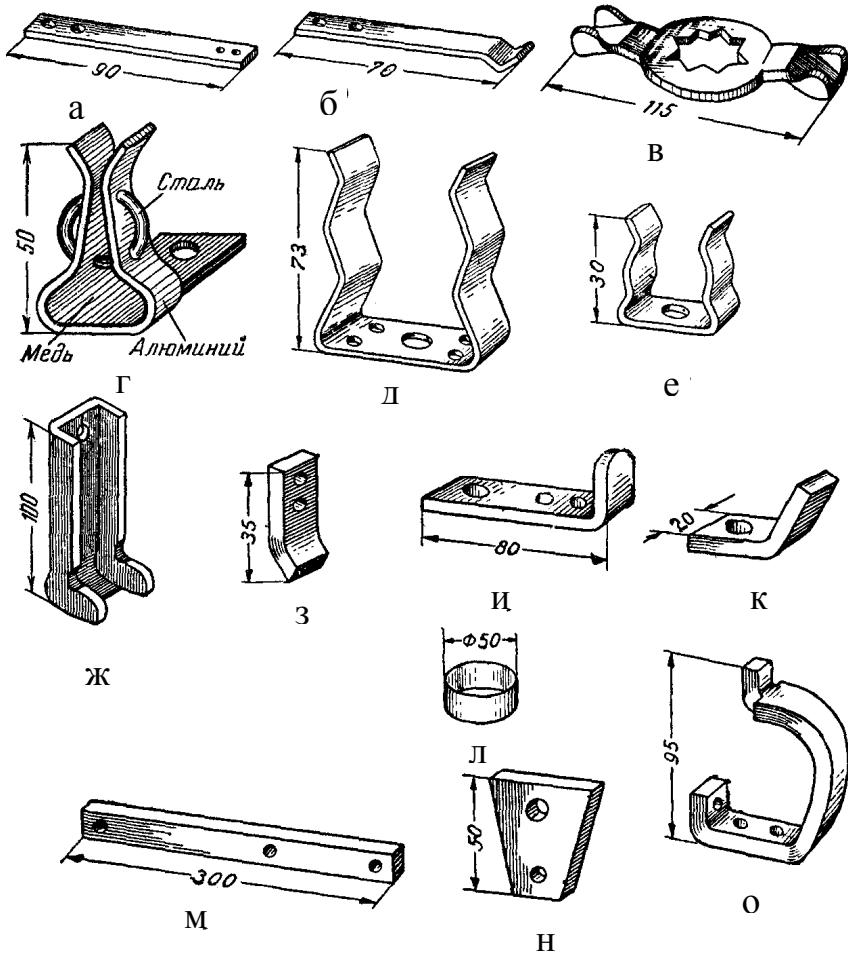
Таблиця 11.10. Технологічний процес виготовлення гнутої пружної контактної деталі трубчатого запобіжника (рис. 11.27, е)

Матеріал: бронза стрічкова товщиною 0,8 - 1 мм							
Цех або ділянка	№ операції	№ переходу	Найменування переходів	Устаткування	Пристосування і штампи	Інструмент	
						робочий	вимірний
Штампувальний	1	1	Розрізання на смуги	Ножиці приводні	-	Ножі	Вимірвальна лінійка
Теж саме	2	1	Вирубка контуру і отворів	Пресс ексцентриковий	Штамп вирубний	-	-
Термічний	3	1	Термообробка для зниження твердості (іноді)	Електропіч або соляна ванна и інше устаткування	-	-	Пірометри
Штампувальний	4	1	Гнучка і калібрування	Пресс ексцентриковий	Штамп гнучко-калібрований	-	-
Механічний	5	1	Свердління малих отворів (якщо не штамнуються)	Вертикально-свердильний верстат	Кондуктор	Свердло спіральне	-
Металопокриттів	6	1	Хімічна очистка (знежирення, травлення і ін.)	Ванна і інше обладнання	-	-	-
	7	1	Пасивірування	Теж саме	-	-	-

11.6.4.2. ТЕХНОЛОГІЯ ГНУТИХ КОНТАКТІВ І ДЕТАЛЕЙ З ЗАСТОСУВАННЯМ ТРЬОХОПЕРАЦІЙНОГО ШТАМПА

Як приклад доцільно розглянути процес виготовлення дугогасного контакту, зображеного на рис. 11.27, з.

Для виготовлення контакту з смужової твердої міді потрібно три операції: відрізання,



згинання і утворення отворів. Ці операції можна виконати на одному штампі, конструкція якого розроблена Ульяновським заводом «Контактор» (рис. 11.28). Смуга матеріалу закладається між планками 1. При ударі штампа пуансон 2 пробивають отвір. Потім смуга просувається до упора матрицетримача 3. При наступному ударі штампа пуансон 4 згинає смугу і від неї відрізає готовий контакт, що скидається зі штампа штовхачем 5 за допомогою пружини 6. Рухом штовхача керує клин (не показаний на рисунку), що при ході штампа вниз відводить штовхач, а при ході вгору звільняє його.

Рис. 11.27. Штамповані контакти і контактні деталі. Пружні: а, б - плоскі широкого застосування; в - контакт пакетного вимикача; г - контакт з біметалу (алюміній-мідь) ножового апарата; д - контакт трубчастого запобіжника високої напруги; е - контакт трубчастого запобіжника високої напруги. Не пружні: ж - ламель з біметалу (алюміній-мідь) втичного контакту комплектного пристрою; з - дугогасний контакт; и - контакт роз'єднувача високої напруги; к - контакт контактора; л - ковпачок трубчастого запобіжника; м - ніж роз'єднувача високої напруги; н - контакт реостата; о - дугогасильний риг-тримач контакту контактора.

11.6.4.3. ТЕХНОЛОГІЯ ДЕТАЛЕЙ, ОДЕРЖУВАНИХ ЗА ДОПОМОГОЮ ВИТЯЖКИ

До таких деталей відносяться ковпачки плавких трубчатих запобіжників (рис. 11.27, л), гільзи різьбових плавких запобіжників і ін.

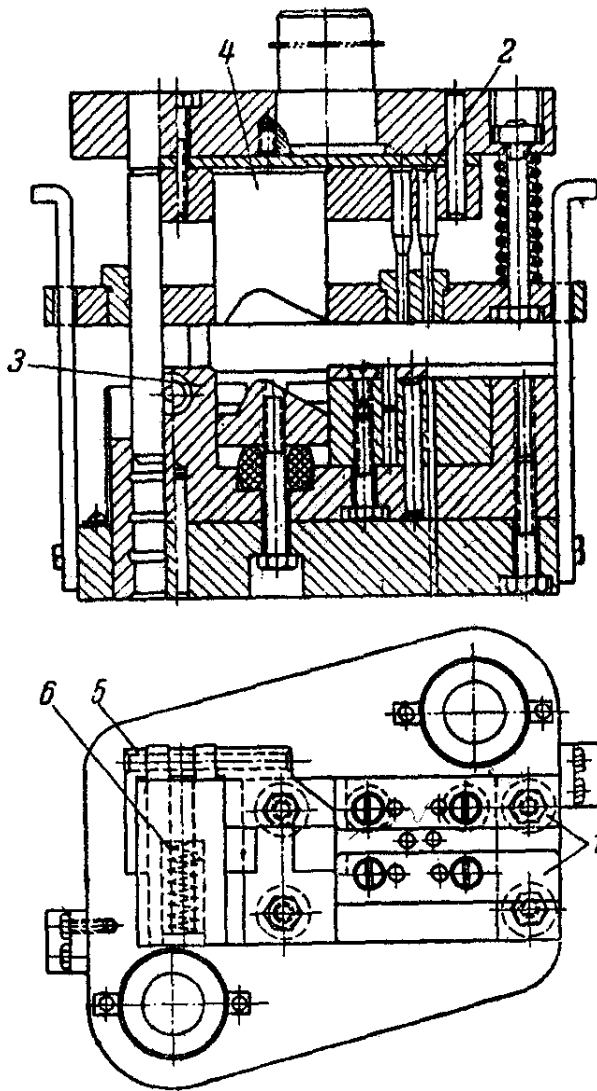


Рис. 11.28. Сполучений штамп для виготовлення контакту рис. 11.10, за один удар (пробивання отворів, згинання і відрізання від смуги).

З конструктивних міркувань робочі операції розташовані через два кроки подачі одна від іншої. Тому після кожної операції є холостий хід. Кількість гнізд в матриці в 2 рази більша числа пуансонів.

Після заправки стрічки і 12 першочергових ударів за кожний наступний удар преса виходить одна гільза. Різьба діаметром 27 мм витискується на автоматах з бункерним завантаженням. Потім проводиться зняття заусенців і нарізання різьби в дрібних отворах.

При невеликому об'ємі виробництва заготовки таких деталей отримуються в звичайних витяжних штампах. З метою збільшення продуктивності виконують штампи на 3-4 гнізда.

При масовому виробництві виробів в кількостях, обчислювальних мільйонами штук в рік, доцільно холодне штампування проводити в багатоопераційних послідовних (прогресивних) штампах.

Як приклад доцільно розглянути технологію виготовлення гільзи різьбових запобіжників, що має цокольне різьблення діаметром 27 мм.

На рис. 11.29 зображена латунна стрічка з заготовками контактної гільзи плавкого запобіжника з різьбою діаметром 27 мм в процесі холодної послідовної витяжки на багатоопераційному послідовному штампі. Витягнута і вирубана гільза отримується після семи операцій.

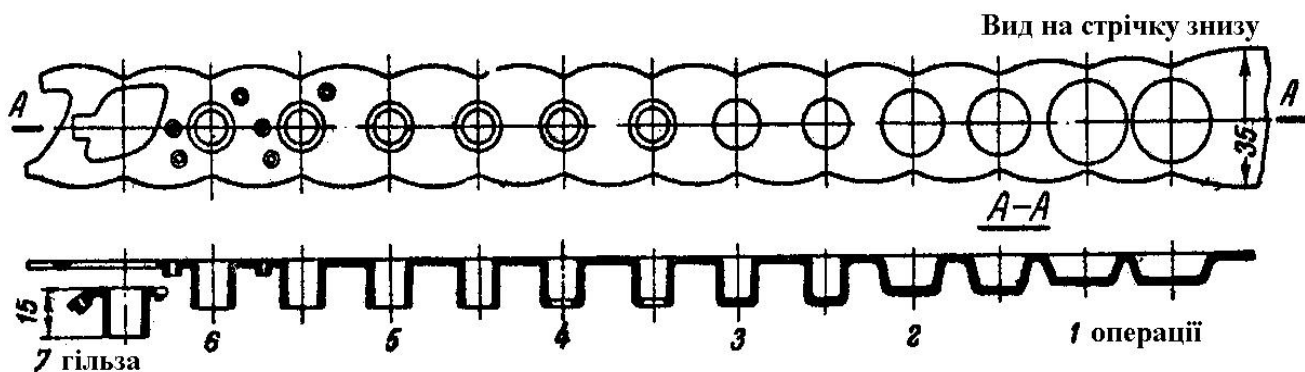


Рис. 11.29. Холодне послідовне витягування і вирубання заготовки контактної гільзи плавкого запобіжника з різьбою $\varnothing 27$ мм на багатоопераційному послідовному штампі.

11.6.5. БАГАТОПЛАСТИНЧАСТІ ЩІТКОВІ КОНТАКТИ

Щіткові контакти, застосовуються в апаратах, що мають великі струми, (реостатах, повітряних і оливних вимикачах високої напруги і ін.) (рис. 11.30).

Основна мета застосування багатопластинчастих щіткових контактів - отримання максимального числа контактних точок за рахунок незалежної пружної дії кожної пластинки окремо. Це забезпечується наявністю при замкнутому контакті деяких зазорів між кожною пластинкою, що знаходиться в напруженому стані.

Досягнення цієї мети є складним технологічним завданням, що потребує ручного підгінної роботи. Тому багатопластинчастий щітковий контакт є нетехнологічною конструкцією.

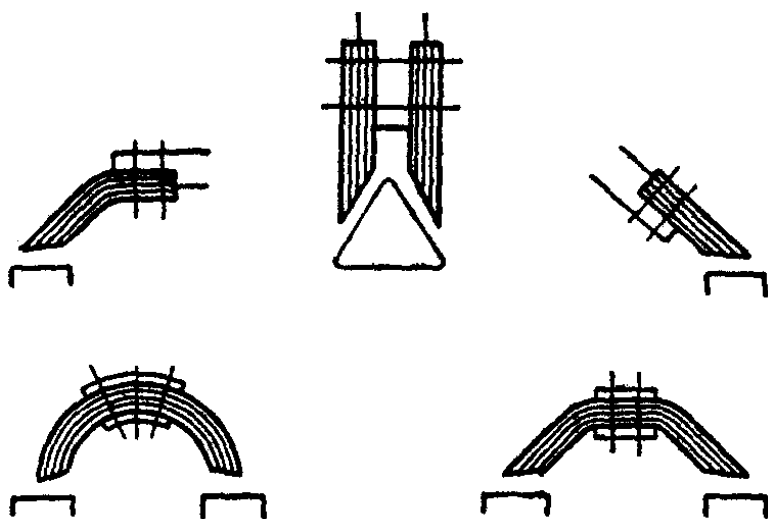


Рис. 11.30. Декілька конструктивних форм багатопластинчастих щіткових контактів.

Крім того, багатопластинчастий щітковий контакт має ряд експлуатаційних недоліків.

Виробничі і експлуатаційні недоліки багатопластинчастих щіткових контактів привели до більш досконалим конструкціям з лінійними мідними контактами, а для більших струмів – з срібними і металокерамічними

ми накладками.

Внаслідок цього багатопластинчасті щіткові контакти не мають широкого поширення.

11.6.6. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЛИТИХ КОНТАКТІВ І КОНТАКТНИХ ДЕТАЛЕЙ

Масивні контакти і контактні деталі складної конфігурації, виконувані з кольорових металів, доцільно отримувати шляхом лиття (рис. 11.31).

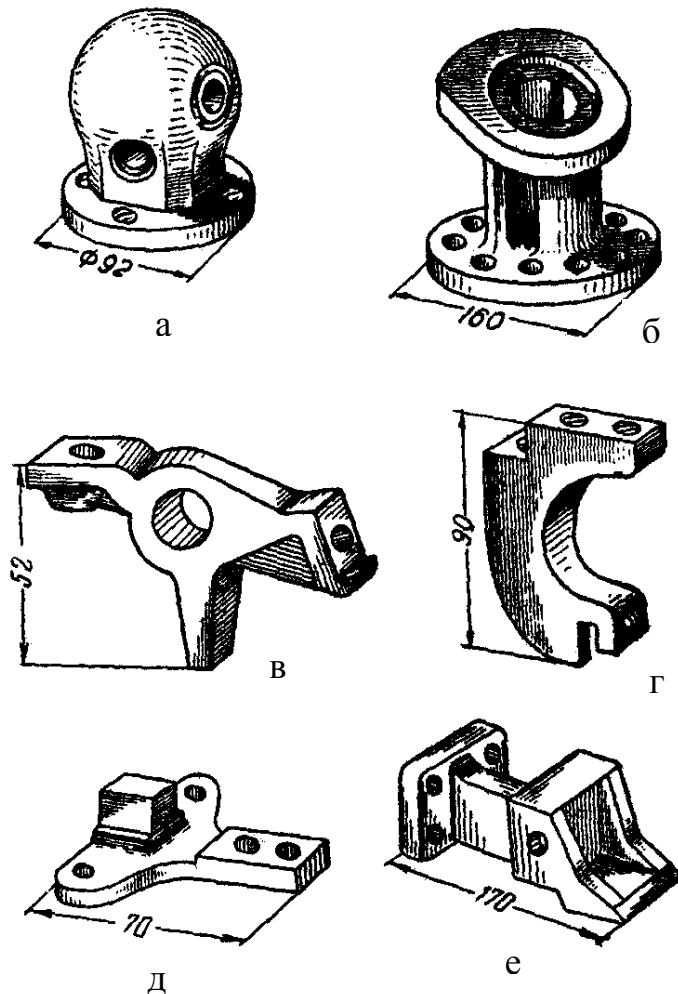


Рис. 11.31. Литі контакти і контактні деталі: а – контактний шарнір повітряного вимикача високої напруги; б – тримач нерухомого контакту оливного вимикача високої напруги; в, г – тримачі рухомого і нерухомого контактів контакторів; д – контактний затиск роз'єднувача високої напруги; е – нерухомий контакт з міді багатоамперного автомата (лиття по виправленій моделі).

Більшість таких деталей відливаються з латуні і бронзи. В тих випадках, коли вимагаються особливо високі електропровідність і теплопровідність, деталі відливаються з міді (рис. 11.31, е).

Технологія виготовлення литих контактів і контактних деталей в основному така ж, як і інших литих деталей.

Розглянуто два варіанти процесу виготовлення литого з латуні тримача рухомого контакту контактора (рис. 11.31, е).

Однак, необхідно розглянути деякі особливості обробки мідних деталей, що мають значні оброблювані поверхні (рис. 11.31, е).

Електротехнічна мідь має високу в'язкість (що значно перевищує в'язкість навіть самої м'якої листової сталі), високий теплопровідністю і малою твердістю.

При обробці міді варто застосовувати фрези зі знач-

ним позитивним переднім кутом. Тоді наплавлення міді на ріжучу крайку не спостерігається.

Для обробки сталі, зазвичай застосовуються фрези з найбільшою кількістю зубів, як найбільш продуктивні. Але при обробці міді канавки між зубами забиваються стружкою. Тому необхідно застосовувати фрези з найбільшою кількістю зубів.

Рідке розташування зубів сприяє зменшенню нагрівання міді в процесі різання. Фреза, що має всього три або чотири зуби, нагрівається значно менше, ніж фреза з більшою кількістю зубів, і тому віддає оброблюваній деталі меншу кількість тепла.

Пристосування і їхні затискні елементи повинні проектуватись з великими площами зіткнення з оброблюваним мідним виробом. Це поліпшує відвід тепла від деталі, а також береже мідні деталі, що мають малу твердість, від місцевих пошкоджень при їх закріпленні в пристосуваннях.

11.6.7. ТЕХНОЛОГІЯ КОНТАКТІВ З НАКЛАДКАМИ З СРІБЛА, МЕТАЛОКЕРАМІКИ І ІНШИХ МАТЕРІАЛІВ

11.6.7.1. КОНСТРУКТИВНІ ФОРМИ І МАТЕРІАЛИ

Різноманітні конструктивні форми контактів з накладками можна розділити на наступні види:

1. Заклепко-гвинто-болто-гайкоподібні контакти (рис. 11.32).

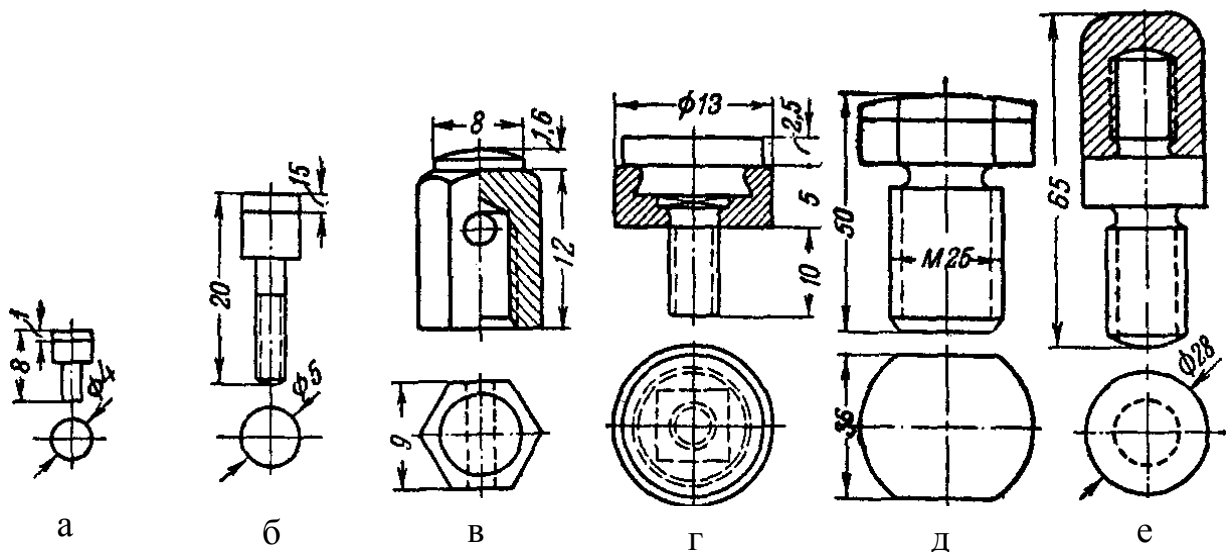


Рис. 11.32. Заклепко-гвинто-гайкоподібні контакти з накладками: а, б, в, д – з срібними або металокерамічними; г – з мідно-графітовою; е – з металокерамічною.

2. Штамповані з стрічок, смуг, листів контакти (рис. 11.33).
3. Контакти з прутків фасонних перерізів.
4. Масивні контакти різних форм (рис. 11.33, д, е).

11.6.7.2. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ КОНТАКТІВ З НАКЛАДКАМИ

Процес виготовлення контактів з накладками можна розділити на три наступні стадії:

1. **Виготовлення основ контактів.** Ці деталі, власне кажучи, нічим не відрізняються від контактів заклепко-гвинто-болтоподібних, штампованих з прутків профільних перерізів і ін. Технологія їх викладена в попередніх підрозділах.

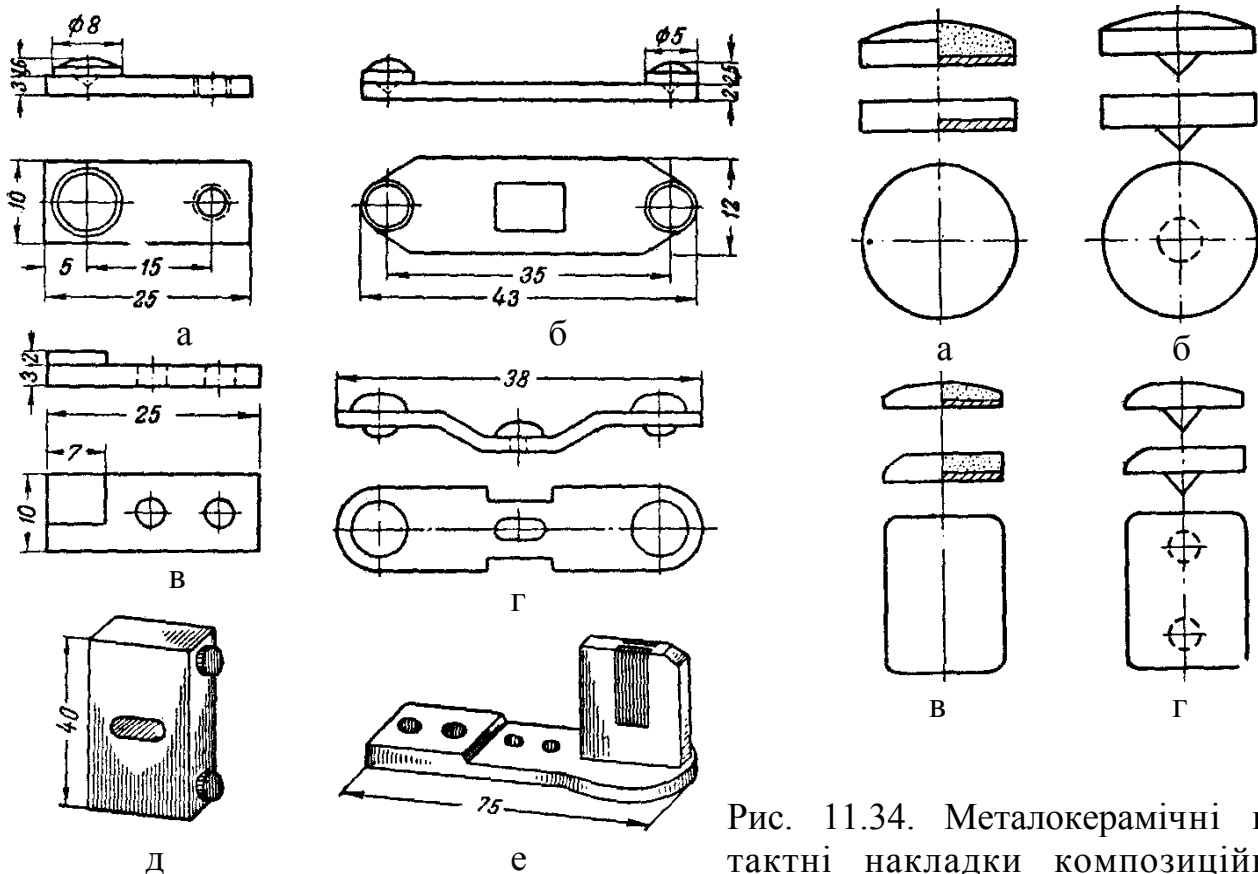


Рис. 11.33. Контакти з накладками з срібла і металокераміки. Накладки приварені або припаяні, крім контакту г, у якого накладки приклепані: а, б, в, г - штамповані нерухомі і рухомі мостові; д - мідний масивний мостовий контакт, отриманий механічною обробкою; е - мідний гарячештампований нерухомий контакт роз'єднувача високої напруги.

Рис. 11.34. Металокерамічні контактні накладки композиційні і біметалеві по ГОСТу 3884-61: а - циліндричні з сферичною і плоскою робочою поверхнею, біметалеві; б - циліндричні з конічним виступом для полегшення фіксації і приварювання; в - прямокутні з циліндричною і плоскою робочою поверхнею, біметалеві; г - прямокутні з конічними виступами.

2. **Виготовлення накладок.** Накладки з металокерамічних і вугільно-графітових композицій зазвичай виготовляються на відповідних спеціалізованих підприємствах (рис. 11.34).

Виготовлення накладок з срібла часто проводиться на апаратних

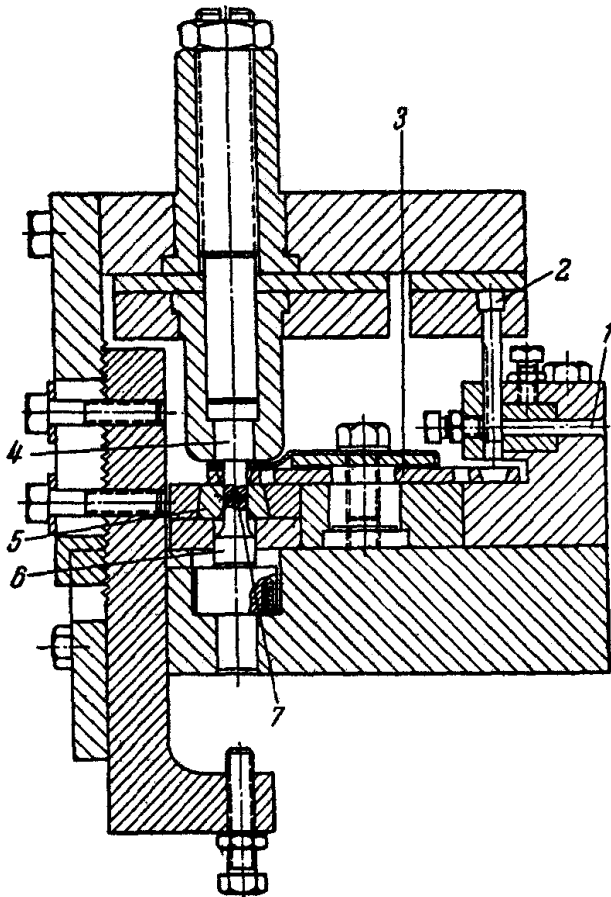


Рис. 11.35. Штамп-напівавтомат для виготовлення срібних контактних накладок.

заводах. Воно зводиться до розрізання і вирубання зі смуг і листів пластинок і дисків. Диски з дроту висаджуються аналогічно заклепкоподібним контактам на висадочних и звичайних пресах. На рис. 11.35 зображений штамп-напівавтомат для виготовлення контактних накладок з срібного дроту.

Кінець бухти дроту заправляється в отвір 1. Пуансон 2 відрубляє заготовку і вштовхує її в гніздо револьверного диска 3. Диск, обертаючись, переносить заготовку під пуансон 4. В матриці 5 на виштовхувачі 6 чеканиться контактна накладка 7, яка потім виштовхується назад в гніздо револьверного диска. Цей диск виносить контактну накладку до отвору, через який вона падає в ящик, що стоїть під пресом.

3. **Кріплення контактних накладок до підстав контактів.** З'єднання накладок з підставами контактів повинно бути механічно міцним при можливо малому перехідному електричному опорі.

11.6.8. ТЕХНОЛОГІЯ КРІПЛЕННЯ СРІБНИХ, МЕТАЛОКЕРАМІЧНИХ І ІНШИХ КОНТАКТНИХ НАКЛАДОК ДО ПІДСТАВ КОНТАКТІВ

Контактне зварювання є найбільш економічним, високопродуктивним способом; воно не потребує дорогоцінного припою, а часто і флюсу. Недоліками зварювання є: утворення контакту не по всій з'єднувальної поверхні і можливість «не проварювання» - поганої

якості зварювання, що дуже важко піддається контролю.

Кольорові метали і їх сплави мають малий електричний опір, високу теплопровідність і вузьку температурну зону пластичного стану при переході з твердої фази в рідку. Тому необхідно точно дозувати кількість теплової енергії в зоні зварювання. Дозування енергії забезпечується стабільністю величини зварювального струму і тривалістю його імпульсу, а також визначеною величиною тиску електродів.

Для забезпечення можливості зварювання необхідно так підбрати перехідні контактні опори, щоб в точці зварювання опір був більший, ніж між деталями, що зварюються і електродами (в протилежному випадку деталі будуть приварюватись до електродів).

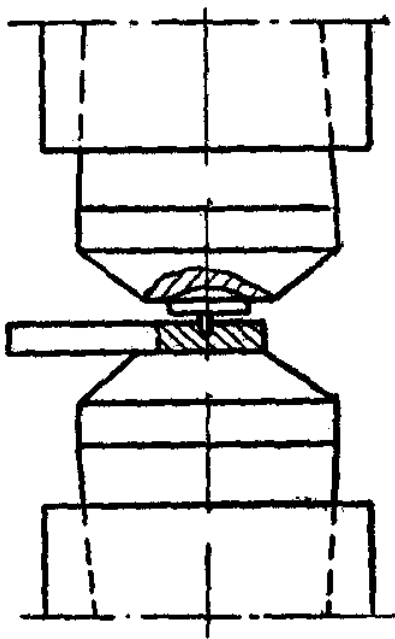


Рис. 11.36. З'єднання деталей при контактному зварюванні.

Це досягається вибором електродів, що повинні мати високу тепло- і електропровідність і інтенсивно охолоджуватись. Другим заходом є виконання робочої поверхні електрода по можливості в точній відповідності з формою поверхні, деталей що зварюються (рис. 11.36). Третім заходом є хімічне очищення (обезжирювання, травлення і ін.) контактних накладок (крім металокерамічних), а також латунних и бронзових основ контактів; сталі основи погано зварюються з сріблом, тому їх доцільно

міднити (срібло і мідь утворюють сплав, що, як припой, скріплює деталі). Четвертим заходом може бути утворення в контактних накладках конічних виступів, а в підставах контактів - заглиблень, впадин. Це, крім того, полегшує правильне встановлення накладок на підстави перед зварюванням (рис. 11.36). При збільшених розмірах накладок доцільно поверхні рифлити (рельєфне зварювання).

Металокерамічні композиції володіють пониженою зварюваністю. При малих струмах навіть при збільшенні часу їх імпульсу не завжди вдається виконати зварювання накладки з підставою контакту. При великих струмах порушується форма накладки або в ній утворюються тріщини. Тому в накладках, що містять срібло (крім СН30 і СН40), передбачається срібний підшар, а в тих, що не містять срібла - мідний підшар; товщина підшару 0,5-0,25 мм. можна застосо-

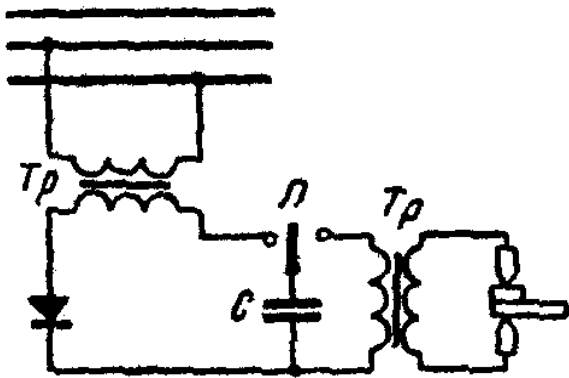


Рис. 11.37. Схема машини для точкового конденсаторного зварювання малої потужності.

вувати флюс. Тоді з'єднання отримуються подібні до напайних.

Зварювання срібних, метало-керамічних і інших контактних накладок здійснюється на машинах для точкового зварювання. Зручно застосовувати призначену для цієї мети зварювальну контактну точкову машину типу МТПК-25. Можуть бути застосовані і інші машини потужністю 10-75 кВт, наприклад, АТ-10, АТ-15, АТ-25, АТП-

50, МТПК-75-10, що мають електромагнітну систему управління з дозуванням часу або ігнітронний переривач типа ПІТ заводу «Електрик» і ін.

При використанні машин малої потужності необхідно штучно збільшувати щільність струму в точці зварювання; тут обов'язково застосовувати накладки з конічними виступами, а біля основ контактів передбачити заглиблення, впадини і рифлення.

Поширюється новий спосіб контактного точкового електрозварювання - конденсаторне зварювання, на рис. 11.37 приведена схема зварювальної машини. При ввімкненні перемикача Π на лівий контакт батарея конденсаторів C заряджається; при переключенні його на правий контакт конденсатори розряджаються; в результаті в точці зварювання проходить імпульс струму великої величини. Перевагами конденсаторного зварювання є: а) можливість зварювання різнорідних металів; б) короткий час зварювання, обчислюється тисячними долями секунди, внаслідок чого нагрівання не розповсюджується за межі точки, що зварюється. Це запобігає погіршенню механічних властивостей пластинчатих пружин з бронз і інших матеріалів в процесі приварювання до них контактних накладок; в) надійність зварного з'єднання внаслідок того, що легко забезпечити постійний режим зварювання; г) можливість приварювання тонких деталей (від декількох мікрон до декількох десятих частин міліметра і навіть до 1-2 мм) до деталей будь-якої товщини.

Розроблений і другий, новий спосіб контактного точкового електрозварювання - ультразвукове зварювання. Цей спосіб, як і конденсаторне зварювання, доцільно застосовувати для приварювання контактних накладок до пластинчатих пружин з бронз і інших матеріалів.

Внаслідок короткочасності процесу, нагрівання не розповсюджується за межі точки, що зварюється і не погіршує механічних властивостей пружин.

Необхідно організувати контроль якості зварювання, особливо її міцності, тобто зусилля зрізу. Контроль проводиться в пристосуваннях, пресах з важільним, вантажним, пружинним, пневматичним або гідравлічним приводом. Перевірка здійснюється на перших трьох контактах, а потім періодично - наприклад, після зварювання 500 деталей. Доцільно здійснювати контроль без руйнування деталей, наприклад за падінням напруги.

11.6.8.1 ЕЛЕКТРОПАЯННЯ КОНТАКТНЕ

Паяння слід застосовувати, якщо нема можливості застосувати зварювання. Припаювання - менш продуктивний і більш дорогий процес в порівнянні з зварюванням, так як потребує припою (іноді дорогоцінного - срібного), а часто і флюсу.

Найбільш поширеними припоями для пайки срібних і металокерамічних контактів є припої: а) срібні (ГОСТ 8130-63) марок ПСр45 для широкого застосування і ПСрб5 при потребі підвищеної надійності, в тому числі для тропічного виконання апаратів; б) мідно-фосфористі припої ПМФ, що не потребують флюсу.

В якості флюсу при використанні срібного припою застосовується бура (ГОСТ 8429-57) у вигляді дрібного порошку.

Перед паянням контактні накладки (крім металокерамічних) і основи, до яких здійснюється припаювання, необхідно очистити механічним або хімічним способом.

Електропаяння здійснюється на зварювальних машинах для контактного зварювання. Хороші результати отримуються при вугільних або графітових електродах.

Срібні, металокерамічні і вугільно-мідно-графітові накладки великих розмірів припаюються до мідних шин великих перерізів на зварювальних машинах МТП100 і МТП200, а також на машинах власного виготовлення, припой МПФ.

При електропаянні зазвичай застосовуються графітові електроди, виготовлені з відходів електродів, призначених для електродугових печей. При швидкому зносі одного з електродів, і припаюванні накладок до латунних і мідних основ, доцільно графітовий електрод замінити на тверду мідь. Припаювання накладок до сталевих основ

контактів, а також до мідних і латунних успішно можна проводити на електродах з жаростійких сталей, наприклад Х30, Х18Н25С і ін.

11.6.8.2. ПАЯННЯ ВОГНЕПОЛУМ'ЯНЕ

Паяння на газовому або гасовому полум'ї приходится застосовувати при масивних основах контактів і складних формах, коли не вдається застосувати зварювання або паяння на контактній зварювальній машині. Цей застарілий вид паяння застосовується в одиничному і іноді серійному виробництві. Припої і флюси ті ж, що застосовуються при контактному паянні.

11.6.8.3. ЗАКЛЕПУВАННЯ

Заклепування - високопродуктивний процес утворення нероз'ємного з'єднання, що забезпечує надійність кріплення. Однак необхідність мати заклепкоподібну форму контактної накладки з ніжкою для розклепування підвищує витрату дорогоцінних металів на 40-50%. Другим недоліком є можливість збільшення контактного перехідного опору в процесі експлуатації. В деяких випадках заклепування все ж застосовується, наприклад, при невеликих пружних пластинчатих контактах (у реле); справа в тому, що нагрівання в процесі зварювання або паяння погіршує механічні властивості бронзових і

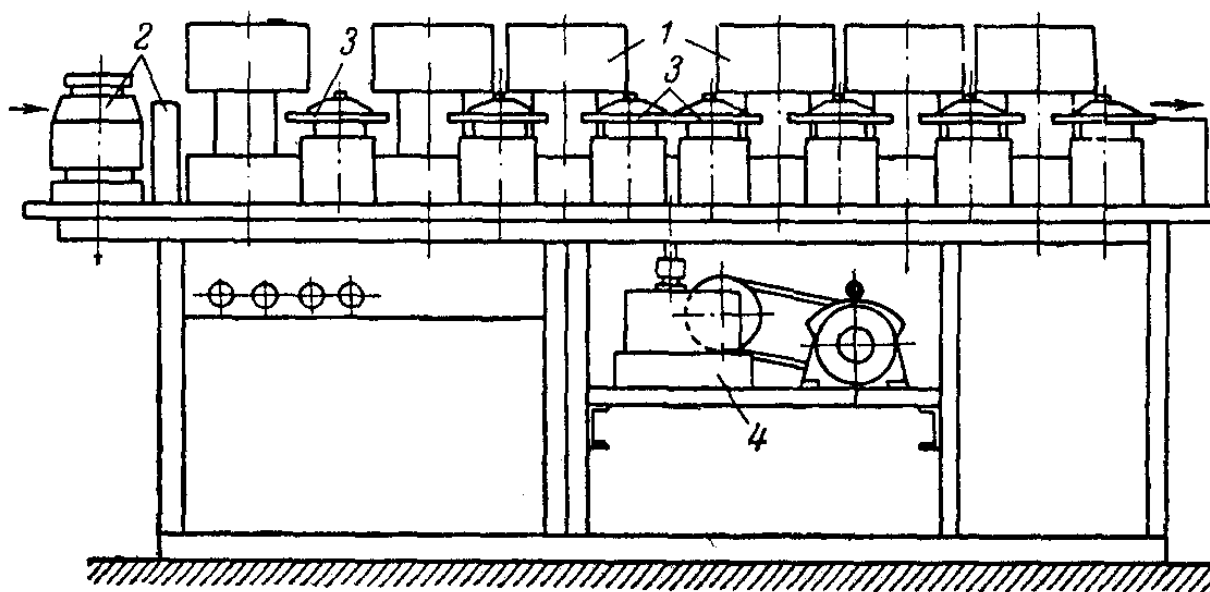


Рис. 11.38. Роторна автоматична лінія для кріплення срібних контактних накладок до пластин-підстав рухомих (мостових) і нерухомих контактів: 1 - шість робочих роторів; 2 - завантажуючий пристрій; 3 - транспортні ротори; 4 - редуктор електроприводу лінії.

інших пружних пластин. Конденсаторне і ультразвукове електрозварювання дозволяє відмовитись від заклепування.

Заклепування - процес, що піддається автоматизації. Не дивлячись на вказані вище недоліки, має широке застосування. На рис. 11.38 представлена роторна автоматична лінія для кріплення за допомогою заклепування срібних накладок до пластинок - підстав контактів. Лінія складається з шести робочих роторів. Річна продуктивність лінії - 40 млн. контактів (33% рухомих, 66% нерухомих). Лінія розроблена науково-дослідницьким інститутом технології електромашиноапаратобудування (м. Харків).

11.6.8.4. БІМЕТАЛ

З метою скорочення трудомісткості виготовлення контактів з накладками, а також з метою економії срібла в останні роки почав поширюватись спосіб кріплення срібних накладок ще в процесі виготовлення металу для контактів на металургійному заводі. Контактний біметал, головним чином срібло-мідь, виконується у вигляді смуг, дроту і прутків фасонних перерізів. На рис. 11.39 зображений смуговий контактний біметал,

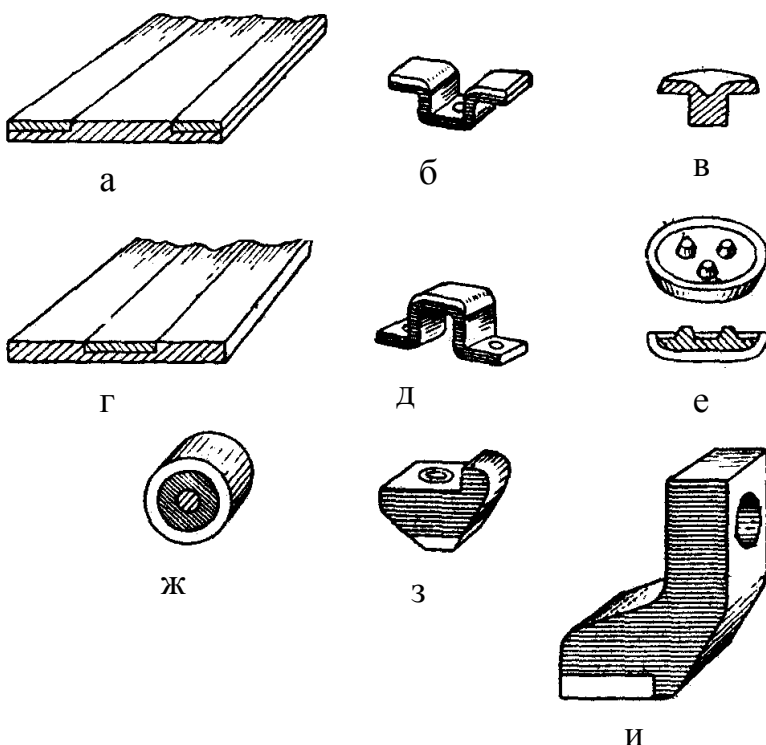


Рис. 11.39. Контактний біметал з сріблом і контакти із біметалу: а, г - біметал з сріблом в смугах; б, в, д, е - контакти з біметалевих смуг; ж - контакт з біметалевого дроту; з, и - контакти з прутків фасонного перерізу.

вий контактний біметал, виготовлені з нього контакти, а також контакти з інших видів біметалу.

Технологічні процеси виготовлення контактів з біметалу нічим не відрізняються від виготовлення контактів відповідної форми з металів без накладок, як це викладено в попередньому тексті.

Недоліком є відхід дорогоцінного металу, наприклад срібла, при розрізанні прутків, смуг на металорізальних верстатах внаслідок утворення стружки, що складається з різних металів.

11.6.8.5. МЕХАНІЧНЕ КРІПЛЕННЯ

При механічному кріпленні накладок з вугільно-мідно-графітових композицій, з метою утворення надійного контакту між накладкою і контактною деталлю обміднення накладки лудяться гарячим способом шляхом занурення в ванну з розплавленим припоєм ПОС-30. В якості флюсу при цьому застосовується, наприклад, кані-фоль, розчинена в бутанолі, з додаванням двохпроцентної саліцилової кислоти. Обмідненні накладки можна потім припаювати до металевих деталей. Технологічний процес механічного кріплення накладок визначається конструкцією і зазвичай є простою складальною операцією.

11.6.9. ТЕРМООБРОБКА МАТЕРІАЛУ І ЗАГОТОВОК КОНТАКТІВ І КОНТАКТНИХ ДЕТАЛЕЙ З КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ

В процесі холодного штампування, особливо під час згинання заготовок з кольорових металів, що володіють пружними властивостями, іноді необхідно застосовувати термообробку матеріалу або заготовок для попередження утворення тріщин і зламів. Це часто має місце при деталях складної форми і при малих радіусах згинання.

Матеріали, що застосовуються для пружних деталей, за властивостями, що здобуваються ними в процесі термообробки, поділяються на два види.

До першого виду матеріалів відноситься ряд сортів бронз (олов'яно-фосфориста, олов'яно-цинкова, алюмінієва, кремніє-марганцева і ін.), тверді латуні і мідь. Ці матеріали, як правило, не піддаються термообробці при холодному штампуванні і згинанні. Тільки в виключних випадках, якщо при згинанні з'являються тріщини або зломи, їх піддають термообробці з метою зниження твердості і збільшення пластичності.

При цьому заготовки нагріваються в електричній печі або соляній ванні до температури в інтервалі 200-350°C на протязі 10-30 хв., після чого вони охолоджуються в воді, що має температуру 15-20°C, або на повітрі. Точний режим термообробки підбирається шляхом проб в зв'язку з тим, що процес зміни механічних властивостей матеріалів, що розглядаються проходить в дуже вузьких температурних межах, які змінюються в залежності від виду матеріалу і його вихідної твердості, а ступінь зниження твердості матеріалу залежить від часу нагрівання.

Подальшою термообробкою пружні властивості цих матеріалів встановити не можна. Якщо ці матеріали піддати подальшій термообробці - відпалу, то вони остаточно втрачають пружні властивості.

До другого виду пружинних, матеріалів за властивостями, набутих в процесі термообробки, відносяться два сорти бронз: нікелеалюмінієва БрНАб-1,5 куніаль Б і берилієва бронза БрБ2. Ці матеріали в стані постачання з металургійного заводу мають високу твердість і хороші пружні властивості, але недостатню пластичність, необхідну при виготовленні пружних гнутих деталей складних форм. Однак ці бронзи мають наступні цінні властивості. Шляхом термообробки перед штампуванням можна знизити їх твердість і підвищити пластичність. Потім після згинання вторинною термообробкою можна повернути їм майже колишню твердість і придати високі пружні властивості.

Необхідно звернути увагу на повну протилежність результатів термообробки бронзи куніаль і берилієвої бронзи, з однієї сторони, і сталі - з другої. Перша термообробка цих бронз, що дає зниження твердості, ведеться як загартування сталі (нагрівання і швидке охолодження). Друга термообробка бронз, що відновлює їх твердість і пружні властивості, ведеться як відпал сталі (нагрівання і поступове охолодження). Внаслідок вказаного першу термообробку бронзи куніаль і берилієвої бронзи іноді називають загартуванням (хоча вона дає зниження твердості), а другу відпалом (хоча вона дає збільшення твердості).

11.6.10. ТЕХНОЛОГІЧНІСТЬ КОНСТРУКЦІЙ КОНТАКТІВ І КОНТАКТНИХ ДЕТАЛЕЙ

11.6.10.1. ОБРОБКА КОНТАКТНОЇ ПОВЕРХНІ

Якість обробки контактної поверхні (клас шорсткості) позначається на величині перехідного опору контакту тільки в межах малих контактних натискань. З збільшенням натисків розміри дотичних контактних точок - площадок ростуть. Крім того, вступають в зіткнення і піддаються деформації ще нові точки. Тому якість обробки контактних поверхонь при великих контактних тисках не має вирішального впливу на величину контактного опору.

Крім того, в рухомих контактів, особливо в апаратів зі значними контактними тисками, поверхня ушкоджується від ударів при їх замиканні і від дії електричної дуги.

З сказаного слід зробити висновок, що нема необхідності добиватися високої чистоти контактних поверхонь шляхом шліфування і полірування, особливо в комутуючих контактів апаратів зі значними контактними тисками.

11.6.10.2. КОНТАКТИ З ДРОВОВИХ І ПРУТКОВИХ МАТЕРІАЛІВ

В відповідності з загальними тенденціями технології машинобудування, приладобудування і електроапаратобудування слід прагнути застосовувати замість обробки зі зняттям стружки (в даному випадку обточування) обробку тиском - холодну висадку, накатку різьби і для деталей значних розмірів - гаряче штампування.

Масивні контакти, не розраховані на гаряче штампування, слід виконувати можливо простих форм з тим, щоб з мінімальною обробкою можна було отримати деталь з прутка відповідного перерізу.

11.6.10.3. КОНТАКТИ З ПРУТКІВ ФАСОННИХ ПЕРЕРІЗІВ

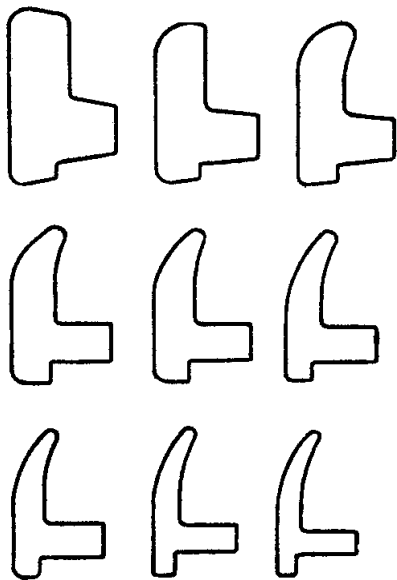


Рис. 11.40. Профілі дев'яти волок, в яких шляхом послідовного холодного волочіння виготовляється фасонний мідний пруток для отримання контакту, зображеного на рис. 11.23, б.

Прутки фасонних перерізів доцільно отримувати з металургійних заводів, де вони виготовляються шляхом «шприцювання». Однак часто на електроапаратних заводах такі прутки отримуються шляхом багаторазового протягування через волочильні дошки, що мають отвори відповідних перерізів, що поступово наближаються до профілю контакту.

Щоб дошки як при виготовленні їх, так і при протягуванні через них матеріалу не лопались, необхідно всі закруглення в їх отворах виконувати по радіусах. Тому профілі фасонного перерізу контактів слід проектувати з плавними сполученнями переходів від однієї лінії до другої. Слід прагнути проектувати рівномірне розподілення матеріалу по перерізі профілю, щоб виникаючі при волочінні внутрішні напруження менше викривлювали прутки по довжині.

Бажано не застосовувати простих форм профілів з тонкими, виступаючими в сторону частинами. При складних формах необхідна більша кількість волок. При профілі контакту, зображеного на рис. 11.23, б, кількість волок різних перерізів, що поступово наближаються до остаточного, складає 9 шт. (рис. 11.40). При волочінні можна отримати розміри по 7-му квалітету точності і якість поверхні, що відповідає 6-му класу шорсткості.

Конструкцію контактів слід прагнути вибирати такою, щоб, крім обробки отворів і різанні прута не було інших операцій зі зняттям стружки.

11.6.10.4. КОНТАКТИ І КОНТАКТНІ ДЕТАЛІ, ШТАМПОВАНІ З СМУГОВИХ, СТРІЧКОВИХ І ЛИСТОВИХ МАТЕРІАЛІВ

Що стосується особливостей технологічності холодноштампованих контактів і контактних деталей, то про них можна сказати наступне.

Розташування деталі з пружинних матеріалів на стрічці, смузі або листі повинно бути таким, щоб направлення прокату, а відповідно, витягнуті вісі кристалів металу співпадали з віссю елемента деталі, що працює на згин.

Зазвичай пружні матеріали з кольорових металів штампуються і гнуться без застосування термообробки внаслідок того, що їх пружні властивості не можна відновити після термообробки.

Однак з алюмінієво-нікелевої бронзи БрНА6-1,5 куніаль Б і з берилієвої бронзи пружні деталі виготовляються з попередньою термообробкою для зниження твердості перед штампуванням, а особливо перед згинанням і з наступною термообробкою для відновлення пружних властивостей цих матеріалів. Тому деталі складної форми доцільно виготовляти з куніалі або, в окремих випадках, з берилієвої бронзи.

Слід мати на увазі, що вартість берилієвої смугової і стрічкової бронзи приблизно в 10 раз більша вартості інших бронз, тоді як бронза куніаль Б - одна з найбільш дешевих.

11.6.10.5. БАГАТОПЛАСТИНЧАСТІ (ЩІТКОВІ) КОНТАКТИ

Внаслідок ряду технологічних і експлуатаційних недоліків багатопластинчатих (щіткових) контактів слід від них відмовитись або застосовувати їх тільки в окремих і спеціально обґрунтованих випадках.

11.6.10.6. КОНТАКТИ З НАКЛАДКАМИ З СРІБЛА, МЕТАЛОКЕРАМІЧНИХ І ІНШИХ КОМПОЗИЦІЙ

При проектуванні накладок слід прагнути до застосування можливо малих їх розмірів з метою економії дорогоцінних матеріалів. Але це не повинно провадитись за рахунок зменшення зносостійкості. Форми накладок повинні бути можливо простими і розраховані на виготовлення шляхом безвідходних технологічних процесів – можливо ширше застосовувати металокерамічні накладки. Вони містять меншу кількість срібла, так як його частина замінена іншими компонентами. Крім того, металокерамічні контакти, як вказано вище, мають і інші переваги. Металокерамічні композиції слід використовувати тільки для робочого шару з метою економії дорогоцінних матеріалів.

Срібні контакти доцільно отримувати методом порошкової металургії з неробочим шаром (25 або 75%) з порошоків заліза, міді або нікелю. Це дає значну економію срібла.

Найбільш технологічним процесом кріплення накладок до контактів деталей є приварювання. Цей процес, по-перше, високопродуктивний, по-друге, економічний внаслідок відсутності необхідності застосовувати припой, а іноді і флюс.

11.7. ВИГОТОВЛЕННЯ ЦИФЕРБЛАТІВ І ШКАЛ

11.7.1 РІЗНОВИДИ ЦИФЕРБЛАТІВ І ШКАЛ

Циферблати і шкали призначаються для визначення потокових показників приладу. Цифри, знаки і поділки циферблатів і шкал повинні забезпечувати відлік і покази роботи приладу з необхідною точністю, що виключає суб'єктивні похибки. Величина поділок, цифр і знаків, а також колір поверхні – поля циферблату або шкали, і самих поділок і знаків повинні мати певне поєднання і забезпечувати достатню ясність показів без напруження зору. До деяких циферблатів, наприклад до циферблатів наручних годинників, крім зазначених вимог, ставляться підвищені естетичні вимоги, що виключають одноманітність. Поєднання конструктивного оформлення корпусів, циферблатів і стрілок наручних годинників підлягає затвердженню галузевої художньої ради, а також представника замовника. В теперішній час годинниковими заводами виготовляється більше 600 оформлень різних

циферблатів наручних годинників; до їх числа відносяться: циферблати з смуговими печатними цифрами, з випуклими цифрами, з неповним цифруванням або взагалі з відсутністю цифр, що часто ускладнює і погіршує визначення показів часу.

Шкали, що застосовуються в приладах поділяються на лінійні, дискові і барабанні. Найбільше розповсюдження в приладобудуванні отримали плоскі шкали круглої і прямокутної форми. Плоска форма шкали дозволяє з великою точністю наносити поділки, знаки і цифри шляхом гравірування, штампування, фотографування, друкування, фототравлення і іншими методами.

Колір поверхні поля циферблата або шкали і поділок з цифрами, як правило, виконуються контрастними. У більшості приладів і годинників поле циферблатів і шкал біле, а поділки і цифри чорні. При виготовленні циферблатів і шкал для авіаційних приладів поверхню поля роблять чорною, а поділки і цифри – білими і покриваються масою, що світиться виходячи з зручності візуального спостереження.

Цифри і знаки більшості циферблатів і шкал розташовуються вертикально. Циферблати і шкали виготовляються з різноманітних матеріалів. Найбільш часто застосовується алюміній, латунь марки Л62 і Л68, томпак Л-90, сталь, картон, фанерована деревина, оргскло і ін. Цифри і знаки на циферблатах і шкалах можуть бути отримані наступними способами: літографічним; фотографуванням; фототравленням; чеканкою; гравіруванням на пантографах; рельєфним штампуванням з подальшим фрезеруванням, алмазними інструментами; наклеюванням або приклепкою окремих цифр і знаків до заготовки шкали або циферблата; випалюванням. В одиничному і дрібносерійному виробництві циферблати і шкали виготовляються частіше всього фотографуванням, фототравленням і гравіруванням на пантографах. Виготовлення циферблатів і шкал фотографуванням проводиться в наступній послідовності:

1) в масштабі 20 : 1, 50 : 1 або 100 : 1 виконується тушшю креслення потрібної шкали або циферблату;

2) проводиться фотографування креслення, в результаті чого отримують негатив на скляній фотопластинці;

3) з заготовленого негатива друкують на фотопапір зображення шкали або циферблату;

4) отриману таким чином шкалу або циферблат наклеюють на заготовку з металу або картону;

5) покривають поверхню шкали або циферблата безбарвним ла-

ком і сушать при кімнатній температурі.

Виготовлення циферблатів і шкал фототравленням складається з наступних операцій: нанесення на поверхню заготовки світлочутливого кислототривкого шару, що складається з фотоемulsії або світлочутливої смоли; нанесення на кислототривкий шар малюнка шкали методом фотографування або копіювання з негативу; проявлення і закріплення, в результаті чого незасвічені ділянки виявляються без емulsії; травлення кислотою незахищеного кислототривким шаром металу, в результаті чого утворюються поділки і знаки потрібної глибини; промивка після травлення, нейтралізація і промивання після нейтралізації заготовок; фарбування цифр і знаків; покриття прозорим лаком.

11.7.2. ГРАВІЮВАННЯ ШТРИХІВ І ЗНАКІВ

Гравіювання штрихів, цифр, букв і знаків на циферблатах і шкалах проводиться на фрезерних верстатах-пантографах і спеціальних верстатах двома методами: обертовими фрезами-штихелями і обертовими різцями шляхом стругання. Глибина лінії, що гравіюється може бути приблизно 0,08 – 0,1 мм. В одиничному і дрібносерійному виробництві отримання штрихів і знаків на деталях виконується на копіювально-фрезерних верстатах з пантографом, котрі часто називають гравіювальними.

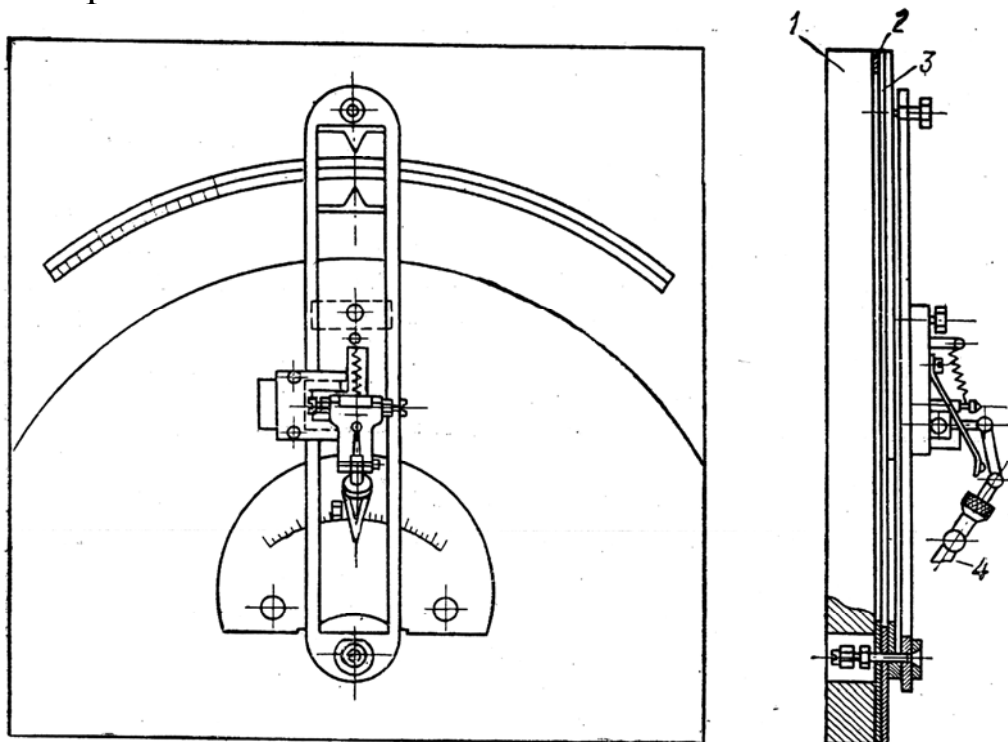


Рис. 11.41. Пристосування для викреслення плоских шкал: 1 – дерев'яна підставка; 2 – алюмінієва плата; 3 – шкала; 4 – рейсфедер.

Для отримання штрихів і знаків будь-якої шкали необхідно мати відповідний еталонний шаблон або набір декількох шаблонів, котрі по черзі встановлюються на копіювальний стіл верстата. Стандартні шаблони для гравіювання (цифри, букви і знаки) виготовляються з сталі або свинцевої латуні марки ЛС59-1Т або ЛС63-3Т. Спеціальні шаблони виготовляються з легкоплавких сплавів (олова, свинцю) або з целулоїду.

Забезпечення постійної глибини гравіювання цифр і знаків досягається за рахунок обмеження ходу обойми шпинделя. Інструментом для гравіювання служать штихелі, виготовлені з швидкоріжучої сталі Р18 або твердих сплавів марки ВК6М. Для гравіювання шкал з кольорових металів і сплавів, а також розжареної сталі і скла застосовуються алмазні штихелі.

В багатосерійному і масовому виробництві для гравіювання букв, цифр і знаків застосовуються фасонно-фрезерний півавтомат моделей С-50Л1 і Ф-383 або автомат моделі Ф-287, що працює з допомогою кулачків. Для гравіювання різних підписів на деталях приладів з розмірами до 60 мм застосовується п'ятишпindelний високоефективний верстат моделі С-210. Шпинделі обертаються з швидкістю 15000 об/хв.; в їхні патрони встановлюються гравіювальні штихелі. Стіл верстата з заготовками здійснює рух в горизонтальній площині в відповідності з копіювальним змінним шаблоном, по якому переміщується щуп, і відтворює зображення одночасно на п'яти деталях в масштабах від 1:5 до 1:50 в залежності від зміни пліч важелів при постійному шаблоні. Штихелі врізаються в деталі автоматично в кінці опускання щупа в паз. Вихід штихелів із зіткнення з деталями проходить слідом за підйомом щупа і шаблона.

11.7.3. ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ РУХОМОЇ ЧАСТИНИ ПРИЛАДІВ

Основними конструктивними деталями рухомої частини приладів є стрілка, стрілотримач, противага, каркас рамки, рухомі елементи повітряних або магнітоіндукційних заспокоювачів.

В більшості приладів для відліку показів є стрілка. Форма і розміри стрілки визначаються призначенням приладу і необхідною точністю розрахунку. На рис. 11.42 показані різні види стрілок електровимірювальних приладів.

За формою стрілки поділяються на стрижневі, списоподібні і

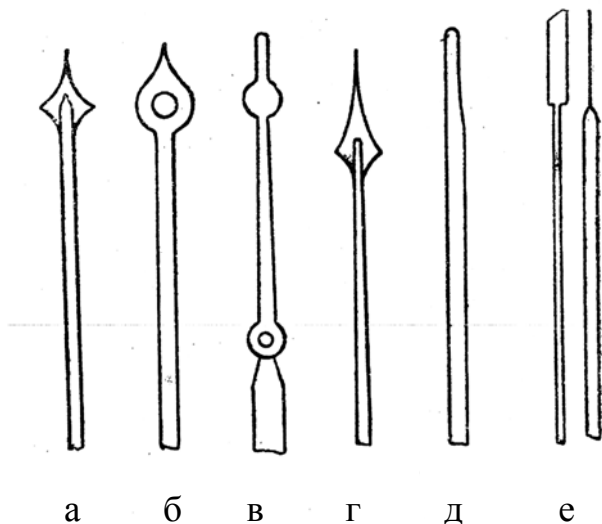


Рис. 11.42. Форми стрілок: а, б, г – списоподібні; в, д – стержнеподібні; е – ножеподібні стрілки.

ножеподібні. Вони виготовляються з листового алюмінієвого сплаву АМГ або дюралюмінію ДІ, товщиною від 0,07 до 0,2 мм або з суцільнотягнутої трубки з зовнішнім діаметром 0,5 – 0,8 мм і товщиною стінок 0,05 – 0,1 мм.

Стрілки повинні бути з однієї сторони міцні, при ударах протистояти деформуванню, а з іншої сторони повинні бути легкими і мати невеликий момент інерції.

Для збільшення жорсткості стрілки мають в перерізі складну форму (рис. 11.43).

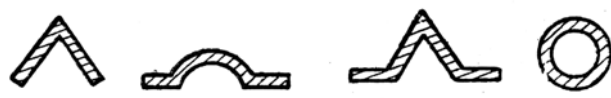


Рис. 11.43. Переріз стрілок.

Стрілка закріплюється на рухому рамку (рис. 11.44). Для врівноваженості системи, тобто сполучення центра ваги рухомої частини приладу з віссю обертання на стрілці тримачу, зі сторони протилежної стрілки, закріплюють противаги.

Противаги являють собою латунні частини, діаметром 2 – 4 мм, що мають ззовні накатку.

Каркас (рис.11.44) виготовляють з алюмінієвого листа товщиною 0,15 – 0,25 мм. Цей каркас крім конструктивного призначення є заспокоювачем.

При повороті рамки в магнітному полі, в каркасі виникають вихрові струми, взаємодія яких з полем постійного магніту утворює момент спокою.

Для виготовлення трубчатої дюралюмінієвої стрілки заготовкою служить пруток діаметром 5 мм, який після перевірки в хімічній лабораторії поступає в цех, де піддається перевірці.

Пруток розрізається на заготі-

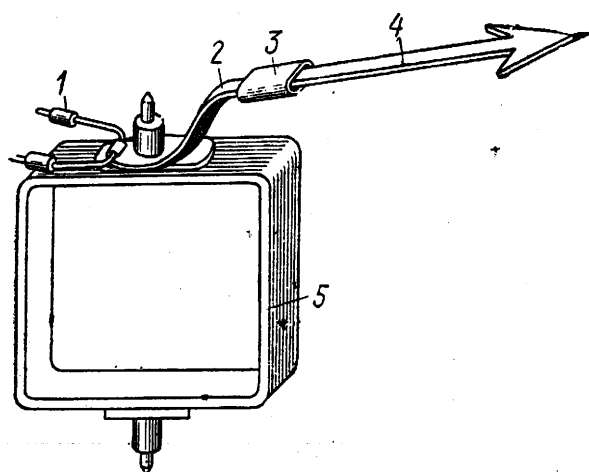


Рис. 11.44. Кріплення стрілки на рамці: 1 – противага; 2 – стрілко-тримач; 3 – обтиск; 4 – стрілка; 5 – рамка.

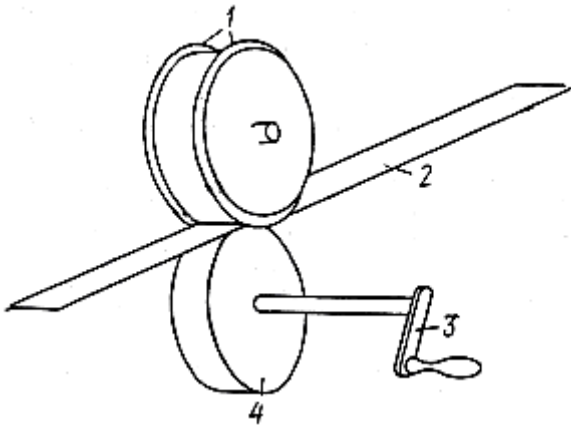


Рис. 11.45. Пристосування для калібрування стрічки по ширині: 1- ріжучий ролик; 2 – калібрована стрічка; 3 – рукоятка; 4 – підтримуючий ролик.

трами 3,0; 2,9; 2,8; 2,7; 2,6 мм.

Проводиться нагрівання заготовки при температурі 200 °С протягом 15 хв в трубчатій електричній печі.

Після термічної обробки в внутрішній отвір заготовки вставляється дріт діаметром 1 мм, проводиться зачищення кінців з подальшим протягуванням через волочильну дошку з отворами від 2,5 до 1,35 мм (23 проходи).

Заготовка знову нагрівається в трубчатій електричній печі до температури 200 °С з витримкою 15 хвилин.

Після чергового нагрівання заготовка знову піддається протягуванню через філь'єри з діаметрами від 1,3 мм до 1,0 мм (за 7 переходів).

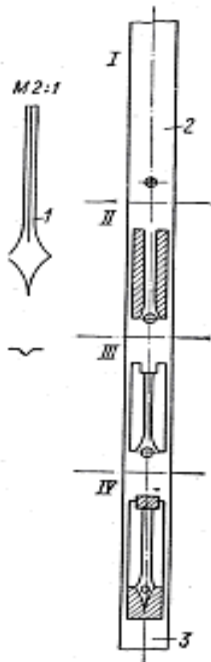


Рис. 11.46. Вирубання стрілки на послідовно-вирубному штампі: I – вирубання отвору; II – вирубання двох сторін; III – видавлювання ребра жорсткості; IV – кінцеве вирубання. Вирубані поверхні заштриховані: 1 – стрілка; 2 – калібрована по ширині алюмінієва стрічка; 3 – відхід.

вки довжиною 100 мм. В заготовці просвердлюють наскрізний отвір $\varnothing 0,6$ мм. Проводиться відпал спочатку при температурі 400 °С на протязі 0,5 години, а потім при температурі 360 °С протягом 1,5 години.

Після термічної обробки в отвір заготовки встановлюється стальна проволочка діаметром 1,5 мм, змащена воском.

На прокатному стані через 11 потоків поступово до діаметра 3,1 мм проводиться вальцювання. Заготовку протягують через волочильну дошку, оснащену отворами з діаметрами

Після чергового відпалу заготівка, з вставленим в отвір дротом діаметром 0,4 мм піддається протягуванню через філь'ери діаметром 0,7; 0,66; 0,64; 0,62; 0,60; 0,57 мм.

Для зняття внутрішніх напружень заготівка нагрівається до 150 °С з витримкою 0,5 години.

Після охолодження проводиться розрізання заготівки на куски, відповідно до креслення.

Виготовлення плоскої стрілки.

Плоскі і профільні стрілки виготовляють шляхом вирубування і згинання. З листового матеріалу товщиною 0,5 мм вирізаються заготовки потрібних розмірів. Після відпалу заготовки складаються в пакети по 8 – 10 штук і проводиться прокатка до потрібної товщини. Вихідний матеріал – алюмінієва стрічка шириною 12 – 15 мм обрізається з допомогою 2-х роликів (рис. 11.45) калібрована смуга пропускається через послідовно-вирубний штамп, що здійснює вирубку за чотири переходи (рис. 11.46).

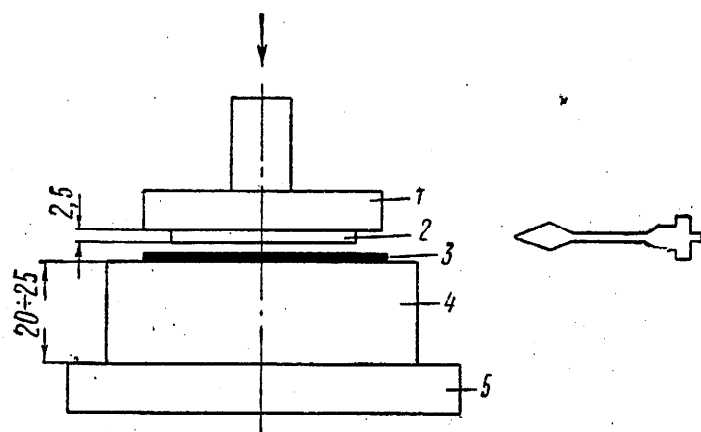


Рис. 11.47. Вирубування стрілки на резині: 1 – пуансотримач; 2 – пуансон; 3 – матеріал; 4 – м'яка резина; 5 – основа.

листовий матеріал 3 товщиною 0,25 – 0,3 мм накладається на резину 4 (рис. 11.47). Гума, що сприймає удар, деформується і вільно звільняє з штампа готову деталь. Якщо на пуансоні по контуру стрілки зробити виступ, то можна отримати ребро жорсткості на стрілці.

В цьому штампі (3-й перехід) видавлюється ребро жорсткості. В деяких випадках вирубування стрілок здійснюють на штампах з гумовою матрицею. Пуансон виготовляють з загартованої сталі товщиною 2,2 – 2,5 мм. Форма пуансона копіює форму стрілки. Матрицею служить пружна гума товщиною 20 – 25 мм. При вирубуванні

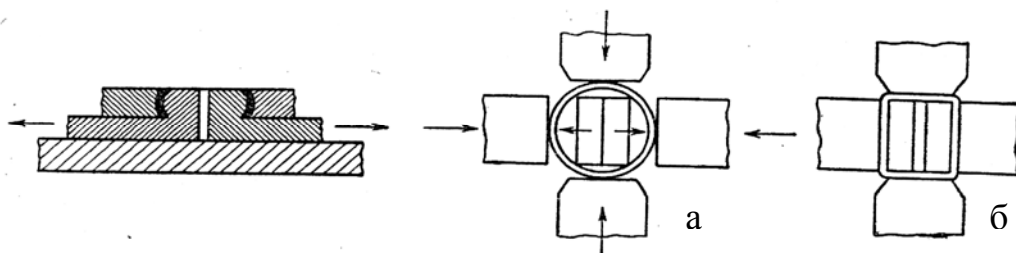


Рис. 11.48. Пристосування для обтиску каркаса рамки (надання прямокутної форми): а – перед обтиском; б – після обтиску.

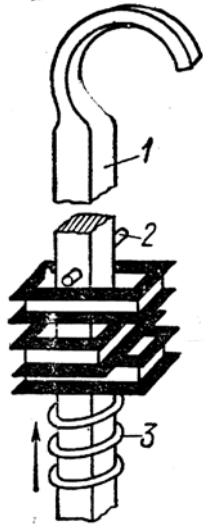


Рис. 11.49. Пристосування для зберігання каркасів рамок: 1 – стержень з алюмінію або пластмаси; 2 – штифт; 3 – пружина.

вання (рис. 11.48).

Після відбортівки каркаси оксидують гальванічним шляхом, після чого їх фарбують. Для збереження готових каркасів від механічних пошкоджень при транспортуванні, каркаси надівають на чотирихгранний стержень, виготовлений з пластмаси (рис. 11.49). Ця підвіска використовується при покритті каркаса лаком.

11.7.4. ВИГОТОВЛЕННЯ ОПОР

Переважна більшість електровимірювальних приладів має опори на кернах. Керн (рис. 11.50) являє собою вісь, циліндрична частина якої переходить в конічну, що закінчується сферичним заокругленням.

Розрізняють наступні конструктивні оформлення вісі (рис. 11.51):

1. Суцільна сталевна циліндрична вісь.
2. Стальні керни, запресовані в алюмінієві вісі (рис. 11.51, б, в).
3. Стальний керн, запресований в буксу з немагнітного матеріалу, що кріпиться до рамки рухомої частини приладу (рис. 11.51, г).

Керни спираються на підп'ятники, котрі виготовлюються з природних мінералів – агата, корунду, сапфіра або штучних мінералів, плавленого скла, а іноді твердих сплавів (рис. 11.52)

Кут конуса в кернах змінюється від 30 до 90⁰, а радіус округлення вершини від 0,01 до 0,25 мм.

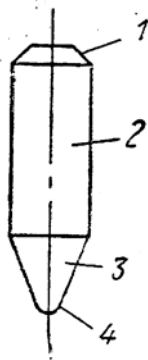


Рис. 11.50. Керн: 1 – фаска; 2 – циліндрична частина; 3 – конічна частина; 4 – сферична частина (робоча поверхня).

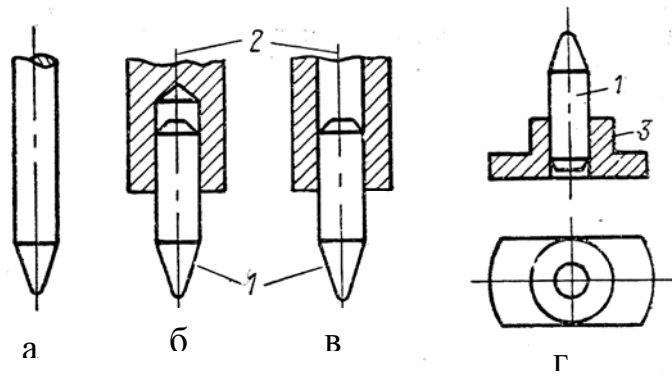


Рис. 11.51. Конструкції вісі рухомої частини: а – суцільна сталеві вісь з кінцями у вигляді кернів; б – керн, запресований в суцільну вісь; в – керн, запресований в порожнисту вісь; г – керн, запресований в буксу: 1 – керн; 2 – вісь; 3 – букса.

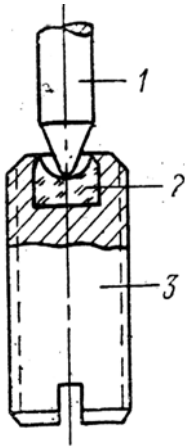


Рис. 11.52. Опора рухомої частини: 1 – керн; 2 – підп'ятник; 3 – гвинт підп'ятника.

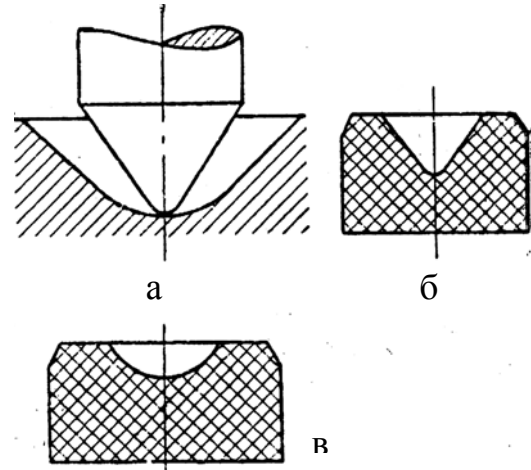


Рис. 11.53. Підп'ятник: а – взаємне розташування керна і підп'ятника; б – підп'ятник з конічною боковою поверхнею заглиблення; в – підп'ятник з сферичною боковою поверхнею заглиблення.

Підп'ятники (рис. 11.53) мають конусоподібне заглиблення, дно якого обкреслено радіусом і ретельно відполіровані.

Радіуси округлених кернів і цапф вибираються таким чином, щоб при статичному навантаженні тиск на робочу поверхню не перевищував $400-500 \text{ кгс/мм}^2$. Для зменшення коефіцієнта тертя робоча частина керна ретельно полірується до $R_z = 0,05 - 0,032 \text{ мкм}$. В приладах твердість підп'ятника вища твердості матеріалу керна. Наприклад, твердість агата рівна 7 за шкалою Мооса (1120 кгс/мм^2 за шкалі М.М. Хрущева), твердість сапфіра 8-9 ($1420-2060 \text{ кгс/мм}^2$), в той час як загартована сталь має твердість $6,5 / 920 \text{ кгс/мм}^2$.

Для виготовлення кернів застосовують холоднотянутий калібрований дріт, діаметром $0,25-0,01 \text{ мм}$; $0,5-0,01 \text{ мм}$; $0,75-0,018 \text{ мм}$, з висо-

ковуглицевих сталей У10А – У12А або з спеціальних кобальто-вольфрамових сплавів. Структура матеріалу – зернистий перліт з дрібними карбідами до 4 мкм. Величина кута керна $60 \pm 5^\circ$, радіус заокруглення $80 \leq R \leq 200$ мкм, допуск ± 10 мкм.

11.7.5. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ КЕРНА

Технологічний процес складається з трьох етапів: до загартування, загартування і обробка загартованого керна.

Обробка до загартування. Дріт нарізається на окремі прутки довжиною 1 м. Проводиться рівняння і на токарно-годинниковому верстаті проводиться розрізання прутка на заготовки потрібної довжини. Обробка конуса проводиться на спеціальному пристосуванні, що дозволяє регулювати величину кута.

Загартування і контроль якості. Проводиться нагрівання кернів до 1000 штук в муфельній печі до 780°C з витримкою 10 хвилин, з подальшим охолодженням в маслі при температурі 20°C . Керни дістаються з масла з допомогою магніту, промиваються в бензині, потім в спирті і просушуються на фільтрувальному папері. В спеціальній котушці, що живиться змінним струмом, керни розмагнічуються.

Після загартування керни проходять вибіркову перевірку якості загартування. З пакета 200 – 300 штук відбирають 2-3 керна.

Для оцінки твердості гостряком закріпленим в тримачі керна наноситься риска на звичайному віконному склі. Нормально загартований керн залишає на склі подряпинку з наявністю сколів по краях. Після випробування керна на скляній пластині керн перевіряється на злом. Надмірна крихкість матеріалу призводить до злому стержня керна. Досвід показує, що твердість кернів повинна бути не менша 720 одиниць ($\text{кГс}/\text{мм}^2$).

Загартований керн очищується з окалини за допомогою дрібно-зернистої шкурки, промивається в чистому бензині і висушується на фільтрувальному папері.

Обробка кернів. Шліфування і полірування конуса керна проводиться на токарно-годинниковому верстаті або на спеціальному верстаті настільного типу, що має тільки одну передню бабку, яка обертається з частотою 2000-3500 об/хв., і має биття 2-5 мкм.

Конус керна, закріпленого в цангу шліфується вручну з застосуванням полірувальних брусків $10 \times 10 \times 120$ мм, з подальшою обробкою шкіряним полірувальником з пастою ГОІ з розміром абразивного зе-

рна 4 – 7 мкм. Тонке полірування до дзеркального блиску проводиться з використанням порошку окису хрому. Після закінчення полірування паста ГОІ видаляється з поверхні керна промиванням спочатку в хромовій суміші, потім в содовому розчині з подальшим промиванням в дистильованій воді і спирті-ректифікаті.

В процесі виготовлення керни не повинні піддаватись дії теплових або сонячних променів. На дільниці, де проводиться робота з кернами, не повинні знаходитись кислоти в відкритому вигляді і акумулятори. Зберігання кернів проводиться в ексикаторах на пробкових пластинах конусом догори.

Приймання готових кернів. Приймання остаточно оброблених кернів проводиться в наступному порядку.

1. Визначається довжина керна у 10% від кожної партії. При наявності відхилення від меж допуску на довжину, вся партія кернів повертається в цех для розбраковування. Для запобігання ушкоджень робочої поверхні керна, вимірювання довжини проводиться за допомогою оптичного мікроскопа.

2. Контроль якості полірованої поверхні кернів проводиться під мікроскопом з 50–кратним збільшенням при освітленні розсіяним світлом. Розсіяне світло досягається встановленням між лампою і мікроскопом екрана з листів цигаркового паперу.

3. Контроль кута конуса і радіуса сфери керна проводиться на спеціальному проєкційному апараті за допомогою шаблонів при 500-кратному збільшенні.

11.8. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПРУЖНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИЛАДІВ

11.8.1. КЛАСИФІКАЦІЯ Й ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ПРУЖНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

У залежності від виконуваних функцій і, зокрема, від роду сприйнятого й виміряного навантаження пружні елементи приладів можна розділити на три класи: клас I - силівимірювальні пружини; клас II - тепловимірювальні пружини; клас III - манометричні пружні елементи. Основні функції пружин класу I полягають у вимірюванні зосередженого навантаження. Цей клас включає шість основних груп пружин, що відрізняються як по виконуваних функціях, так і за технологією їхнього виготовлення.

До групи 1 відносять гвинтові циліндричні пружини, що працюють на стиск, розтяг і крутіння. Ці пружини найбільш поширені в приладобудуванні у зв'язку з простотою конструкції і можливістю одержання найбільшого пружного переміщення при мінімальних габаритних розмірах.

Конічні пружини з постійним кроком застосовують як вимірювальні значно рідше, однак нелінійна пружна характеристика дозволяє використовувати ці пружини як амортизатори.

До групи 3 класу 1 відносять плоскі пружини, причому в якості вимірювальних застосовують пружини найпростішої форми, наприклад, у чуттєвих елементах датчиків лінійних прискорень. Дія перевантаження врівноважується пружними внутрішніми силами плоских пружин.

Плоскі пружини різної форми використовують також у електроконтактних пристроях, передатно-множинних механізмах, пружних направляючих і інших елементах і системах.

Плоскі спіральні пружини (волоски), віднесені до групи 4 класу 1, виконують в основному функції вимірювання моментів зовнішніх сил. Вони допускають великі кутові переміщення.

Тарілчасті пружини (група 4) відрізняються великою компактністю, однак різка нелінійність їхньої пружної характеристики і невеликі величини пружних переміщень обмежують застосування цих пружин у якості вимірювальних пружних елементів. Тому їх використовують в основному в якості амортизаторів чи силових елементів у тих конструкціях, де габаритні розміри не дозволяють застосовувати інші типи пружин.

У стрічкових гвинтових пружин (група 5) їхні кінці, починаючи від середини, мають різні напрямки спіралі. Це дозволяє використовувати великі кутові переміщення середньої частини пружини (до восьми оборотів) при впливі подовжньої сили. Існують два види стрічкових гвинтових пружин.

Перший вид являє собою закручену пружину, що відрізняється дуже великим передатним відношенням і високою твердістю, що дозволяє успішно використовувати її як передатно-множинний механізм без тертя в мікрокаторах і оптикаторах для вимірювання переміщень з точністю до 0,0002-0,001 мм. В останні роки цей пружний елемент використовують у якості силовимірювального в приладах для контролю пружин.

Друга різновидність стрічкової пружини являє собою навиту спі-

раль, вона відрізняється значно меншим передатним відношенням і дуже малою твердістю, що дозволяє створити силовимірювальні циферблатні прилади з ціною поділки до 0,01 гс і чутливістю до 0,001 гс.

До класу II пружних елементів віднесені тепловимірювальні пружини, відомі за назвою термобіметалевих. Термобіметалева пружина являє собою смужку з двох з'єднаних матеріалів з різними коефіцієнтами лінійного розширення. При нагріванні біметалева пружина згинається пропорційно зміні температури убік металу з меншим коефіцієнтом лінійного розширення. На цій властивості засновані конструкції чуттєвих елементів різних термометрів, регуляторів температури й інших тепловимірювальних приладів. Для збільшення пружної деформації біметалевій пружині надають спіральну форму, збільшуючи її робочу довжину.

Манометричні пружні елементи, віднесені до класу III, розділяють на три основні групи: мембранні, сильфони і трубчасті. Ці пружні елементи виконують однакові функції вимірювання рівноросподіленого тиску рідин чи газів, але істотно відрізняються по конструкції і технології виготовлення.

Мембранні елементи застосовують у приладах високого класу точності з лінійними і нелінійними характеристиками тиску. У залежності від необхідної величини пружного переміщення ці пружні елементи виготовляють у виді мембран, мембранних коробок чи блоку коробок. Відкриті коробки працюють як манометричні при подачі тиску у внутрішню порожнину. За допомогою закритих (анероїдних) коробок вимірюють тиск за рахунок створення в їхній внутрішній порожнині вакууму.

Сильфони, на відміну від мембран, більш складні у виготовленні, однак вони мають значно великі величини пружних деформацій, що істотно розширює області їхнього застосування.

Трубчасті пружини розділяють на дві основні групи: вигнуті, відомі за назвою трубок Бурдона, і кручені, застосовувані для вимірювання високих тисків. Для збільшення пружних переміщень пружини Бурдона навивають у виді гвинтової, плоскої спіральної чи S-подібної форми.

Усі пружні елементи, представлені в класифікаторі, розрізняються не тільки конструкціями і виконуваними функціями в приладах, але вимогами до забезпечення високої точності фізичних параметрів; до них відносяться: точність пружних характеристик, гістерезис чи пружна післядія, залишкові (необоротні) деформації, температурні

похибки, циклічна міцність, герметичність (для манометричних пружних елементів), корозійна стійкість.

Точність пружних елементів при виготовленні визначається допусками на розсіювання їхніх пружних характеристик. Величини цих допусків визначаються основними вимогами до приладів і складають 2-40%.

Гістерезис являє собою величину розбіжності характеристик, одержуваних при навантаженні і розвантаженні того самого пружного елемента. Величини допусків на гістерезис, застосовувані в промисловості, складають 0,05-1,5%. В окремих випадках замість допусків на гістерезис встановлюють відповідні допуски на пружну післядію. Залишкові необоротні деформації пружних елементів при випробуванні їх в умовах, аналогічних експлуатаційним, лімітуються особливими технічними вимогами. Відзначимо, що гістерезис, пружна післядія і залишкові деформації пружних елементів характеризують ступінь їхньої стабільності при випробуванні чи експлуатації. Таким чином, два головних параметри визначають якість пружних елементів - точність і стабільність їхніх пружних характеристик. Останні є основними параметрами, що визначають якість вимірювальних приладів і механізмів. Однак з цього не випливає, що вимоги до циклічної міцності, герметичності і температурних похибок є другорядними.

11.8.2. МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ПРУЖНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

До матеріалів для пружних елементів пред'являють наступні основні вимоги:

- 1) механічні властивості, що забезпечують надійність роботи пружних елементів при високих робочих навантаженнях з мінімальними величинами гістерезиса і залишкової деформації;
- 2) точність геометричних розмірів, що забезпечують необхідну точність характеристик пружних елементів;
- 3) корозійна стійкість у всіх кліматичних умовах чи в агресивних середовищах.

Механічні властивості при підвищених температурах не повинні істотно змінюватися.

У деяких випадках матеріал не повинний намагнічуватися.

За станом постачання матеріали поділяються на дві групи: постачаються в зміцненому стані; постачаються у відпаленому – зм'якшеному стані.

Матеріали першої групи при виготовленні пружних елементів піддають в основному тільки відпуску для зменшення внутрішніх залишкових напружень і підвищення межі пружності.

Матеріали другої групи піддають зміцненню при виготовленні пружних елементів шляхом загартування з відпуском, дисперсійним твердінням, пластичною деформацією чи комбінованим зміцненням.

У табл. 11.12 приведені деякі найбільш широко застосовувані матеріали з різними властивостями.

Таблиця 11.12. Приклади застосовуваних матеріалів для пружних елементів

Стан поставлення	Сортамент	Марка, ГОСТ, ТУ на технічні вимоги	Вид термообробки після формоутворення пружин пружних елементів (наближені режими)	Примітка
Зміцнені патентуванням + пластичним деформуванням (наклепом)	Дріт сталевий вуглецевий пружинний	У8А, У9А, У10А	Відпуск при температурі 260-300° С 20-30 хв	Володіють високою сталістю механічних властивостей
	Стрічка сталевая пружинна термічно оброблена холоднокатана	У10А	Відпуск при температурі 200-300° С 20-30 хв	
Зміцнені пластичним деформуванням	Дріт бронзовий	БрКМц 3-1	Відпуск при температурі 130-150° С	—
	Смуги стрічки з олов'яно-фосфористої бронзи	БрОФ 6,5-0,15	Те ж	
Зм'якшені (відпалені)	Дріт сталевий легований пружинний	50ХФА	Загартування з 850° С, відпуск 390° 30 хв	Підвищений опір ударному навантаженню
	Стрічка холоднокатана з корозійностійкої і жаростійкої сталі	30Х13	Загартування при температурі 1025° С, відпуск при 450° С 1 год	Підвищена температура експлуатації до 300° С
	Стрічка із прецезійного сплаву	40КХНМ	Наклеп до 80% + відпуск при 450° С	Володіє гарною корозійною стійкістю
Зм'якшені чи зміцнені наклепом + дисперсійне твердіння	Стрічка із прецезійного сплаву	44НХТЮ	Загартування у воді з 910° С з охолодженням + дисперсійне твердіння при 690° С на протязі 2-4 год	Для підвищення механічних властивостей дисперсійне твердіння проводиться в наклепаном стані без попереднього загартування
	Смуги і стрічки з берилієвої бронзи	БрБ2, БрБНТ	Загартування у воді з 770° С + дисперсійне твердіння при 315° С на протязі 2 год	

11.8.3. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПРУЖИН

Технологічний маршрут виготовлення пружин в узагальненому виді повинний складатися з наступних основних операцій:

- 1) дослідження дроту і виготовлення зразків-свідків;
- 2) промивання дроту;
- 3) термічна обробка дроту зм'якшуюча (для пружин з дисперсійно-твердіючих сплавів і пружин з матеріалів, зміцнених загартуванням у випадку складної навивки);
- 4) виправлення дроту;
- 5) виготовлення технологічного зразка;
- 6) навивання пружин чи заготовок;
- 7) різання заготовок на окремі пружини і відрізка зайвих кінців (для пружин, що навиваються у виді заготовок на кілька пружин із припусками на кінцях);
- 8) шліфування торців попереднє (для пружин стиску з плоскими опорними торцями);
- 9) виправлення по розмірах і формі (для пружин стиску з патентованого дроту);
- 10) відгинання й оформлення кінців (для пружин розтягу, коли кут повороту площин відігнутих кінців при термічній обробці не перевищує заданого допуску);
- 11) термічна обробка-відпуск, чи загартування плюс відпуск, чи дисперсійне твердіння;
- 12) відгинання й оформлення кінців (для пружин розтягу з патентованого дроту, якщо кут повороту кінців при термічній обробці перевищує заданий допуск);
- 13) виправлення по розмірах і формі;
- 14) термічна обробка, проведена для зняття внутрішніх залишкових напружень (для пружин, що пройшли операцію виправлення);
- 15) стабілізація (основна) у навантаженому стані при підвищеній температурі (для пружин, у яких залишкова деформація чи зменшення зусилля після стабілізації більше заданих допусків на висоту чи зусилля);
- 16) шліфування торців остаточне (для пружин стиску з плоскими опорними торцями).

Для пружин першого класу точності з характеристикою першого виду операція шліфування торців може бути поєднана з операцією доведення, якщо остання здійснюється за рахунок зменшення довжи-

ни пружини у вільному стані;

17) доведення пружин по характеристиці (для пружин першого класу точності);

18) покриття захисне (для пружин, нестійких проти корозії);

19) стабілізація повторна в навантаженому стані при підвищеній температурі (при припустимій нестабільності пружної характеристики пружин при експлуатації 0,2-1,2%);

20) стабілізація основна в навантаженому стані при підвищеній температурі (замість операцій 15 і 19, коли залишкова деформація чи зменшення зусилля пружин після стабілізації менше заданих допусків на висоту і зусилля);

21) упакування і збереження пружин.

Підготовка матеріалу і виготовлення технологічних зразків.

У комплекс підготовки матеріалу входять вхідний контроль (випробування дроту), очищення чи промивання, виправлення й зм'якшуюча термічна обробка. Вхідний контроль проводять для перевірки відповідності матеріалу вимогам ГОСТ чи технічним умовам на постачання. Виправлення здійснюють для зменшення похибки геометричних розмірів, особливо кроку і висоти пружин після навивки,

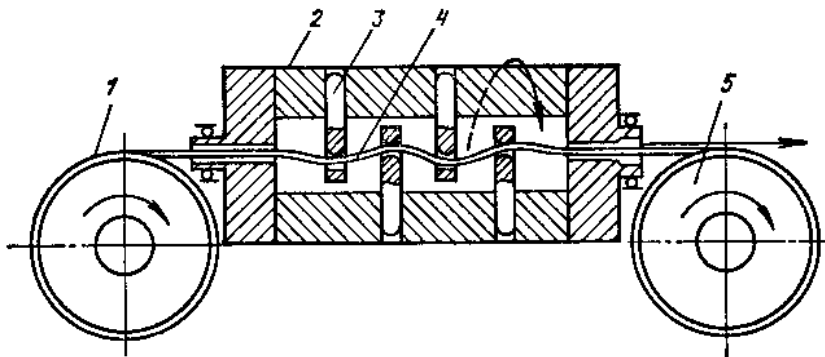


Рис. 11.54. Принципова схема установки для виправлення дроту: 1 – барабан з мотком дроту, який виправляється; 2 – обертовий корпус; 3 – регульовані стрижні з філь'єрами; 4 – дріт у зоні виправлення; 5 – барабан натягу і транспортування дроту.

за рахунок усунення впливу кривизни мотка дроту на спеціальних верстатах (рис. 11.54, схема) шляхом протягування дроту через обертаючий ротор із змінними філь'єрами, де він піддається багаточисленним перегибам.

Якщо таких верстатів немає, вплив кривизни дроту мож-

на зменшити в процесі навивання пружин, розташувавши вісь обертання мотка паралельно осі пружини, що навивається.

Навивання пружин може бути виконане: а) на пружинонавивальних автоматах; б) на них верстатах з використанням оправок і спеціальних пристосувань.

Навивка на пружинонавивальних автоматах застосовна для матеріалів, що поставляються в зміцненому стані, найбільш продуктивна і забезпечує найбільшу точність розмірів і характеристик пружин у порівнянні з навивкою на токарних верстатах.

В останні роки розроблені різні конструкції вітчизняних автоматів для навивання пружин стиску з підгорнутими опорними витками, із щільними витками, а також пружин із прямими кінцями, розташованими по дотичній до окружності витка.

Пружини з прямими кінцями працюють на крутіння, а за умови відгинання цих кінців у виді причепів можуть працювати і на розтяг.

Навивання пружин на токарних верстатах застосовується в одиничному і дрібносерійному виробництві для матеріалів, що поставляються в будь-якому стані.

Для одержання підгорнутих опорних витків у пружин стиску токарні верстати обладнують спеціальними пристосуваннями. У цьому випадку пружини навивають звичайно у виді заготовок на кілька пружин.

Щоб підвищити точність за формою і розмірами, пружини з особливо м'якого матеріалу (наприклад, із бронзи Брб2) після навивки на оправку з неглибокою спіральною канавкою закріплюють на цій оправці. У такому зафіксованому стані пружини надходять на термічну обробку.

Навивання пружин з початковим натягом (із щільними витками) роблять як на автоматах шляхом простого налагодження, так і на токарних верстатах із застосуванням спеціального пристосування.

Таблиця 11.13. Технічні характеристики автоматів для навивання пружин

Параметри	Моделі		
	A5209	A5214A	55216
Діаметр дроту, що навивається, мм	0,2-0,8	0,8-2,5	1,6-4
Максимальний діаметр пружини, що навивається, по зовнішньому діаметру, мм	20	50	70
Найбільша довжина дроту, що навивається, мм	8600	10000	12100
Продуктивність автомата (максимальна), шт/хв	200	130	121
Потужність електродвигуна, кВт	0,6	2,8	4,0
Габаритні розміри в плані, мм	700X610	110X825	1220X890
Висота автоматів над рівнем підлоги, мм	1100	1340	1380
Маса автомата, т	0,29	0,95	1,6

Автомати для навивання пружин. Автомати для навивання пружин стиску з підгорнутими опорними витками, пружин з постійним чи змінним кроком і заготовок пружин розтягу з щільними витками призначені для виготовлення пружин циліндричної, конічної і бочкоподібної форм правої і лівої навивки з постійним чи змінним кроком. Можлива також навивка довгих спіралей із щільними витками. Технічні характеристики автоматів приведені в табл. 11.13.

Автомати виконують наступні операції: подачу дроту в автомат, змотування з мотка, навивку пружини, утворення кроку і підгорнутих витків, припинення подачі дроту і відрізки навитої пружини.

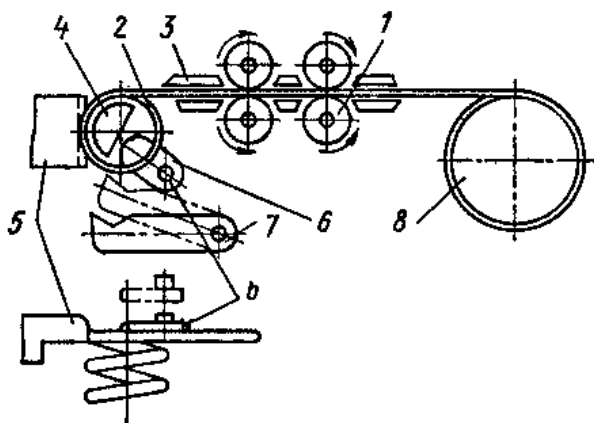


Рис. 11.55. Схема навивки пружин стиску на автоматах.

Дріт, що транспортується подавальними роликками 1 (рис. 11.55) з мотка 8, проходить через систему направляючих планок 3 з відповідними подовжніми прорізами, зустрічає на своєму шляху навивальний палець 5, направляється їм і обгинається навколо нерухокої оправки 4, утворюючи пружину 2, яка, досягаючи, визначеної довжини, сходить з оправки. Після навивки пружини необхідної

довжини подача дроту автоматично припиняється й одночасно включається відрізний механізм, що здійснює відрізок пружини різцем-ножем 7.

Навивка пружини на крок здійснюється кроковим механізмом автомата за допомогою крокового штифта 6, що здійснює поступальний рух щодо осі пружини, яка навивається.

В окремих випадках керування механізмами верстатів для навивання пружин здійснюється за допомогою системи програмного керування. Дрібні пружини з дроту діаметром 0,4 мм можуть бути отримані на автоматі П-63-175, що призначений для виготовлення пружин з міжвитковим тиском з відігнутими зачепами, розгорнутими один щодо іншого на 90° .

Шліфування торців пружин стиску, відгинання й оформлення кінців пружин розтягу. У технологічному процесі виготовлення точних пружин передбачають звичайно операції шліфування торців: попередня - до термічної обробки і стабілізації, і остаточна - після стабілізації. Попереднє шліфування проводять для створення

опорної поверхні пружин для їхнього стиску при наступній операції стабілізації. Остаточне шліфування торців відстабілізованих пружин забезпечує перпендикулярність торців осі пружини і витримує її висоту в межах заданих допусків, компенсуючи при цьому нерівномірність зміни висоти пружин після термічної обробки.

Існують два принципово відмінних методи шліфування торців пружин: шліфування абразивними колами - для пружин підвищеної і високої твердості; електрохімічне шліфування - для пружин малої твердості, при якому процес зняття металу проводиться практично при нульовому зусиллі.

Принципова схема процесу електрохімічного шліфування пружин показана на рис. 11.56. Основні технічні дані цього процесу наступні:

Напруга робочого струму, В	5-12
Щільність струму, А/см ²	30-60
Електроліт	15 %-й водяний розчин NaCl
Витрата електроліту, л/хв.	5-12
Кругова швидкість електрода-інструмента, м/с	25
Частота обертання оброблюваної деталі, об/хв.	80-120
Подача оброблюваної деталі на електрод-інструмент, мм/хв.	0,5-1

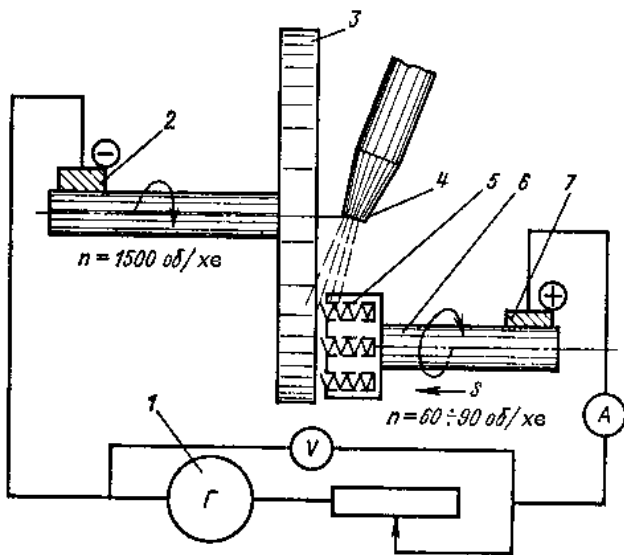


Рис. 11.56. Принципова схема електрохімічного шліфування торцевих поверхонь пружин: 1 – генератор постійного струму; 2, 7 – щітки; 3 – електрод-інструмент (катод); 4 – електроліт; 5 – оброблювана деталь (анод); 6 – пристосування; S – подача виробу.

Ефективність: 1) зменшення шорсткості, відхилення від площинності і перпендикулярності опорних поверхонь пружин; 2) можливість механізації ручної праці і підвищення продуктивності обробки. Відгинання кінців пружин розтягу проводять звичайно до зміцнюючої термічної обробки з урахуванням повороту відігнутих кінців після неї.

Для пружин з патентованого дроту, коли величина розсіювання кута повороту кінців більше 1/2 заданого допуску, операція відгинання кінців може бути здійснена після відпуску, але при обов'язковому повторному відпуску після згинання. Температура

при повторному відпуску повинна бути нижча на 5-8%, чим при першому відпуску, щоб уникнути додаткового повороту площин відігнутих кінців.

Відгинання й оформлення кінців здійснюють у спеціальних пристосуваннях, штампами і слюсарними інструментами.

Термічна обробка пружин. Термічна обробка пружин усіх видів необхідна для підвищення зміцнюючих характеристик матеріалу:

пружини з патентованого чи іншого загартованого дроту піддають тільки відпуску для зняття внутрішніх напружень і підвищення межі пружності матеріалу;

пружини, які навивають із дроту в зм'якшеному стані (50ХФА, 30Х13, 65С2ВА й ін.), проходять загартування з наступним відпуском; для пружин із сплавів, що дисперсійно-твердіють, зміцнюючою обробкою є процес дисперсійного твердіння.

Конкретні режими термообробки встановлюються технічними умовами на матеріал. Щоб зменшити короблення, відпуск пружин іноді проводять на спеціальних гладких оправках чи оправках із спіральними канавками, крок яких відповідає кроку навивання пружин.

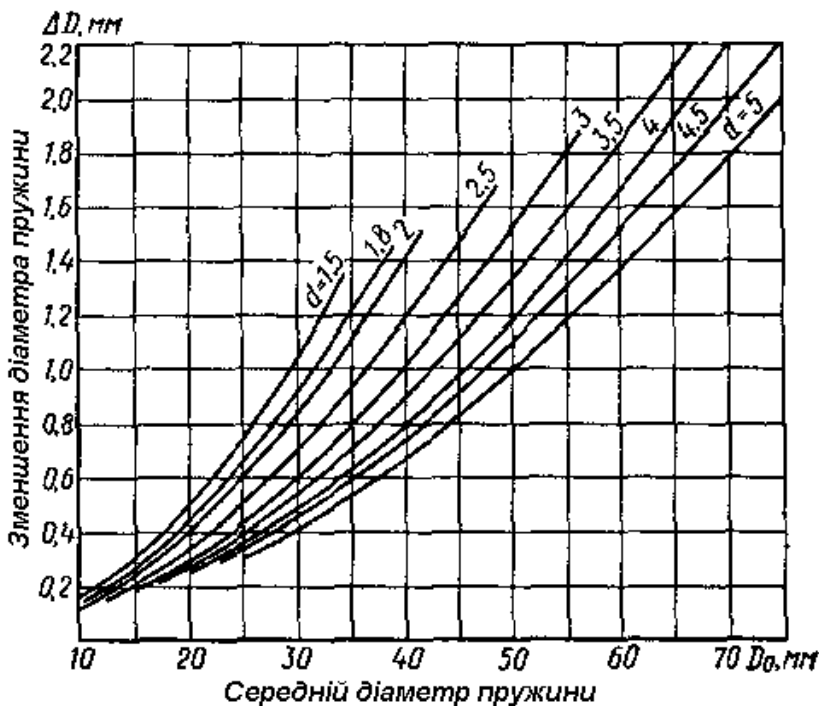


Рис. 11.57. Залежність зменшення діаметра ΔD пружини з дроту діаметром d після відпуску в муфельній печі протягом 20 хв при температурі 300°C від середнього діаметра пружини D_0 .

Зменшення діаметра пружин (ΔD) при термічній обробці (відпуску) визначають по діаграмі рис. 11.57.

Виправлення пружин. Виправлення пружин необхідне в тому

розміри пружин, виготовлених з патентованого дроту змінюються при термічній обробці (відпуску): діаметр пружин зменшується, а число витків збільшується. Ці зміни досить закономірні (систематичні), і їх необхідно попередньо розрахувати і передбачити при розробці технологічного процесу.

Зменшення діаметра пружин (ΔD) при термічній обробці (відпуску) визначають по діаграмі рис. 11.57.

випадку, коли величина поля розсіювання розмірів і форми пружин, одержуваних при навивці, перевищує задані допуски.

Процес виправлення пружин повинний передувати термічній обробці, при якій знімаються чи зменшуються внутрішні залишкові напруження, утворені в результаті пластичної деформації.

Пластична деформація при виправленні пружин повинна проводитись в тому напрямку, у якому працюють пружини. Пружини стиску доцільно правити обтисненням, а пружини, що працюють на розтяг - розтяганням. Така операція аналогічна операції стабілізації пружин, але не виключає останню.

Доведення пружин по характеристиці. Доведення пружин по характеристиці застосовують для пружин першого класу, коли сумарне розсіювання зусилля більше заданого допуску.

Сутність доведення пружин полягає в тому, що пружини підганяють з більшого зусилля до заданого шляхом зміни якого-небудь параметра, при цьому характеристика безпосередньо контролюється на спеціальних приладах.

Доведення пружин стиску з характеристикою першого виду здійснюються шліфуванням торців за рахунок зняття припуску на довжину пружини і запасних підгорнутих крайніх витків.

Пружини розтягу доводяться шляхом розтягу їх таким зусиллям, при якому з'являється пластична деформація, що збільшує довжину пружини чи зменшує початковий контактний тиск, якщо витки навиті щільно. Ця операція пластичної деформації повинна проводитися за допомогою спеціальних приладів при обов'язковому контролі ступеня перевантаження пружини з одночасним контролем фактичного осьового зусилля після його зменшення. Пружини стиску і розтягу з характеристикою другого виду доводяться шляхом зменшення діаметра дроту, наприклад електрополіруванням, що продовжується до моменту одержання заданої характеристики.

Захисне покриття пружин. Пружна характеристика пружин, покритих захисним шаром, може збільшуватися чи зменшуватися в залежності від товщини захисного шару і ступеня зменшення діаметра дроту в результаті підготовки її поверхні травленням.

При виробництві пружин першого класу точності підготовку поверхні доцільно поєднати з доведенням характеристики електрополіруванням.

Стабілізація пружин. Операція стабілізації вводиться в технологічний маршрут для попередження залишкових (необоротних) де-

формацій пружин в експлуатаційних умовах.

Коли залишкова деформація чи зміна зусилля пружин при стабілізації більше заданих допусків на висоту чи зусилля, у технологічному процесі повинні бути передбачені дві операції стабілізації - основна і повторна.

Основну стабілізацію проводять перед остаточним шліфуванням торців і доведенням пружин по пружній характеристиці для того, щоб компенсувати похибку висоти пружин при остаточному шліфуванні, коли ця похибка викликається нестабільністю величин залишкової деформації при стабілізації.

Режим основної стабілізації складається в навантаженні пружин зусиллям, що перевищує максимальне експлуатаційне навантаження на 10-20%, і витримуванні протягом 2 годин при температурі вищій, ніж плюсова температура експлуатації на 10-50%.

Операцію повторної стабілізації необхідно проводити при температурах і перевантаженнях, менших, чим при попередній стабілізації, але не менших, чим в умовах експлуатації.

Режим повторної стабілізації складається в навантаженні пружин зусиллям, що перевищує максимальне експлуатаційне навантаження на 5-10%, і витримуванні протягом 2 год при температурі вищій, ніж плюсова температура експлуатації на 10-50%.

Ціль повторної стабілізації - забезпечення первісної довжини чи осьового зусилля, що були отримані після основної стабілізації (для пружин розтягу) чи після остаточного шліфування торців (для пружин стиску) і змінилися в результаті наступних операцій.

Особливо значна зміна довжини пружин відбувається при їх нагріванні у вільному стані під час зневоднення, проведеного після захисного покриття, наприклад кадмування. У цьому випадку остаточна стабілізація виконує роль операції контролю й випробування готових пружин на міцність і наявність водневої крихкості.

Якщо залишкова деформація чи зменшення зусилля пружин після стабілізації менше заданих допусків на висоту чи зусилля, то замість основної і повторної стабілізації доцільно ввести одну основну стабілізацію після операції покриття.

11.8.4. ПЛОСКІ ПРУЖИНИ

Пружні характеристики пружин. У залежності від функцій, що виконують пружини у виробах, їх пружна характеристика повин-

на бути задана в технічних умовах одним із двох видів (рис. 11.58).

1. Для пружин, що виконують силові функції, наприклад забезпечення заданого контактного тиску релейних механізмів, пружна характеристика повинна бути задана у виді зусилля $P \pm \Delta P_j$ на заданій постійній відстані H від бази закладення (рис. 11.58, а). У цьому випадку похибка зусилля залежить як від похибки твердості j пружини, так і від похибки її базування $\Delta H = \Delta f$.

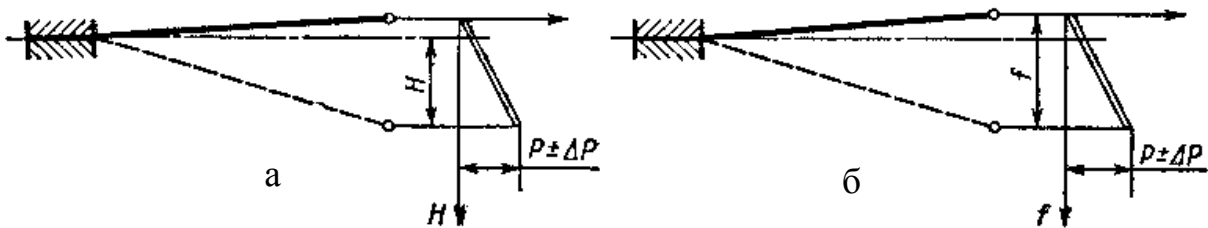


Рис. 11.58. Види пружних характеристик плоских пружин: а – перший вид – зусилля $P \pm \Delta P$ на заданій відстані H від бази закладення; б – другий вид – зусилля $P \pm \Delta P$ при постійному пружному прогині f (стріла прогину).

2. Для вимірювальних пружин, коли важливо забезпечити твердість у заданих межах (наприклад пружини датчиків лінійних прискорень) пружна характеристика повинна бути задана в технічних вимогах у виді зусилля $P \pm \Delta P_j$ при заданому постійному прогині f (рис. 11.58, б). Допуски на пружну характеристику пружин можуть бути задані або на зусилля при постійному прогині f чи відстані до бази кріплення H , як показано на рис. 11.58, а, або на f чи H при постійному значенні зусилля P .

Розрахунок похибок пружин при виготовленні. Розрахунок середнього значення зусилля здійснюють виходячи із середніх значень параметрів пружин:

$$P = \frac{C}{12} \cdot \frac{bh^3Ef}{l^3}, \quad (11.1)$$

де P - середнє зусилля, створюване пружиною; f - пружний прогин пружини; b, h, l - середні значення ширини, товщини і довжини пружини;

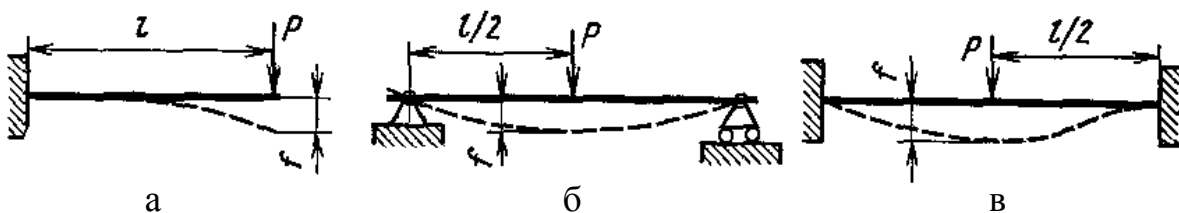


Рис. 11.59. Значення коефіцієнтів C в залежності від способів закладення пружин: а – 3; б – 48; в – 192.

жини; E - модуль пружності матеріалу; C - коефіцієнт, що залежить від способу закладення і точки прикладання зусилля (рис. 11.59).

Розрахунок відхилень окремих параметрів пружин здійснюється по наступним формулах, отриманим з основного виразу (11.1),

$$\frac{\Delta P_h}{P} = \frac{3\Delta h}{h}; \quad (11.2)$$

$$\frac{\Delta P_b}{P} = \frac{\Delta b}{b}; \quad (11.3)$$

$$\frac{\Delta P_l}{P} = \frac{3\Delta l}{l}; \quad (11.4)$$

$$\frac{\Delta P_E}{P} = \frac{\Delta E}{E}; \quad (11.5)$$

$$\frac{\Delta P_f}{P} = \frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta H}{f}. \quad (11.6)$$

Сумарні похибки зусилля пружин залежать від видів пружних характеристик пружин (рис. 11.58).

Для силових пружин (рис. 11.58, а) сумарна відносна похибка зусилля пружин ΔP_Σ

$$\frac{\Delta P_\Sigma}{P} \approx \sqrt{\left(\frac{3\Delta h}{h}\right)^2 + \left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2 + \left(\frac{3\Delta l}{l}\right)^2 + \left(\frac{\Delta E}{E}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H}{f}\right)^2}, \quad (11.7)$$

де Δh , Δb , Δl - похибки товщини, ширини і довжини пружини; ΔH - похибка відстані консолі пружини від бази кріплення; ΔE - похибка модуля пружності матеріалу пружини.

Розрахунки показують, що найбільший вплив на похибку пружної характеристики здійснюють відхилення товщини пружини в межах допусків за ГОСТ. Для пружин з характеристикою першого виду істотний вплив здійснює похибка базування пружин. Всі інші складові похибок здійснюють значно менший вплив на сумарну похибку пружної характеристики пружин.

Якщо при виготовленні пружин фактичні відхилення зазначених параметрів будуть у межах встановлених економічно доцільних допусків, то сумарні похибки зусилля для різних типорозмірів пружин відповідно до формули (11.6) будуть знаходитися в межах 30-70 %.

Розсіювання 30 % відноситься до пружин з максимальними габаритними розмірами, що зустрічаються в приладобудуванні; 70 % - відповідно для пружин з мінімальними габаритними розмірами.

Величини допусків на пружні характеристики більшості засто-

совуваних пружин у приладобудуванні складають від 5 до 20%, тобто в 3-7 разів менше, ніж ймовірне поле розсіювання.

Звідси випливає, що при виготовленні плоских пружин не завжди гарантується задана точність їхніх пружних характеристик.

Технологічний процес і способи забезпечення заданої точності пружин по характеристиках. Типовий технологічний процес виготовлення точних плоских пружин складається з наступних основних операцій: вирубка контуру, гнучка, термічна обробка, покриття антикорозійне, стабілізація пружних властивостей, доведення пружної характеристики.

Для вирішення питання забезпечення заданої точності пружної характеристики конкретної пружини необхідно встановити співвідношення між величиною заданого в кресленні допуску на зусилля і величиною поля розсіювання по формулі (11.7).

Якщо заданий допуск на зусилля пружини істотно перевищує розсіювання, необхідно передбачати в технологічному процесі відповідний спосіб, що забезпечує випуск придатних пружин у серійному виробництві. Вибір раціонального способу виготовлення пружин залежить як від конструкції вузла - чуттєвого елемента, у якому працюють пружини, так і від виду пружних характеристик (рис. 11.58).

Так, наприклад, якщо вузол чуттєвого елемента складається з декількох пружин із пружною характеристикою другого виду, доцільно використовувати селективне складання пружин, розсортованих попередньо на групи з визначеним інтервалом по характеристиці.

При наявності тільки однієї пружини у вузлі поле розсіювання пружної характеристики другого виду (рис. 11.58, б) можна зменшити тільки введенням у технологічний маршрут операції доведення цих пружин по твердості за рахунок зменшення їхньої товщини, наприклад електрополіруванням. Для силових пружин з характеристикою першого виду (рис. 11.58, а) процес доведення більш доцільний методом зменшення зусилля пружини за рахунок пластичної деформації (підгинання) у тому ж напрямку, у якому діє робоча пружна деформація. Такий процес підгинання є додатковою операцією, що стабілізує пружні властивості пружин, тобто підвищувальної межі пружності матеріалу за рахунок його зміцнення і створення корисних внутрішніх напружень.

Для реалізації операцій доведення необхідно розрахувати конструкцію пружин так, щоб поле розсіювання пружної характеристики було спрямовано вбік великих зусиль.

11.8.5. КОНТРОЛЬ ПРУЖИН

Пружини піддають контролю як по геометричних розмірах, так і по пружних властивостях.

Геометричні розміри перевіряють універсальними вимірювальними засобами, а також граничними калібрами.

Залишкову деформацію пружин, гістерезис чи пружну післядію контролюють відповідно до технічних вимог до виробу.

Величина залишкової деформації гвинтових пружин визначається як різниця висоти пружин до випробування і після випробування їх у навантаженому стані.

Відносний ступінь зменшення зусилля пружини від зменшення її висоти при випробуванні визначається по формулі

$$\frac{\Delta P_{\Delta H}}{P} = \frac{\Delta H}{\lambda},$$

де $\Delta P_{\Delta H}$ - абсолютне зменшення зусилля пружини від зменшення її висоти ΔH ; P , λ - відповідно робоче навантаження і пружна деформація пружин.

Пружні характеристики гвинтових пружин контролюють за допомогою спеціальних приладів.

11.9. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ

11.9.1. ТЕРМІНИ І ВИЗНАЧЕННЯ

Застосовувані в науці, техніці і виробництві терміни і визначення основних і загальних понять друкованих плат встановлені ДСТ 20406-75 і приведені нижче.

Друкована плата (ДП) - матеріал основи, вирізаний по розміру, що містить необхідні отвори і, щонайменше, один провідний малюнок.

Малюнок друкованої плати - конфігурація провідникового і (чи) діелектричного матеріалів на друкованій платі.

Провідний малюнок - малюнок друкованої плати, утворений провідниковим матеріалом.

Основа друкованої плати - елемент конструкції друкованої плати, на поверхні чи в обсязі якого виконується провідний малюнок.

Матеріал основи друкованої плати (матеріал основи) - матеріал, на якому виконується малюнок друкованої плати.

Заготовка друкованої плати (заготовка) - матеріал основи друкованої плати визначеного розміру, що піддається обробці на усіх виробничих операціях.

Однобічна друкована плата (однобічна плата) - друкована плата, на одній стороні якої виконаний провідний малюнок.

Двостороння друкована плата (двостороння плата) - друкована плата, на обох сторонах якої виконані провідні малюнки і всі необхідні з'єднання.

Багатошарова друкована плата (МПП) - друкована плата, що складається із шарів ізоляційного матеріалу, що чергуються із провідними малюнками на двох і більше шарах, між якими виконані необхідні з'єднання.

Гнучка друкована плата (гнучка плата) - друкована плата, що має гнучку основу.

Об'єднавча друкована плата (об'єднавча плата) - друкована плата, призначена для електричного з'єднання двох чи більш друкованих вузлів.

Друкований провідник - одна провідна смужка в провідному малюнку.

Друкований монтаж - спосіб монтажу, при якому електричні з'єднання елементів електронного вузла, включаючи екрани, виконані за допомогою друкованих провідників.

Друкований елемент - елемент, виготовлений із застосуванням печатки.

Друкована схема - схема, отримана шляхом печатки і містить друковані елементи, провідний малюнок чи їхні комбінації, утворені в попередній конструкції чи приєднані до поверхні загальної основи.

Сторона монтажу друкованої плати (сторона монтажу) - сторона друкованої плати, на якій встановлюються начіпні елементи.

Сторона пайки друкованої плати (сторона пайки) - сторона друкованої плати, на якій здійснюється пайка виходів начіпних елементів.

Провідний шар друкованої плати (провідний шар) - провідний малюнок, що лежить в одній площині.

Міжшарове з'єднання - ділянка провідникового матеріалу, що входить у малюнок друкованої плати, призначена для електричного з'єднання провідних малюнків на різних шарах чи сторонах друкованої плати.

Перемичка друкованої плати (перемичка) - відрізок провідникового матеріалу, що не входить у малюнок друкованої плати й за-

безпечуючий електричне з'єднання між двома точками провідного малюнка на одній стороні друкованої плати.

Ширина друкованого провідника - поперечний розмір друкованого провідника в будь-якій його точці.

Відстань між провідниками друкованої плати (відстань між провідниками) - відстань між краями сусідніх провідників на одному шарі друкованої плати.

Вільне місце друкованої плати (вільне місце) - ділянка друкованої плати, де елементи провідного малюнка і відстань між ними можуть бути виконані номінальної величини.

Вузьке місце друкованої плати (вузьке місце) - ділянка друкованої плати, де елементи провідного малюнка і відстані між ними можуть бути виконані тільки з мінімально припустимими значеннями.

Контактна площадка друкованої плати (контактна площадка) - частина провідного малюнка, використовувана для з'єднання чи приєднання елементів радіоелектронної апаратури.

Гарантійний пасок контактної площадки (гарантійний пасок) - мінімально припустима ширина контактної площадки отвору друкованої плати у вузькому місці.

Друкований контакт - ділянка провідного малюнка, виступає у якості однієї частини контактної системи.

Металізований отвір друкованої плати (металізований отвір) - отвір у друкованій платі з обложеним на стінках провідниковим матеріалом.

Монтажний отвір друкованої плати - отвір, використовуваний для з'єднання виходів начіпних елементів із друкованою платою, а також для будь-якого електричного приєднання до провідного малюнку.

Кріпильний отвір друкованої плати (кріпильний отвір) - отвір, використовуваний для механічного кріплення друкованої плати на шасі чи для механічного кріплення елементів до друкованої плати.

Фіксуєчий отвір друкованої плати (фіксуєчий отвір) - отвір у друкованій платі, призначений для точного розташування його в процесі обробки.

Орієнтуєчий паз друкованої плати - паз на краю друкованої плати, використовуваний для правильного встановлення й її орієнтації.

Товщина друкованої плати (товщина плати) - товщина матеріалу основи друкованої плати, включаючи провідний малюнок чи малюнки.

Сумарна товщина друкованої плати, (сумарна товщина плати) - товщина друкованої плати і додаткове хімічне чи гальванічне пок-

риття, що є складовою частиною друкованої плати.

Тест-купон - частина заготовки друкованої плати, що служить для оцінки якості виготовлення друкованої плати, що пройшла з нею всі технологічні операції і відокремлювана перед випробуваннями.

Оригінал малюнка друкованої плати (оригінал) - зображення малюнка друкованої плати, виконане з необхідною точністю в заданому масштабі.

Фотошаблон малюнка друкованої плати (фотошаблон) - інструмент, використовуваний для копіювання наявного на ньому зображення за допомогою світла.

Координатна сітка креслення друкованої плати (координатна сітка) - сітка, що визначає положення елементів малюнка друкованої плати в прямокутній чи полярній системі координат.

Груповий фотошаблон - фотошаблон малюнка друкованої плати, на якому виконано не менше двох малюнків друкованої плати в масштабі 1:1.

Вигин друкованої плати (вигин) - деформація, що характеризується циліндричним чи сферичним скривленнями основи друкованої плати.

Маркірування друкованої плати (маркірування) - сукупність знаків і символів на друкованій платі.

Фольгований матеріал - матеріал основи друкованої плати, що має з однієї чи двох сторін провідну фольгу.

Прокладочна склотканина (склотканина) - листовий матеріал, просочений смолою в стадії В.

Субтрактивний процес - процес одержання провідних малюнків, що полягає у виборчому видаленні ділянок провідної фольги.

Адитивний процес - процес одержання провідних малюнків, що полягає у виборчому осадженні провідникового матеріалу на нефольгований матеріал основи.

Показник травлення - відношення глибини травлення до бічного підтравлювання.

Осадження - процес, що полягає в хімічному чи електрохімічному нанесенні металу на всю чи частину поверхні основи і (чи) провідного малюнка.

Травлення діелектрика - контрольоване хімічне розчинення матеріалу основи.

Резист - покриття, діелектричне чи металеве, використовуване як захист при виконанні наступних операцій.

Резистивна маска для знелужування - теплостійке покриття, на-

несене вибірково для захисту окремих ділянок друкованої плати в процесі знелужування і пайки.

Клеюча прокладка (прокладка) - лист прокладочної склотканини чи іншого матеріалу, що володіє відповідними адгезійними властивостями і використовується для склеювання окремих друкованих плат при утворенні багатошарової друкованої плати.

Провідна фольга (фольга) - листовий провідниковий матеріал, призначений для утворення провідного малюнка друкованої плати.

Міцність на відрив - зусилля на одиницю площі, перпендикулярне до поверхні друкованої плати і необхідне для відділення контактної площадки чи ділянки провідника від матеріалу основи.

Міцність на відшаровування - зусилля на одиницю ширини, необхідне для відділення фольги чи частини провідного малюнка від матеріалу основи.

Сіткографія - процес переносу зображення на основу шляхом продавлювання фарби через сітчастий трафарет за допомогою ракеля.

Сполучення - ступінь відповідності розташування малюнків на протилежних сторонах друкованої плати чи різних шарах.

Коротку форму окремих стандартизованих термінів дозволяється застосовувати у випадках, що виключають можливість їхнього різного тлумачення. Приведені визначення можна, при необхідності, змінювати за формою викладу, не допускаючи порушення границь понять.

11.9.2. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДРУКОВАНИХ ПЛАТ

Друкований монтаж, використовуваний у радіоапаратурі, підвищує її надійність і забезпечує повторюваність параметрів плат, сприяє механізації й автоматизації виробничих процесів. Для більш повної реалізації переваг друкованого монтажу при розробці друкованих плат треба дотримуватись наступних рекомендацій; передбачати в конструкції виробу малогабаритні друковані плати; зменшувати із збільшенням габаритів плат щільність провідного малюнка.

По щільності провідного малюнка друковані плати підрозділяються на 3 класи: А - друковані плати з мінімально припустимою шириною провідника і мінімальною відстанню між елементами провідного малюнка 0,5 мм; Б - 0,3 мм; У - 0,2 мм. Розробка друкованих плат повинна здійснюватись з урахуванням рівня технологічного забезпечення.

Багатошарові друковані плати застосовуються для з'єднань між виходами встановлюваних на них начіпних радіоелементів (переважно багатовихідних) тільки тоді, коли з'єднання неможливо виконати на двосторонніх платах з підвищеною щільністю монтажу (клас В) чи коли ці плати не задовольняють вимогам електричної схеми чи конструкції.

На етапі ескізного компоновання радіоапаратури, у процесі якої визначаються основні габарити і типорозміри плат і необхідна для даного виробу щільність провідного малюнка, вибирають метод виготовлення плат. При виборі методу враховують електричні параметри схеми, елементну базу, кліматичні умови, механічні вимоги, пропонувані до конструкції, забезпечення необхідної надійності в різних умовах експлуатації.

При створенні нових виробів радіоелектронної апаратури рекомендуються наступні способи виготовлення друкованих плат: а) комбінований позитивний для двосторонніх друкованих плат; б) хімічний для однобічних і двосторонніх друкованих плат; в) металізація наскрізних отворів для багатошарових друкованих плат.

Електричні характеристики друкованих плат. Щільність струму в друкованому провіднику не повинна перевищувати 20 А/мм^3 для одно- і двосторонніх друкованих плат, зовнішніх шарів і 15 А/мм^2 для внутрішніх шарів.

Загальні вимоги до конструювання друкованих плат. При розробці конструкції виробу необхідно обмежувати кількість типорозмірів друкованих плат. При розробці друкованих плат керуються наступними конструктивно-технологічними вимогами.

1. Конфігурація плати повинна бути прямокутної форми. Інша конфігурація плат використовується тільки при необхідності й у технічно обґрунтованих випадках.

2. Плати всіх розмірів рекомендується виконувати з щільністю провідного малюнка, що відповідає класу А. Щільність провідного малюнка, що відповідає класу Б, варто застосовувати на малогабаритних платах (до 120×180 мм) і тільки в технічно-виправданих випадках на середньогабаритних платах (до 200×240 мм). Великогабаритні плати (до 470×470 мм) варто виконувати тільки по класу А.

3. Рекомендується товщини плат: 0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 і 3,0 мм. Товщина плат вибирається з урахуванням способу виготовлення виходячи з механічних і електричних вимог, пропонуваних до конструкції виробу. Товщина плати забезпечується для одно- і двосторонніх

плат підбором матеріалу по відповідним технічним умовам і ГОСТ; для багат шарових друкованих плат підбором товщин матеріалів друкованих шарів і товщини прокладок для склеювання.

4. Центри отворів повинні розташовуватися у вузлах координатної сітки. Центри отворів для багатоконтактних начіпних елементів, виходи яких не підлягають додатковому формуванню і не кратні кроку координатної сітки, розташовують за наступними правилами: якщо в начіпному елементі є два чи більш виходів, відстані між якими кратні кроку координатної сітки, то центри отворів під ці виходи обов'язково розташовують у вузлах сітки; якщо в елементі немає виходів, відстані між якими кратні кроку координатної сітки, то у вузлі сітки розташовують центр отвору, прийнятого за основний, а центр одного з інших отворів розташовують на вертикальній чи горизонтальній лінії координатної сітки.

Діаметри монтажних і перехідних неметалізованих отворів вибирають у залежності від діаметрів виходів начіпних елементів, встановлюваних у ці отвори, металізованих отворів у залежності від діаметра виходів і товщини плати, у якій виконуються отвори відповідно до табл. 11.14.

Величина фаски, одержувана при зенкуванні монтажних і перехідних отворів, визначається обраним способом виготовлення друкованих плат. На платах (шарах) товщиною менше 0,8 мм зенкування не здійснюють; гострі краї отворів притупляють. Отвори всіх діаметрів на платах товщиною 0,8-1,2 мм виготовляють з кутом зенкування 100-125°, а на платах товщиною від 1,2 мм і більш з кутом не менше 70°.

Відстань між центрами отворів на платах необхідно витримувати з допуском не більш $\pm 0,2$ мм, а між центрами взаємозалежних отворів під багатовивідні начіпні елементи і під умови автоматизованої установки радіоелементів не більше $\pm 0,1$ мм. Отвори на платі повинні розташовуватися таким чином, щоб відстань між краями отворів (без врахування фаски) була не менше товщини плати.

Металізовані отвори на двосторонніх платах, а також на зовнішніх шарах МПП із боку фольги повинні мати контактні площадки і розташовуватися в її зоні. Контактні площадки виконуються круглої, прямокутної чи близької до них форми. Мінімально припустимі розміри контактних площадок для отворів із зенкуванням:

$$d_k = d_z + C + 2b,$$

де d_k - діаметр контактної площадки; d_z - діаметр зенкування; C - су-

марний коефіцієнт, що враховує зміну діаметрів отворів, контактних площадок, міжцентрової відстані і зсув шарів у процесі виготовлення плати; b - ширина контактної площадки (гарантійний пасок).

Таблиця 11.14. Рекомендовані діаметри монтажних і перехідних отворів у залежності від діаметрів виходів радіоелементів і товщини плати

Діаметр виходу націпного елемента, мм	Номінальний діаметр, мм, отворів		Номінальна товщина плати, мм	Діаметр виходу націпного елемента, мм	Номінальний діаметр, мм, отворів		Номінальна товщина плати, мм
	неметалізованих	металізованих			неметалізованих	металізованих	
0,4	0,6	0,6	1,2	1,0	1,3	1,5	3,0
0,5	-	0,8	1,6	1,2	1,5	1,8	3,0
0,6	0,8	-	-	1,5	1,8	2,0	3,0
0,7	-	1,0	2,0	1,7	2,0	-	-
0,8	1,0	1,3	2,5				

Примітки. 1. Відношення рекомендованого діаметра металізованого отвору до номінальної товщини плати 1:2. 2. На одній платі застосовувати більше трьох різних діаметрів монтажних і перехідних отворів не рекомендується.

Величину C вибирають у залежності від способу виготовлення плат і допуску на міжцентрові відстані: допуску $\pm 0,1$ мм відповідає коефіцієнт C_1 ; допуску $\pm 0,2$ мм – C_2 (табл. 11.14).

Друковані провідники виконують довільної конфігурації, але номінальної ширини по всій довжині. Для проходження вузького місця провідник звужують до мінімально припустимих значень на можливо меншій довжині. Взаємне розташування провідників не регламентується, але варто враховувати рівномірність розподілу провідника по площі плати і неприпустимість розміщення його на мінімальній відстані від інших друкованих елементів, якщо відстань може бути збільшено.

На одно- і двосторонніх платах і у всіх шарах МПП необхідно витримувати відстань між краєм провідника, контактної площадки, екрана і краєм плати (у тому числі краєм неметалізованого отвору, паза, вирізу і т.п.), рівній номінальній товщині плати з урахуванням допуску на її габарит.

Екрани як зовнішніх, так і внутрішніх шарів виконуються з вирі-

зами, що можуть мати форму щілеподібну, прямокутну, овалу, кола чи сітки. Площа вирізів повинна бути не менше 50 % загальної площі екранів.

Навколо отвору, електрично пов'язаного з екранами, виконуються два-чотири окремих вирізи у формі сектора на відстані 1,0-1,5 мм від крайки чи зенковки, а навколо отвору, електрично не пов'язаного з екраном, виконується кільцевий виріз на ту ж відстань до крайки чи зенковки отвору.

Застосовувані типорозміри друкованих плат і кроки координатної сітки регламентуються. Встановлені 3 кроки координатної сітки - 0,5; 1,25 і 2,5 мм. Розміри кожної сторони друкованої плати при довжині до 100 мм повинні бути кратні 2,5 мм; при довжині до 350 мм - 5,0 мм; при довжині більш 350 мм - 10,0 мм; максимальний розмір кожної із сторін не повинний бути більшим 470 мм.

11.9.3. МАТЕРІАЛИ, ЗАСТОСОВУВАНІ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ

Для виготовлення друкованих плат застосовуються в основному фольговані діелектрики (табл. 11.15), що являють собою шаруваті пресовані пластики, виготовлені з паперу (гетинакс) і склотканини (склотекстоліт), просочені штучною смолою й облицьовані з однієї чи двох сторін мідною електролітичною оксидованою фольгою.

Таблиця 11.15. Фольговані діелектрики для одно- і двосторонніх друкованих плат (ГОСТ 10316-78)

Марка	Товщина, мм	Характеристика матеріалу
ГФ-1-35	1,0-3,0	Гетинакс, облицьований з однієї сторони мідною електролітичною фольгою товщиною 35 мкм
ГФ-1-35Г		Гетинакс, облицьований з однієї сторони гальваностійкою фольгою товщиною 35 мкм
ГФ-2-35		Гетинакс, облицьований із двох сторін мідною електролітичною фольгою товщиною 35 мкм
ГФ-2-35Г		Гетинакс, облицьований із двох сторін гальваностійкою фольгою товщиною 35 мкм
ГФ-1-50		Гетинакс, облицьований з однієї сторони мідною електролітичною фольгою товщиною 50 мкм
ГФ-1-50Г		Гетинакс, облицьований з однієї сторони гальваностійкою фольгою товщиною 35 мкм
ГФ-2-50		Гетинакс, облицьований із двох сторін мідною електролітичною фольгою товщиною 50 мкм
ГФ-2-50Г		Гетинакс, облицьований із двох сторін гальваностійкою фольгою товщиною 50 мкм

Продовження табл.11.15

СФ-1-35	0,5-3,0	Склотекстоліт, облицьований з однієї сторони мідною електролітичною фольгою товщиною 35 мкм
СФ-1-35Г		Склотекстоліт, облицьований з однієї сторони гальваностійкою фольгою товщиною 35 мкм
СФ-2-35		Склотекстоліт, облицьований із двох сторін мідною електролітичною фольгою товщиною 35 мкм
СФ-2-35Г		Склотекстоліт, облицьований із двох сторін гальваностійкою фольгою товщиною 35 мкм
СФ-1-50	0,5-3,0	Склотекстоліт, облицьований з однієї сторони мідною електролітичною фольгою товщиною 50 мкм
СФ-1-50Г		Склотекстоліт, облицьований з однієї сторони гальваностійкою фольгою товщиною 50 мкм
СФ-2-50		Склотекстоліт, облицьований із двох сторін мідною електролітичною фольгою товщиною 50 мкм
СФ-2-50Г		Склотекстоліт, облицьований із двох сторін гальваностійкою фольгою товщиною 50 мкм
СФ-1Н-50		Склотекстоліт нагрівостійкий, облицьований з однієї сторони мідною електролітичною фольгою товщиною 50 мкм
СФ-1Н-50Г		Склотекстоліт нагрівостійкий, облицьований із двох сторін гальваностійкою фольгою товщиною 50 мкм
СФ-2Н-50		Склотекстоліт нагрівостійкий, облицьований із двох сторін мідною електролітичною фольгою товщиною 50 мкм
СФ-2Н-50М		Склотекстоліт нагрівостійкий, облицьований із двох сторін мідною електролітичною фольгою товщиною 50 мкм
СТФ-1*	0,1-2,5	Склотекстоліт теплостійкий, облицьований з однієї сторони мідною електролітичною фольгою
СТФ-2*	0,25-3,0	Склотекстоліт теплостійкий, облицьований з однієї сторони мідною електролітичною фольгою
* - Виготовляють по ТУ 16-503.161-77		

11.9.4. ЕТАПИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ

Методи виготовлення друкованих плат. Вибір методу виготовлення друкованих плат залежить від їхнього призначення і конструктивно-технологічних вимог.

Основні методи виготовлення одно- і двосторонніх друкованих плат - хімічний, комбінований позитивний і комбінований негативний. Основні методи виготовлення багатошарових друкованих плат - металізації наскрізних отворів і відкритих контактних площадок. Рідше застосовуються методи попарного пресування, виступаючих виходів і пошарового нарощування.

Зазначені методи - субтрактивні процеси, у яких провідний малюнок одержують виборчим видаленням (травленням) ділянок фоль-

ги з діелектричної основи друкованої плати. В адитивних процесах провідний малюнок одержують виборчим осадженням провідникового матеріалу на нефольгований матеріал основи. Порівняльні характеристики субтрактивної і адитивної технології дані в табл. 11.16.

Таблиця 11.16. Порівняльна характеристика процесів виготовлення друкованих плат

Процес	Дозвільна здатність, мм	Переваги	Недоліки
Субтрактивний	0,2-0,3	1. Наявність оснащення для всіх типів виробництва 2. Висока адгезія і пластичність провідників	1. Витрата міді і травників 2. Великий діаметр металізованих отворів ($S \geq 1:2$)
Напівадитивний на фольгованому діелектрику	0,15-0,20	Висока адгезія провідників без використання адгезивів	1. Великий діаметр металізованих отворів ($S \geq 1:2$) 2. Збереження операції травлення
Напівадитивний з хімічною металізацією поверхні	0,15-0,20	Використання нефольгованого матеріалу	1. Необхідність активації і часткової металізації 2. Великий діаметр отворів ($S \geq 1:2$)
Адитивний	0,10-0,15	1. Дешевий матеріал 2. Виключення травлення міді 3. Висока однорідність структури і чистота осадження міді 4. Висока продуктивність і вихід придатних плат 5. Малий діаметр металізованих отворів ($S \leq 1:5$)	1. Низька швидкість осадження міді і складність контролю за процесом металізації 2. Непридатність для дрібносерійного виробництва
Аддитивний безрезистний (типу „фото-форм”)	0,075-0,125	Ті ж, що в адитивного а також: 6. Виключення фоторезистів 7. Зменшення трудомісткості 8. Можливість повної автоматизації 9. Найвища щільність малюнка	Ті ж, що в адитивного

Позначення: S — відношення діаметра до товщини плати.

Сутність методів виготовлення друкованих плат. *Хімічний метод* полягає у виготовленні плат шляхом травлення фольгованого діелектрика без наступної металізації.

Комбінований метод (позитивний і негативний) виготовлення двосторонніх друкованих плат полягає в травленні фольгованого діелектрика з металізацією отворів.

Метод металізації наскрізних отворів полягає у виготовленні внутрішніх шарів МПП хімічним методом з наступним пресуванням їх у монолітну заготовку й у виготовленні зовнішніх шарів комбінованим позитивним методом з одночасною металізацією отворів.

Метод відкритих контактних площадок полягає в одержанні провідного малюнка шарів МПП хімічним методом і пресуванні (склеюванні) друкованих шарів у монолітну заготовку. Зв'язок виходів начіпних радіоелементів з контактними площадками внутрішніх шарів здійснюється через перфоровані вікна вищележачих шарів. Міжшарові з'єднання відсутні.

Метод попарного пресування полягає у виготовленні комбінованим методом двох плат (заготовок) з перехідними металізованими отворами і провідного малюнка на одній із сторін (внутрішній шар) кожної заготовки з наступним пресуванням заготовок із уведенням між внутрішніми шарами ізоляційних прокладок. Провідний малюнок на зовнішніх шарах спресованих заготовок, монтажні отвори і їхню металізацію одержують повторно також комбінованим методом.

Метод виступаючих виходів полягає в одержанні перфорованих заготовок зі склотканини, пресуванні їх із заготовками з фольги, у виготовленні провідного малюнка на цих заготовках (шарах) хімічним методом і наступним пресуванням шарів у багатошарову заготовку. Міжшарові з'єднання відсутні. Виступаючі висновки, що є продовженням провідників, виходять із внутрішніх шарів у перфоровані вікна на зовнішню поверхню плати й утворюють контактні площадки для приєднання до виходів радіоелементів.

Метод пошарового нарощування полягає у виготовленні перфорованих заготовок із склотканини, напресуванні першого шару цієї заготовки на фольгу, в одержанні провідного малюнка на (внутрішньому) шарі, і в послідовному напресуванні діелектричних заготовок з одночасним одержанням провідного малюнка на кожному шарі електрохімічним осадженням міді. Міжшарові з'єднання виконують у виді металізованих переходів у перфораціях діелектрика.

Характеристики методів і особливості технологічних процесів виготовлення одно- і двосторонніх друкованих плат. При комбінованому позитивному методі друковані одно- і двосторонні плати виготовляють на фольгованому діелектрику з металізацією отворів. Спочатку виконуються операції свердління отворів і їхня металізація, а потім травлення міді з пропущених місць.

При нанесенні малюнка схеми захисним шаром покриваються

пропущені місця, а на залишившихся відкритими провідники, контактні площадки й отвори надалі осаджуються гальванічно мідь і захисний шар металу, що охороняє мідь від травлення. У залежності від застосовуваного фоторезисту свердління отворів ведеться до нанесення малюнка схеми чи після. При використанні сухих плівкових фоторезистів свердління отворів і хімічне міднення виконуються до нанесення малюнка. При використанні рідких фоторезистів, нанесених методом занурення, свердління отворів і хімічне міднення виконуються після нанесення малюнка і покриття його лаком. Операція травлення виконується після хімічної і гальванічної металізації. Суцільний шар фольги захищає поверхню діелектрика від впливу агресивних розчинів і забезпечує електричний контакт всіх елементів схеми.

Метод дозволяє виготовляти друковані плати з підвищеною щільністю монтажу, високими електричними параметрами і високою міцністю зчеплення провідників. Він рекомендується при виготовленні друкованих плат для апаратури, що працює в жорстких умовах експлуатації. Метод є кращим при нових розробках.

При *комбінованому негативному методі* виготовляють друковані плати на фольгованому діелектрику з металізацією отворів. Спочатку здійснюють травлення міді з пропущених місць, а потім виконується операція свердління отворів і їхня металізація.

При нанесенні малюнка схеми провідники і контактні площадки покриваються захисним шаром, потім стравлюється фольга з пропущених місць. Після свердління і хімічного міднення отворів проводять гальванічне осадження міді на провідники, контактні площадки й у отвори. Електричне з'єднання всіх елементів схеми здійснюється за допомогою контактуючого пристрою чи технологічних провідників. Для поліпшення пайки друковані плати покриваються сплавом Розе.

Метод дозволяє виготовляти друковані плати з меншою щільністю монтажу. Може бути рекомендований для виготовлення друкованих плат відповідальної апаратури при ретельному відпрацьовуванні процесу і систематичному контролі електричних параметрів друкованих плат.

У випадку хімічного методу виготовляють друковані плати на фольгованому діелектрику шляхом травлення фольги з пропущених місць. Отвори не металізуються.

При нанесенні малюнка схеми провідники і контактні площадки покриваються захисним шаром, після чого стравлюється фольга з пропущених місць. Процес є найбільш простим і дозволяє виготовляти

друковані плати з підвищеною щільністю монтажу, але при цьому не забезпечує високої міцності зчеплення в місцях встановлення виходів елементів через відсутність металізації в отворах. Міцність зчеплення забезпечується розмірами контактних площадок і якістю фольгованого діелектрика. Метод застосовується при виготовленні друкованих плат для апаратури загального застосування. Найбільш доцільний при серійному виробництві одержання малюнка схеми методом сіткографії.

У табл. 11.17 приведена послідовність операцій при виготовленні друкованих плат різними методами, у табл. 11.18 - етапи виготовлення МПП методами металізації наскрізних отворів і відкритих контактних площадок. Типові технологічні процеси підготовки поверхні фольгованого діелектрика ПП, одержання малюнка схеми, травлення міді в заготовках друкованих плат, хімічного і гальванічного міднення провідників, гальванічного осадження сплаву олово-свинець на провідний малюнок і оплавлення гальванічно обложеного сплаву олово-свинець приведені в табл. 11.19-11.27.

Таблиця 11.17. Послідовність операцій при виготовленні друкованих плат різними методами

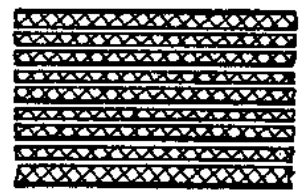
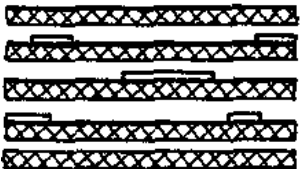
Операції	Метод					
	комбінований позитивний, для ва-риантов		комбінований нега-тивний	хімічний	металізації наскріз-них отворів	відкритих контактних площадок
	I	II				
Виготовлення заготовок і виконання базових отворів	X	X	X	X	X	X
Виготовлення заготовок склотканини					X	
Підготовка поверхні шарів МПП					X	X
Одержання малюнка схеми на шарах МПП					X	X
Травлення міді на шарах МПП					X	X
Видалення захисного малюнка на шарах МПП (роздублювання)					X	X
Нанесення клею						X
Підготовка шарів МПП перед пресуванням					X	X
Пресування МПП					X	X
Нанесення лаку		X	X			
Виконання отворів	X	X	X	X	X	X

Продовження табл.11.17

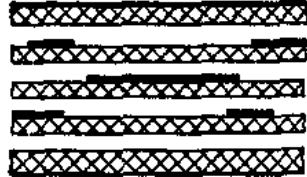

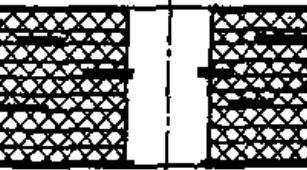
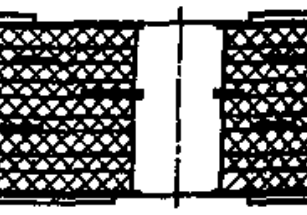
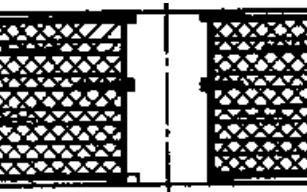


Зенкування		X	X			
Підтравлювання діелектрика в отворах					X	
Підготовка поверхні	X	X	X		X	
Хімічне міднення	X	X	X		X	
Гальванічне міднення (затягування)	X			X		
Видалення лаку		X	X			
Підготовка поверхні	X	X	X		X	
Одержання малюнка схеми	X	X	X	X	X	
Гальванічне міднення	X	X	X		X	
Гальванічне осадження сплаву олово-свинець	X	X			X	X
Видалення захисного малюнка (роздублювання)	X	X	X	X	X	
Травлення міді	X	X	X	X	X	
Оплавлення сплаву олово-свинець	X	X			X	X
Нанесення епоксидної маски				X		
Нанесення сплаву Розе			X	X		
Обрізка контуру, механічна обробка	X	X	X	X	X	X
Маркірування	X	X	X	X	X	X
Контроль на відповідність вимогам ОТУ	X	X	X	X	X	X
Нанесення захисного технологічного покриття	X	X	X		X	X

Примітки: 1. Варіант I комбінованого позитивного методу передбачає нанесення малюнка на друковану плату після свердління і металізації отворів. 2. Варіант II комбінованого позитивного методу передбачає нанесення малюнка на друковану плату і покриття його лаком перед свердлінням отворів. 3. Знаком X позначені використовувані в даному методі операції.


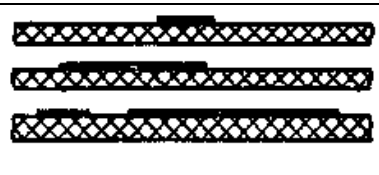
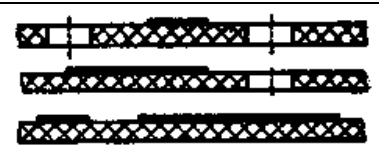

Таблиця 11.18. Етапи виготовлення МПП методами металізації наскрізних отворів і відкритих контактних площадок

Етап	Ескіз
Металізація наскрізних отворів	
Виготовлення заготовок фольгованого діелектрика і склотканини	
Одержання малюнка схеми внутрішніх шарів МПП	

Продовження табл. 11.18

<p>Травлення міді з пропущених місць. Видалення захисного шару малюнка (роздублювання)</p>	
<p>Пресування МПП</p>	
<p>Сверління отворів</p>	
<p>Підтравлювання діелектрика в отворах</p>	
<p>Попереднє гальванічне міднення (затягування)</p>	
<p>Одержання малюнка схеми зовнішніх шарів МПП методом сіткографії</p>	
<p>Гальванічне міднення. Нанесення захисного металевого покриття</p>	
<p>Видалення захисного шару фарби. Травлення міді з пропущених місць. Оплавлення захисного металевого покриття. Механічна обробка МПП. Маркірування. Контроль. Нанесення технологічного захисного покриття</p>	
<p>Відкриті контактні площадки</p>	
<p>Виготовлення заготовок фольгованого діелектрика</p>	

Продовження табл. 11.18

Одержання малюнка схеми МПП	
Травлення міді з пропущених місць. Видалення захисного шару малюнка схеми. Нанесення шаруючи клею на заготовку з боку діелектрика	
Пробивання отворів у шарах	
Пресування шарів МПП із діелектриком (однобічні плати)	
Пресування МПП із діелектриком (двосторонні плати). Знелужування поверхні контактних площадок. Механічна обробка МПП. Маркірування. Контроль. Нанесення захисного покриття	

Таблиця 11.19. Підготовка поверхні фольгованого діелектрика для друкованих плат

Номер переходу	Операція і переходи	Устаткування	Матеріал		Режим	
			Найменування	Зміст компонентів, г/л	Температура, °С	Час, хв
	<i>Механічний спосіб</i> Підготовка поверхні фольгованого діелектрика й отворів					
1	Зачистити поверхні фольги	Модуль механічної підготовки поверхні чи установка гідроабразивного зачищення	Пемза	200-250 об'ємні частки	18-25	-
			Сода кальцинована	1-1,5 об'ємні частки		
			Вода			
			Електрокорунд М-40	1:4		
			Вода			

Продовження табл. 11.19

2	Промити проточною водопровідною водою		-	-	18-25	-
3	Сушити		-	-		-
1	<i>Механічний спосіб (сухий)</i> Підготовка поверхні фольгованого діелектрика.					
	Зачистити поверхня фольги	Установка для зачищення ПП	-	-	-	-
	<i>Хімічний спосіб</i> Підготовка поверхні фольгованого діелектрика					
1	Знежирити поверхню заготовки	Автоматична лінія хімічної підготовки поверхні	1 розчин:		40-60	1,5-2,0
			тринатрійфосфат	30		
			сода кальцинована	30		
			засіб миючий „Прогресс” чи „Синтанол” чи	3-5		
			2 розчин:		18-25	-
			кислота сірчана	100		
			засіб миючий „Синтанол”	3-5		
2	Промити гарячою проточною водою		-	-	50-60	1,5-2,0
3	Промити проточною водопровідною водою		-	-	-	0,5-1,0
4	Декапувати		Кислота соляна	50-100	18-25	10-15 з
5	Промити проточною водопровідною водою		-	-	-	0,5-1,0
6	Обробити в розчині підтравлювання		1 розчин:			
			ангідрид хромовий	150-200	18-25	
			кислота сірчана	20-30		
			чи 2 розчин			
			амоній надсірчано-кислий	200-250		
			кислота сірчана	10-20	-	2-3

Закінчення табл. 11.19

7	Промити проточною водопровідною водою					
8	Декапувати		Кислота соляна	50-100	18-25	2-3
9	Промити проточною водопровідною водою		-	-	-	1-2
10	Сушити		-	-	-	До висихання

Примітки: 1. При виготовленні МПП металізацією наскрізних отворів для очищення отворів і поверхні фольги застосовується установка гідроабразивного зачищення. 2. При підготовці отворів МПП під металізацію після гідроабразивної обробки поверхня діелектрика підтрапляється в суміші кислот сірчаної і плавикової, узятих у співвідношенні 5:1. 3. При виготовленні двосторонніх ПП комбінованим позитивним методом з попереднім свердлінням отворів і МПП для зняття заусениць застосовується спеціальна установка. 4. При виготовленні однібічних ПП для обробки поверхні застосовується сухе зачищення на установці із шліфувальними кругами (утримуючими абразивний матеріал). Установка дозволяє зачищати фольгу після нанесення епоксидної маски перед пайкою. 5. При наявності оксидного шару на поверхні фольгованих матеріалів до операції зачищення механічним способом проводиться декапування поверхні в розчині соляної кислоти з наступним промиванням проточною водопровідною водою. 6. Хімічний метод підготовки поверхні застосовується для всіх методів виготовлення друкованих плат, якщо не потрібно спеціальної механічної підготовки поверхні фольги (видалення клейових плям, зняття заусениць з отворів і т.п.).

Таблиця 11.20. Одержання малюнка схеми з використанням сухого плівкового фоторезисту СПФ-2

Операція і переходи	Устаткування	Матеріал	Режим	
			Температура, °C	Час, хв
<i>Одержання зображення</i>				
1. Підготовка поверхні заготовок (див. табл. 11.21.)	-	-	-	-
2. Нанести на поверхню заготовки фоторезист (швидкість нанесення 0,6-1,0 м/хв)	Установка для нанесення плівкового фоторезисту	Фоторезист СПФ-2	110-120	-
3. Витримати заготовку	Шафа витяжна	-	18-25	15-30
4. Експонувати зображення малюнка схеми	Установка експонування	-	-	0,5-1,5
5. Витримати заготовку	Шафа витяжна	-	18-25	15-30
6. Видалити захисну лавсанову плівку	-	-	-	-

Закінчення табл. 11.20

7. Проявити зображення	Установка прояву плівкового фоторезисту з установкою очищення розчину	Метилхлороформ	18-25	-
8. Промити в розчиннику		Те ж	18-25	-
9. Промити проточною водопровідною водою	-	-	-	-
10. Сушити	Шафа витяжна	-	18-25	До висихання
<i>Видалення фоторезисту</i>				
1. Видалити фоторезист після травлення чи гальванічного осадження захисного покриття типу ПОС	Установка зняття плівкового фоторезисту	Метилен хлористий	-	1-3
2. Промити в розчиннику		Те ж	-	-
3. Промити проточною водопровідною водою		-	-	-
4. Сушити стисненим повітрям	-	-	-	-
Примітки: 1. При виготовленні друкованих плат комбінованим позитивним методом з попереднім свердлінням і металізацією отворів використовуються сухі плівкові фоторезисти типу СПФ-2 і фарби типу СТЗ-12, СТ-13, нанесені методом сіткографії. 2. При виготовленні комбінованим негативним і комбінованої позитивним методами з попереднім нанесенням малюнка використовуються фоторезисти типу ФПП, ФП-383 на основі полівінілового спирту (ПВС марки Р/2), фарба ТНПФ. 3. При виготовленні друкованих плат, у тому числі шарів МПП хімічним методом використовуються фарби ТНПФ і СТЗ-2, нанесені сіткографією і фоторезисти рідкі ФПП, ПВС і ін.				

Таблиця 11.21. Одержання малюнка схеми з використанням фоторезисту ФПП

Операція і переходи	Устаткування	Матеріал		Режим	
		Найменування	Зміст компонентів, г/л	Температура, °С	Час, хв
<i>Одержання зображення</i>					
1. Підготовка поверхні заготовки	-	-	-	-	-
2. Нанесення фоторезисту на заготовку. Швидкість витягування – 1,5-2,5 м/хв. Наносити два шари з проміжним сушінням	Установка для нанесення фоторезисту методом витягування чи установка для валкового нанесення	Розчин світлочутливий марки ФПП Спирт етиловий	-	18-25	-

Закінчення табл. 11.21

3. Експонувати зображення малюнка схеми	Установка експонування	-	-	-	2-8
4. Проявити зображення	Установка травлення	Натрій двовуглекислий	20-30	35-40	2-3
5. Промити проточною водопровідною водою		-	-	-	1-2
6. Сушити	Шафа витяжна	-	-	18-25	До висихання
<i>Видалення фоторезисту</i>					
1. Видалити захисний шар фоторезисту	Установка травлення	Натр їдкий	40	40-50	5-15
2. Промити проточною гарячою водою		-	-	50-60	-
3. Промити проточною холодною водою		-	-	18-25	-
4. Сушити		-	-	18-25	-

Таблиця 11.22. Одержання малюнка схеми методом сіткографії

Операція і переходи	Устаткування	Матеріал		Режим	
		Найменування	Зміст компонентів, г/л	Температура, °C	Час, хв
<i>Нанесення зображення</i>					
1. Нанести малюнок схеми на заготовку	Автомат сіткографічного друку чи сіткографічний верстат для двостороннього друку	Фарба для трафаретного друку серії ТНПФ, фарба друкована трафаретна СТЗ-12	-	-	-
2. Сушити заготовку	Автоматизована лінія сушіння чи піч сушильна	-	-	70-80	30-40
		Фарби ТНПФ и СТЗ-12	-	18-25	4-5
		Фарба СТЗ-13	-	50-70	70
<i>Видалення фарби</i>					
1. Зняти фарбу. Видалення фарби здійснюється після операцій травлення чи гальванічного осадження захисних покриттів	Лінія зняття фарби	Натр їдкий чи уайт-спирит і розчинник 646 (для ТНПФ), трихлоретилен (для СТЗ-13)	30-50	45-55	7-10 з
2. Промити проточною водою		-	-	-	-
3. Нейтралізувати		Кислота соляна	50-100	-	-

Закінчення табл. 11.22

4. Промити гарячою водою		-	-	-	-
5. Сушити		-	-	-	-

Примітки: 1. При виготовленні друкованих плат комбінованим позитивним методом з попереднім свердлінням і металізацією (варіант 1) використовується фоторезист СПФ-2 і інші плівкові фоторезисти і фарби, нанесені сіткоюграфією, СТЗ-12, СТЗ-13. 2. При виготовленні друкованих плат комбінованим негативним і комбінованим позитивним методами з попереднім нанесенням малюнка (варіант 2) використовуються фоторезисти: ФПП, ФП-383 (на основі полівінілового спирту ПВС марки Р/3) і фарба ТНПФ і СТЗ-12. 3. При виготовленні друкованих плат, у тому числі шарів МПП, хімічним методом використовуються фарби ТНПФ і СТЗ-12, а також будь-які рідкі фоторезисти (ФПП, ПВС і ін.). 4. При виготовленні сітчастих трафаретів для нанесення малюнка методом сіткоюграфії використовуються фоторезисти: ФСТ, фотосет „Ж” і ін.

Таблиця 11.23. Травлення міді в заготовках плат

Операція і переходи	Устаткування	Матеріал		Режим	
		Найменування	Зміст компонентів, г/л	Температура, °С	Час, хв
1. Травлення міді	Лінія травлення	1 розчин: залізо хлористе (щільність 1,32-1,40)	300-500	35-40	5-10
		2 розчин: амоній надсірчано-кислий	300	50-55	5-10
		кислота сірчана	6		
		мідь сірчано-кисла	5		
		3 розчин: мідь хлорна	65	35-40	3
		амоній вуглекислий	220		
		амоній хлористий	110		
	Комплекс устаткування для травлення друкованих плат і регенерації травильного розчину	4 розчин: залізо хлорне	103-133	35-40	2-3
		мідь хлорна	148-161		
		кислота соляна 35-38 %	30-50		
		залізо хлористе	24-48		
		калій хлористий	180		
2. Промити проточною водопровідною водою	Комплекс устаткування для травлення друкованих плат і регенерації травильного розчину	-	-	-	5-7
3. Сушити	Те ж	-	-	35-45	До висихання

Примітки: 1. При використанні покриття сплавом олово-свинець застосовуються наступні травники: на основі персульфату амонію (розчин 2); мідно-лужний розчин для травлення міді (розчин 3). 2. При використанні покриття сріблом застосовуються будь-які з зазначених травників (розчини 1-4). 3. При використанні як захисний шар малюнка резистів плівки СПФ-2 і

сіткографічних фарб застосовуються будь-які з зазначених травників (розчини 1-4). 4. При використанні як захисний шар малюнка резистів ФПП і ПВС застосовуються травники: для ФПП-розчин хлорного заліза (розчин 1), на основі персульфату амонію (розчин 2), залізо-мідно-хлоридний (розчин 4); для ПВС-розчин хлорного заліза (розчин 1), на основі персульфату амонію (розчин 2), мідно-лужний (розчин 3).

Таблиця 11.24. Хімічне міднення провідного малюнка друкованих плат

Операція і переходи	Устаткування	Матеріал		Режим	
		Найменування	Зміст компонентів, г/л	Температура, °C	Час, хв
Підготувати поверхню (див табл. 11.19)	-	-	-	-	-
1. Декапувати	Лінія автоматична	Кислота соляна	50-100	18-25	0,5
2. Промити проточною водопровідною водою					0,5-1,0
3. Сенсibiliзувати		1 розчин: олово двохлористе	10-30	18-25	2-5
		кислота соляна	10-30 мл/л		
		2 розчин: олово двохлористе	20-25	18-25	2-5
		кислота соляна	13-17		
		олово металеве	1-2		
4. Промити проточною водопровідною водою					2-3
5. Промити дистильованою водою				18-25	1-2
6. Активувати		1 розчин: палладій хлористий	0,8-1,0	18-25	2-3
		кислота соляна	1-2 мл/л	1	
		2 розчин: палладій двохлористий	0,8-1,0	18-25	5-10
		олово двохлористе	40-45		
		кислота соляна	70-80		
		калій хлористий	140-150		
		3 розчин: палладій хлористий	3,5-4,0	18-25	3-5
		аміак водяний (25-%ний)	70-80		
		Трилон Б	12		
7. Промити в збірнику		-	-	18-25	0,5-1,0

Продовження табл. 11.24

8. Промити проточною водою		-	-	18-25	0,5-1,0
9. Обробити в розчині відновлення при використанні розчину 3		Натрій фосфорноватистокислый (гіпофосфат натрію)	30-50	18-25	2-3
10. Обробити в лужному розчині при використанні розчину 2	Лінія автоматична	Натрій гідрат окису	20-25	18-25	2-5
11. Промити проточною водопровідною водою		-	-	-	2-3
12. Міднити хімічно		1 розчин: мідь сірчанокисла	10-15	18-25	15-20
		калій-натрій виннокислий	50-60		
		натрій гідрат окису	10-15		
		нікель двохлористий	2-4		
		натрій сірноватистокислый	0,001		
		формалін	4-6		
		2 розчин: мідь сірчанокисла	25-35	18-25	15-20
		трилон Б	80-90		
		натрій гідрат окису	30-40		
		натрій вуглекислий	20-30		
		роданин	0,003-0,005		
		калій залізистосинеродистий	0,10-0,15		
		формалін	8-10		
13. Промити проточною водопровідною водою	Лінія автоматична	-	-	-	3-5
14. Контроль	Стіл робітник	-	-	-	-
	Лупа 4-кратного збільшення	-	-	-	-
15. Декапувати	Лінія автоматична	Кислота сірчана	90-110	18-25	0,5-1,0
16. Промити проточною водопровідною водою		-	-	-	1-2

Таблиця 11.25. Гальванічне міднення провідників друкованих плат

Операція і переходи	Устаткування	Матеріал		Режим	
		Найменування	Зміст компонентів, г/л	Температура, °С	Час, хв
1. Знежирити заготовку	Лінія автоматична	Розчин: тринатрійфосфат	30	30-40	2-3
		сода кальцинована	30		
		засіб миючий „Прогрес” чи „Синтанол”	3-5 мл/л		
2. Промити гарячою водою	Лінія автоматична	-	-	45-55	2-3
3. Промити проточною водопровідною водою		-	-	-	2-3
4. Підтравити		Розчин: амоній надсірчаноокислий	200-250	18-25	0,5-1,0
		кислота сірчана	5-7		
5. Промити проточною водопровідною водою		-	-	-	2-3
6. Декапувати		Кислота сірчана	50-100	18-25	0,3-0,5
7. Промити проточною водопровідною водою		-	-	-	1-12
8. Міднити		1 розчин: мідь сірчано-кисла	200-250	18-25	80-90
		кислота сірчана	50-70		
		спирт етиловий	5-10 мл/л		
При осадженні міді з 1-го розчину під дією асиметричного несинусоїдального струму блискотвірна добавка не потрібна		2 розчин: мідь борфтористоводородная	230-250	18-25	50-60
		кислота борфтористоводнева (вільна)	5-15		
		кислота борна (вільна)	15-40		
9. Промити в збірнику		-	-	-	-
10. Промити проточною водопровідною водою		-	-	-	2-3

Таблиця 11.26. Гальванічне осадження сплаву олово-свинець на провідний ма-
люнок друкованої плати

Операція і перехо- ди	Устаткування	Матеріал		Режим	
		Найменування	Зміст компо- нентів, г/л	Температура, °С	Час, хв
<i>Підготовка повер- хні</i>					
1. Декапувати	Лінія автома- тична гальвані- чна	Кислота борфтористо- воднева	100	18-25	0,3
2. Промити прото- чною водопровід- ною водою		-	-	-	0,3-0,5
<i>Гальванічне оса- дження</i>					
1. Нанести гальва- нічне покриття олово-свинець		1 розчин: олово борфто- ристоводнева (у перера- хуванні на метал)	50-60	18-25	40-50
		свинець борфтористо- водневий (у перерахун- ку на метал)	25-40		
		кислота борна	30-40		
		кислота борфтористово- днева	40-70		
		клей столярний	5		
		2 розчин: олово борфто- ристоводневе (у пере- рахунку на метал)	15	18-25	50-60
		свинець борфтористо- водневий (у перерахун- ку на метал)	10		
		кислота борна (вільна)	15-25		
		кислота борфтористово- днева (вільна)	350-400		
		гідрокінон	3		
		клей столярний	3-5		
2. Промити прото- чною гарячою во- дою		-	-	45-55	2-3
3. Сушити		-	-	50-60	5-7
Примітки: 1. Гальванічно обложеною сплав олово-свинець після операції травлення необхід- но освітлити у 5-10%-ному розчині борфтористоводневої кислоти протягом 2-3 хв при тем- пературі 55±2° С. 2. Товщина гальванічно обложеного покриття олово-свинець 12-15 мкм. Склад осаду: олово 55-65%, свинець 45-35%. 3. Щільність струму для гальванічної обробки: розчин 1 - 0,8-1,2 А/дм ² ; розчин 2 - 0,8-1,0 А/дм ² .					

Таблиця 11.27. Оплавлення гальванічно обложеного сплаву олово-свинець

Операція і переходи	Устаткування	Матеріал	Режим	
			Температура, °C	Час, хв
1. Нанести флюс на поверхню друкованої плати	Лінія оплавлення інфрачервоним нагріванням	Флюс ФПСп (смола поліефірна ЛН-14 60-80 %; спирт етиловий 40-20 %)	18-25	4-8
2. Оплавити сплав олово-свинець		-	230-240	4-8
3. Видалити залишки флюсу	-	Вода	45-55	-
4. Сушити	-	-	-	-
Примітка. Швидкість руху друкованої плати в транспортері лінії оплавлення 1,6-3,0 м/хв.				

Р О З Д І Л 12

ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДЙОМНО-ТРАНСПОРТНОГО МАШИНОБУДУВАННЯ

12.1. КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА І ОСНОВНІ ПОКАЗНИКИ ВИРОБНИЦТВА ПІДЙОМНО-ТРАНСПОРТНИХ МАШИН

Підйомно-транспортне машинобудування характеризується широкою номенклатурою виробів, значними їх габаритними розмірами і масою. До найбільш розповсюджених конструкцій підйомно-транспортних і вантажно-розвантажувальних машин відносяться:

- крани мостові загального і спеціального призначення, козлові металургійні, порталні, баштові, стрілові, контейнерні;
- конвеєри – стрічкові, пластинчаті, скребкові, підвісні, вібраційні, гвинтові, ковшові, штангові, крокуючі, канатні підвісні дороги;
- установки для пневматичного і гідравлічного транспортування матеріалів: камерні і гвинтові пневматичні живильники, пневматичні підйомники (аероліфти), пневматичні транспортні ринви;
- ескалатори, талі електричні і пневматичні, контейнери і піддони.

Підйомно-транспортне машинобудування розвивається на базі широкої кооперації кранобудівних і конвеєробудівних підприємств з суміжними галузями промисловості: металургійної, електротехнічної, приладобудівної. Ці галузі промисловості поставляють заводам підйомно-транспортного обладнання ПТО профільний і листовий прокат, ланцюги, конвеєрну стрічку, сталеві канати, резинові вироби, пластмасу, електроапаратуру, електродвигуни, засоби автоматизації керування і контролю.

12.2. КОНСТРУКЦІЇ ПІДЙОМНО-ТРАНСПОРТНИХ МАШИН

Лінійні крани вантажопідйомністю 75-630 т з прольотами до 28 м призначені для обслуговування розливочно-заливочного відді-

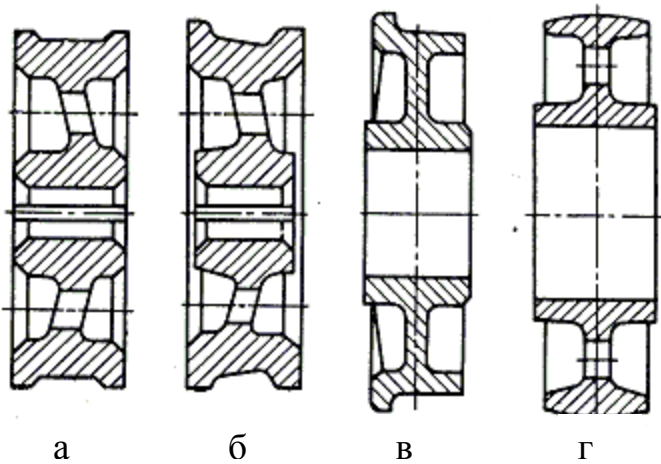


Рис. 12.1. Види ходових коліс: а - циліндричні двореберні; б - конічні двореберні; с - однореберні; г - безреберні.

них цехів металургійних заводів, вугільних складах теплових електростанцій і на інших підприємствах.

Стрічкові стаціонарні конвеєри з вантажонесучою стрічкою до 2400 мм для гірськорудникової промисловості, що працюють з швидкістю пересування стрічки до 3 м/с і мають продуктивність до 4500 м³/год. Для поточного виробництва застосовуються підйомно-транспортні конвеєри, для складських робіт застосовуються підвісні вантажонесучі і штовхаючі ланцюгові конвеєри з автоматичним адресування вантажів.

Для метрополітенів, адміністративних споруд, вокзалів, торговельних центрів розширений типаж випускаючих ескалаторів.

12.3. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ТИПОВИХ ДЕТАЛЕЙ ПІДЙОМНО-ТРАНСПОРТНИХ МАШИН

12.3.1. ХОДОВІ КОЛЕСА

Конструктивні і технологічні особливості. Ходове колесо служить для пересування мостових, порталних, козлових і інших кранів і їх вантажних візків. За формою обода ходові колеса виконують двореберні, однореберні і безреберні (рис. 12.1). Двореберні колеса застосовують в механізмах пересування кранів, однореберні в вантажних візках. Безреберні застосовують при відсутності поперечних навантажень.

Матеріали і види заготовок. Заготовки для ходових коліс бу-

лення сталеплавильних цехів. Мости цих кранів суцільно-зварені з листа, коробчатого перерізу.

Портальні крани вантажопідйомністю 3 - 80 т в морських і річкових портах, на будівництві гребель гідроелектростанцій, на суднобудівних заводах.

Перевантажувачі призначені для виконання вантажно-розвантажувальних робіт на рудних дворах доменних цехів металургійних заводів, вугільних складах теплових електростанцій і на інших підприємствах.

вають штамповані, ковані з сталі 65Г або литі з сталі 55Л. Найбільш прогресивними заготовками являються суцільнокатані, вони мають більш високу якість з найменшими припусками на механічну обробку. Технологія виготовлення суцільнокатаних заготовок складається з наступних операцій:

1. Розігрів вихідної заготовки в камерній печі.
2. Осаджування заготовки в плоский круглий диск і прошивання центрального отвору.
3. Прокат заготовки на спеціальному прокатному стані, на якому формують циліндричну поверхню з ребордами, і за допомогою спеціальних роликів калібрують весь профіль заготовки колеса (рис. 12.2).

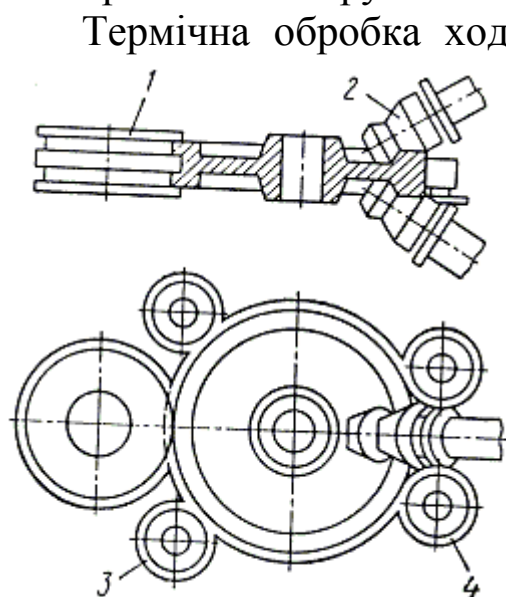


Рис. 12.2. Схема розташування валиків в колесопркатному стані: 1 – корінний валик; 2 – похилий валик; 3 – направляючий ролик; 4 – натискаючий ролик.

Термічна обробка ходових коліс. Ходові колеса працюють в складних умовах. Вони піддаються циклічним контактним навантаженням великої величини і силам тертя, прикладеним до доріжки кочення і ребордам колеса. Контактні напруження досягають величин порядку 850 МПа (8500 кгс/см^2). Тому вони виготовляються з сталі, що містить 0,6-0,8% вуглецю і 1,0% марганцю. Структура матеріалу після загартування – сорбіт (з високодисперсною пластинчатою формою цементиту). Твердість НВ 300-350, глибина загартованого шару не менше 20 – 30 мм.

Термічна обробка виконується в наступній послідовності. Після нагрівання до температури $840 - 860^\circ\text{C}$ ходове колесо на $\frac{1}{2}$ частини товщини

обода занурюється в воду і за допомогою спеціального приладу отримує обертання. Кожна точка обода колеса, потрапляючи при обертанні в воду, втрачає деяку кількість тепла. Потім, проходячи повітряну ділянку, досліджувана точка обода нагрівається за рахунок внутрішньої теплової енергії колеса. Таким чином, кожна точка обода охолоджується в пульсуючому циклі, що залежить від частоти обертання колеса. Встановлено, що при швидкості обертання колеса 25 – 30 об/хв, час теплового циклу рівний 1,5 хв., для коліс діаметром 500 мм, і 4,5 хв – для коліс діаметром 1000 мм. Після загартування прово-

дять відпуск в електропечі при температурі 480 – 520⁰С на протязі 3–4 годин, ходові колеса піддані сорбітизації, мають зносостійкість в 5,0–5,5 разів більшу в порівнянні з колесами, загартованими ТВЧ.

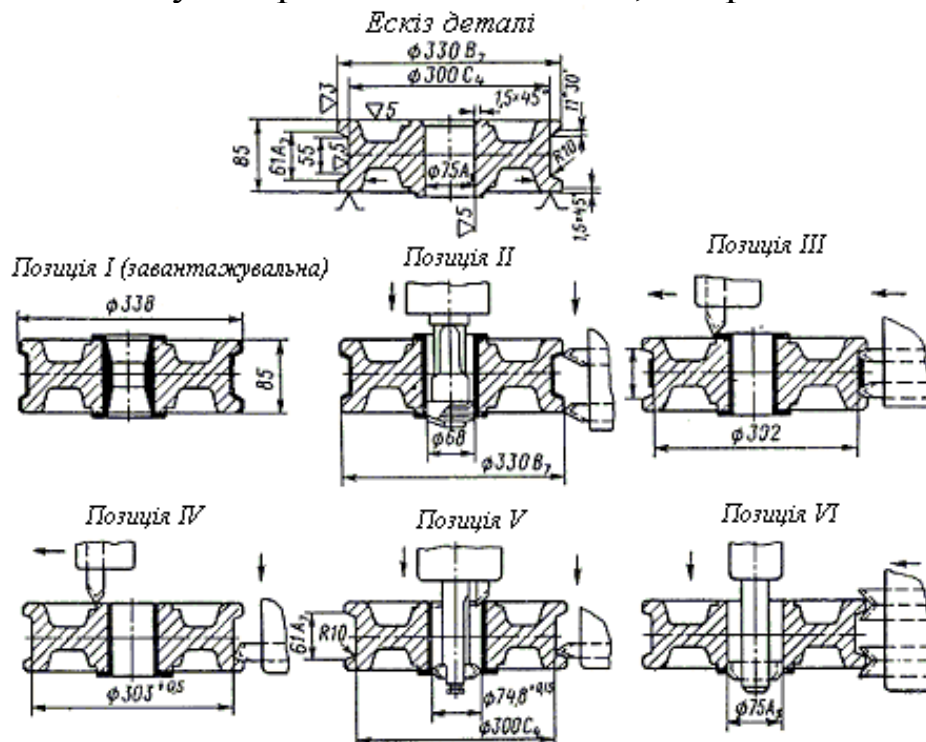


Рис. 12.3. Схема обробки ходового колеса на шестишпindelьному вертикальному токарному напівавтоматі.

Механічна обробка коліс, обладнання і інструмент. Розміри ходових коліс і вид заготовки визначають вибір технологічного маршруту і обладнання. Обробка ходових коліс діаметром до 500 мм спочатку виконується на шестипозиційному токарно-карусельному напівавтоматі. На першій завантажуючій позиції встановлюють колесо, і в цій же позиції (після повного повороту стола) знімають колесо, що оброблювалось. На інших п'яти позиціях одночасно оброблюється п'ять заготовок ходових коліс, які періодично переміщаються з однієї позиції в іншу. Після чорнового обточування торців і розточування отворів колесо піддають термічній обробці.

При чистовому обточуванні начисто оброблюються внутрішній діаметр, маточини колеса, діаметр його катання і торцева площина з однієї сторони, що забезпечує концентричність поверхні катання і базового отвору маточини колеса. Профіль ободу обточують фасонними різцями. Схема технологічного маршруту обробки колеса на шестишпindelьному напівавтоматі показана на рис. 12.3.

Остаточна обробка отвору і шпонкового паза виконується на протяжному верстаті.

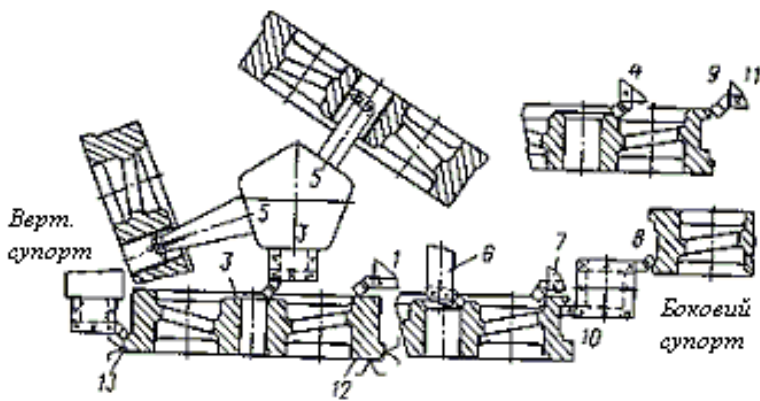


Рис. 12.4. Схема чорнової обробки ходового колеса на токарно-карусельному верстаті.

який є установочною базою для чорнової токарно-револьверної операції. Деталь закріплюється по зовнішньому діаметру 13. З супорта 1 підрізується торець обода, з вертикального супорта обточується зовнішній діаметр 2 до кулачків, з револьверної головки різцем підрізується торець маточини 3, проводиться обробка фаски 4, начорно розточується отвір 5, підрізаються фаски 6 і 7, обточуються начорно поверхні 8, 9 і 10, знімається фаска 11.

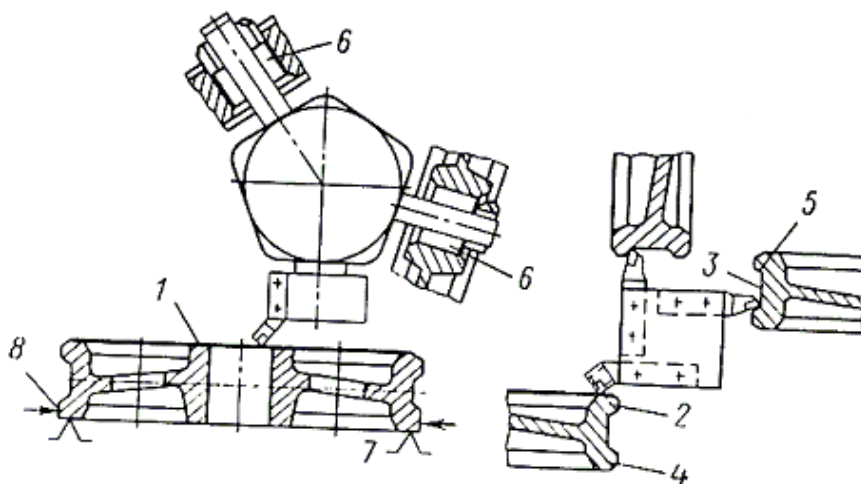


Рис. 12.5. Схема чистової обробки ходового колеса.

Після чорнової обробки проводиться термообробка поверхні катання і реборди на спеціальній установці для загартування і відпуску. Чистова обробка проводиться так як на токарно-револьверному автоматі карусельного типу. На рис. 12.5 представлена схема, що пояснює послідовність обробки поверхонь. Деталь встановлюється на поверхню 7 і закріплюється на поверхню 8. На переході підрізається торець обода і маточини 1 начисто, обточується зовнішній діаметр 2 начорно, розточуються фаски в отворі маточини і обточується поверхня 3 начисто, обробляються фаски 5, оброблюється начисто отвір 6, і проводиться зняття задирок і загострення гострих кромки.

На протяжному станку оброблюється шпонковий паз. Проводиться слюсарна зачистка.

12.3.2. ЗУБЧАСТІ КОЛЕСА

Конструктивні і технологічні можливості. зубчаті колеса в механізмах підйомно-транспортних машин працюють при великих навантаженнях і великих окружних швидкостях. В підйомно-транспортних машинах найбільш розповсюджені зубчаті колеса у вигляді суцільних плоских дисків з центральним отвором і рідше з спицями різної конфігурації. Черв'ячні колеса мають маточину, виготовлену з чавуну, а обід – з бронзового лиття.

За формою зуба передачі підрозділяють на різні типи (рис. 12.6).

Для зменшення концентрації напружень і зменшення шуму в зубчатих передачах застосовують зуби бочкоподібної форми (12.7). в циліндричних передачах для плавності входу спряжених зубів в зачепленні зменшують товщину зуба на вершині, це називається фланкуванням зубів.

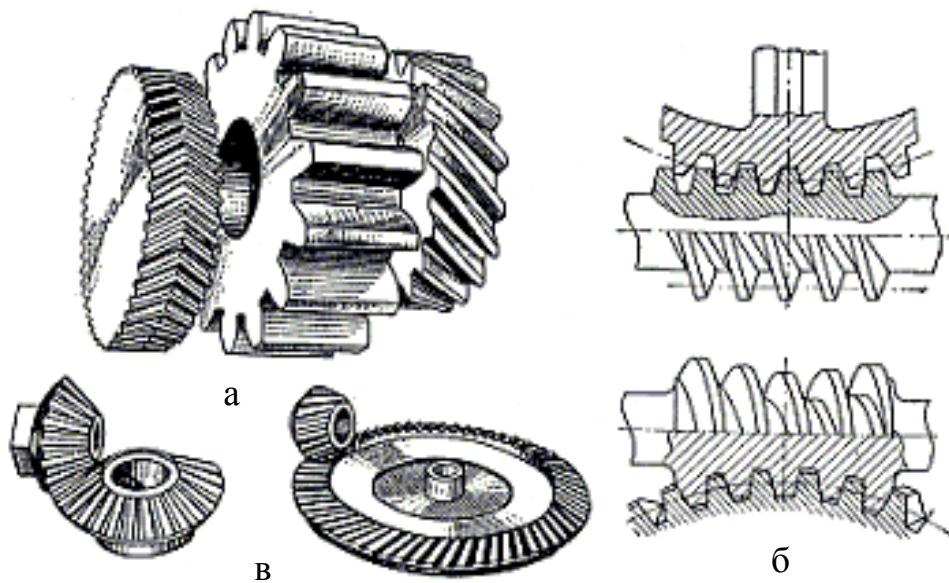


Рис. 12.6. Види зубчастих коліс: а – циліндричні з прямими, похилими і шевронними зубами; б – черв'ячні з циліндричними і глобоїдними черв'яками; в – конічні з прямими і спіральними зубами.

Фланкування профілю біля головки зуба рекомендується робити на величину $0,45$ модуля під кутом $1^{\circ} - 4^{\circ}30'$ в залежності від степені точності. Фланкування здійснюється черв'ячною фрезою, довб'яком або шевером, що мають спеціальне профілювання зубів.

Шевронні і похилі зуби фланкувати не рекомендується. Бочкоподібну форму надають тільки одному з коліс зубчатої передачі, а в іншого лишають прямі зуби. Пляма контакту в зубів бочкоподібної фор-

ми складає 70–80% по довжині зуба і 60–70% по висоті (рис. 12.7,а).

Матеріали і вид заготовок. Умови роботи зубчатих коліс визначають вибір матеріалу і вид заготовки для їх виготовлення. Важко навантажені бистрохідні зубчаті колеса редукторів виготовляються з загартованих (40Х, 45Х), цементованих (12ХН3А) і азотованих (38ХМ10А) сталей. В тихохідних приводах, що передають не великі навантаження, зубчаті колеса виготовляють з вуглецевої сталі 55Л, рідше – з чавуну або пластмаси (текстоліт, поліаміди). Спосіб отримання заготовки залежить від розмірів і форми колеса, а також від масштабів виробництва.

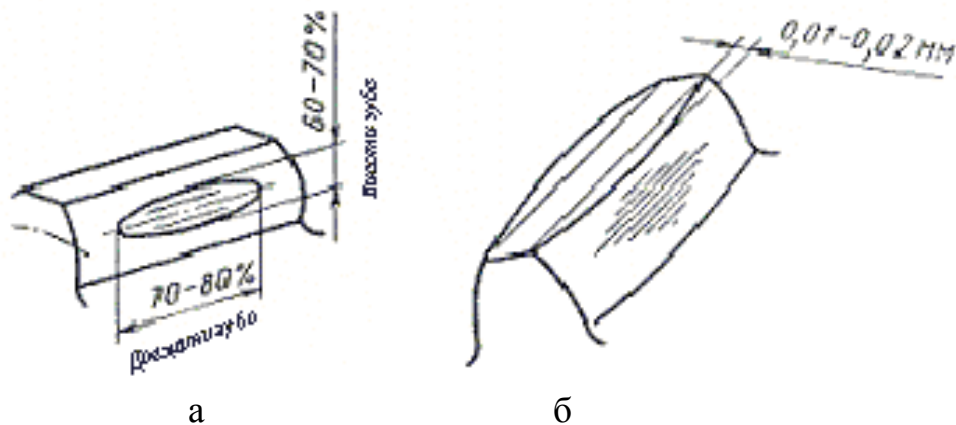


Рис. 12.7. Рекомендований контакт спряжень зубів (а), що мають бочкоподібну форму (б).

В серійному виробництві заготовки зубчатих коліс отримують гарячим штампуванням, рідше – ковкою з отриманням в заготовці прошитого отвору. В черв'ячних передачах черв'як виготовляється з сталі, обід черв'ячного колеса з бронзи, а диск – з чавуну.

Технічні умови на виготовлення. Точність виготовлення зубчатих коліс являється одним з основних факторів якості, вона регламентується допусками. В ГОСТах встановлено 12 ступенів точності, позначених цифрами 1÷12. Для кожної ступені точності встановлені норми кінематичної точності, плавності роботи і контакту зубів. Крім того, незалежно від ступені точності встановлені норми бокового зазору спряжень.

Ступінь точності зубчатого колеса позначається трьохзначним числом і однією літерою. Перша цифра характеризує кінематичну точність колеса, друга – плавність роботи передачі, третя – контакт зубів, літера – гарантований зазор спряжень. Наприклад, 7-6-6-В або 8-7-6-С.

ГОСТом передбачено шість видів спряжень (табл. 12.1).

Таблиця 12.1.

Гарантований проміжок спряжень	Позначення виду спряжень	Діапазон ступенів кінематичної точності
Збільшений	А	3 – 12
Нормальний	В	3 – 10
Зменшений	С	3 – 9
Малий	Д	3 – 8
Дуже малий	Е	3 – 7
Нульовий	Н	3 – 7

В підйомно-транспортному машинобудуванні зубчасті вінці виготовляються за 8-ю ступінню точності, при роботі з швидкостями не більше 10 м/с і за 7-ю ступінню точності, при роботі з швидкостями – 15 м/с і більше.

При обробці зубчатих коліс до них пред'являються вимоги за:

- а) концентричність початкової округлості і осьового отвору;
- б) рівномірністю кроку і товщини зубів;
- в) точністю розміру центрального отвору;
- г) забезпеченню профілю зубів;
- д) шорсткості бокових поверхонь зубів.

Термічна обробка зубчастих коліс. До механічної обробки застосовують нормалізацію, яка призначена для зняття остаточних напружень і покращення оброблюваності.

Для підвищення міцності зубчатих коліс застосовують об'ємне або поверхневе загартування зубів. При об'ємному загартуванні зубчате колесо нагрівають до 800–850⁰С, охолоджують в маслі, а потім відпускають при температурі 180-200⁰С на протязі 1,5–2,2 годин.

Загартування ТВЧ здійснюється двома способами. Перший спосіб: нагрівають всю поверхню, що підлягає термообробці наступним охолодженням в водяному або оливному середовищі. Другий спосіб передбачає нагрівання окремих ділянок колеса, він застосовується для загартування крупномодульних коліс, ($m > 6$ мм).

На рис. 12.8 показані установки для загартування циліндричних (рис. 12.8,а) і конічних (рис. 12.8, б) коліс. Нагрівають і охолоджують окремо кожний зуб. На рис. 12.9 показаний поперечний переріз зубів, загартованих по контуру.

Механічна обробка, обладнання і інструменти. Технологічний процес механічної обробки зубчатих коліс залежить від характеру виробництва, від обладнання що є в цеху, виду заготовки, потрібної точності елементів і технологічних вимог.

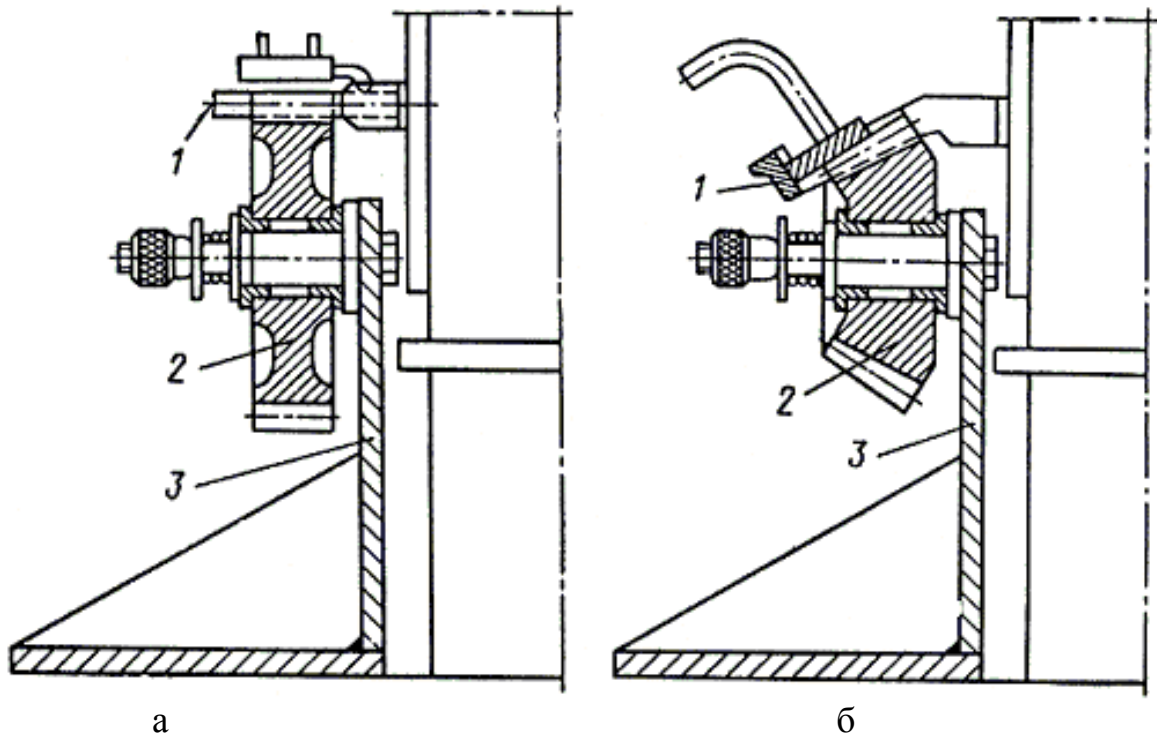


Рис. 12.8. Схема послідовного високочастотного загартування зубів великих зубчастих коліс: а – пристрій для загартування циліндричних коліс; б – пристрій для конічних коліс; 1 – індуктор; 2 – зубчате колесо; 3 – пристрій для встановлення і повороту колеса.

Для зубчатих коліс діаметром більше 750 мм застосовують литі заготовки з наступною нормалізацією і відпуском. Зубчаті колеса діаметром до 750 мм отримують штампуванням. Основною базою для обробки є отвір в маточині. Після свердління базовий отвір розточується.

Після цього деталь встановлюється на оправку і на багаторіздцевому верстаті проводиться обточування маточини і підрізання торців (рис. 12.10).

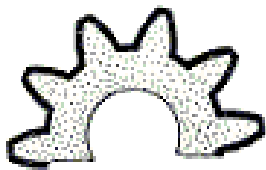


Рис. 12.9. Поперечний переріз зубів шестерні, загартованих ТВЧ.

Обробку зубчатих коліс діаметром більше 500 мм виконують на карусельних верстатах. Заготовку закріплюють кулачками на планшайбі і проводять підрізку торця, обточують попередньо контури і начорно розточують отвір. На другій операції деталь встановлюють в патрон з вивіркою по попередньо розточеному отворі.

Потім підрізають другим різцем, проводять обточування зовнішнього діаметру начисто і розточують отвір в розмір. Отвір для зменшення маси деталі свердлять на радіально-свердлильних верстатах. Шпонкові пази оброблюють протягуванням.

Нарізання зубчатого вінця проводять на зубофрезерних або на зубодовбальних верстатах. Робочі зони нарізання зубчатого вінця

черв'ячною модульною фрезою і довб'яком показані на рис. 12.11.

При зубофрезеруванні оброблюване зубчате колесо обкатується по прямобічній рейці. Прямобічна рейка відтворюється перерізом

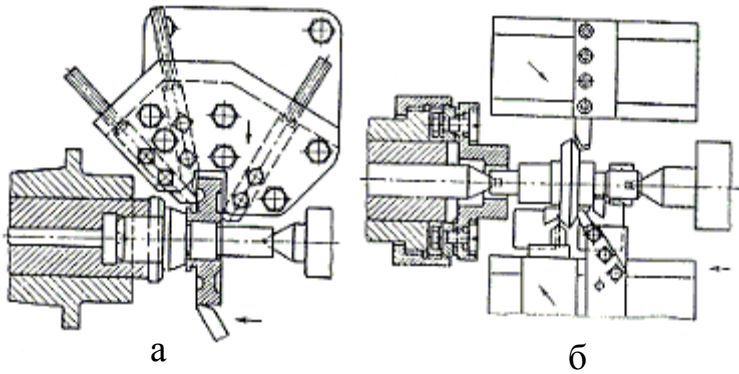


Рис. 12.10. Схема налагодження для обробки на багаторізцевому верстаті: а – циліндричної шестерні; б – конічної шестерні.

черв'ячною модульною фрези. Для забезпечення обкаточного руху колеса по рейці необхідно виконати рівність:

$$\frac{n_{\phi}}{n_{\kappa}} = \frac{Z}{i}, \quad (12.1)$$

де n_{ϕ} – число обертів фрези за одиницю часу; n_{κ} – число обертів зубчатого колеса за одиницю

часу; Z – число зубів оброблюваного колеса; i – число заходів фрези.

При зубодовбанні довб'яку і зубчатому колесу що нарізають повідомляють примусове обертання з числом обертів, що визначаються з рівності:

$$\frac{n_{\kappa}}{n_{q}} = \frac{Z_{q}}{Z_{\kappa}}, \quad (12.2)$$

де n_{κ} – число обертів колеса, що нарізається; n_{q} – число обертів довб'яка; Z_{q} – число зубів довб'яка; Z_{κ} – число зубів колеса, що нарізається.

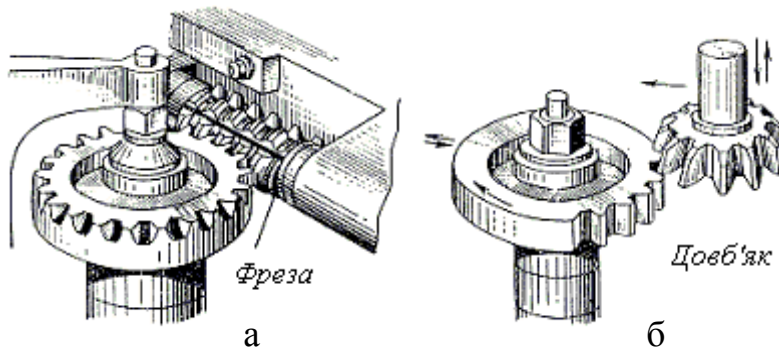


Рис. 12.11. Робоча ділянка нарізання зубчатих коліс: а – черв'ячною фрезою; б – довб'яком.

нарізається.

Ріжучий інструмент для зубонарізних робіт (рис. 12.12) поділяють на дві групи.

1. Інструмент, що працює за методом обкатки (черв'ячні фрези, довб'яки і гребінки).
2. Інструмент, що працює за методом калібрування – модульні, дискові і пальцеві фрези.

За способом закріплення на верстаті довб'яки бувають дискові, хвостові, чашкові і втулкові (рис. 12.12, е, ж, з, и). Дискові довб'яки найбільш розповсюджені. Хвостові довб'яки застосовуються для нарізання коліс з внутрішнім зубом, чашкові довб'яки, в яких гайка кріп-

лення знаходиться в більш глибокому виточуванні, використовуються для нарізання в блоці зубчатих коліс.

Модульні і пальцеві фрези (рис. 12.12, а, б) мають форму ріжучої грані, близьку до теоретичного описання впадини колеса, що нарізається.

Зубообробні верстати групуються за видами оброблюваних зубчатих коліс.

1. Зубофрезерні верстати 5Д32, 5Е332, 532 застосовуються для

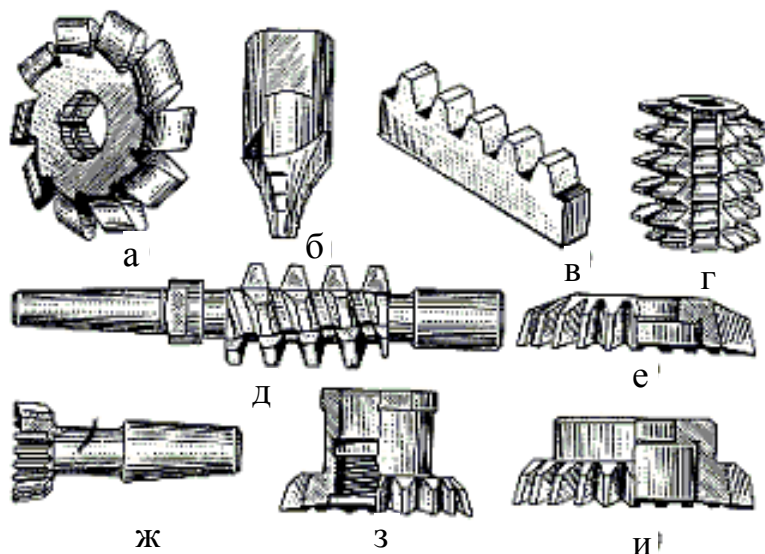


Рис. 12.12. Ріжучий інструмент для зубонарізних робіт: а - модульна фреза; б – пальцева фреза; в – гребінка; г – черв'ячна насадна фреза; д – черв'ячна хвостова фреза; е – дисковий довб'як; ж – хвостовий довб'як; з – чашковий довб'як; и – втулковий довб'як.

нарізання циліндричних зубчатих коліс з прямими і похилими зубами і черв'ячних зубчатих коліс.

2. Зубостругальні верстати 512, 514, 516 для нарізання зубів циліндричних і 526, 5А26 для нарізання конічних зубчатих коліс.

3. Зуборізні верстати для нарізання шевронних зубчатих коліс.

Вибір зуборізного верстата при розробці технологічного процесу визначається ступінню точності передачі, габаритними розмірами і масою колеса, що нарізається. На рис. 12.13 показані загальні види найбільш характерних зубообробних верстатів.

Формування зубчатого вінця шестерень важко навантажених передач здійснюється накаткою на спеціальних накатних верстатах. Накатка зубчатого вінця має в 8 – 10 разів більшу продуктивність в порівнянні з зубофрезеруванням, забезпечує більш раціональне використання матеріалу і високі механічні властивості зубів.

Обробка зубів зубчатих коліс підйомно-транспортних машин після операції зубонарізання піддають оздоблювальним методам. Існують різні способи налагодження зубчатих поверхонь. Для незагартованих зубчатих коліс: шевінгування, обкатування, приробляння, для загартованих – зубошліфування, зубопритирка, зубохонінгування.

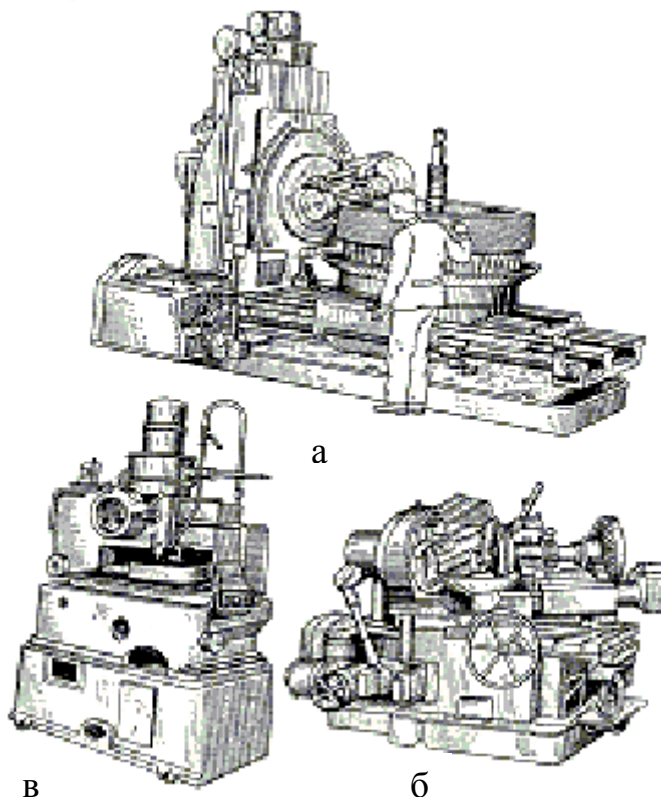


Рис. 12.13. Зубооброблювальні верстати:
 а – зубофрезерний; б – зубостругальний;
 в – зубодовбальний.

При шевінгуванні з бокових поверхонь зубів знімають стружку товщиною 0,001 – 0,005 мм. Це робиться за допомогою спеціального інструменту (шевєра-шестерні або шевєра-рейки), на робочій поверхні якого прорізані канавки. Метод шевінгування оснований на взаємному ковзанні зубів шевєра, що зачіплюються і колеса, що оброблюється. Припуск на шевінгування знаходиться в межах 0,04 – 0,08 мм в залежності від модуля колеса. Швидкість різання при шевінгуванні змінюється від 100 до 150 м/хв.

Обкатування застосовують для отримання гладкої

зміцненої поверхні зубів. Цей процес заключається в спільному обкатуванні незагартованого зубчатого колеса з загартованим колесом еталонем. При обкатуванні профіль і похибка кроку не виправляються, але згладжується шорсткість, утворюється наклеп на бокових поверхнях зубів.

Зубчаті колеса 7-ї ступені точності після термічної обробки шліфуються. Шліфування здійснюється двома методами: за методом копіювання профільним кругом на верстатах 5860 і 5861 (Гирграйдинг) і за методом обкатки конусним кругом на верстатах 5831 і 5841 (НАЙЛС).

При шліфуванні за методом копіювання профіль круга точно відповідає профілю впадини зубчатого колеса, що досягається правкою круга за допомогою копіювального механізму (з застосуванням алмазу). Метод копіювання є найбільш продуктивним, але менш точним. Цей недолік не мають зубошліфувальні верстати, що працюють за методом обкатки.

РОЗДІЛ 13

ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ДВИГУНІВ

13.1. ОБРОБКА КОЛІНЧАСТИХ ВАЛІВ І РОТОРІВ ГВИНТОВИХ КОМПРЕСОРІВ

Стиснення газів в компресорах здійснюється кривошипно-шатунним механізмом, в якому однією з основних деталей є колінчастий вал. Він призначений для перетворення обертального руху, одержуваного від електродвигуна, в нерівномірну поворотно-поступальну ходу, передавану шатунами.

Колінчастий вал в процесі роботи випробовує великі змінні навантаження, внаслідок чого він піддається вигину і крученню. Важкі умови роботи колінчастих валів вимагають конструктивно оформляти їх у вигляді багатоопорних. Колінчастий вал визначає плавність, рівномірність ходу і зносостійкість деталей, що сполучаються. У зв'язку з цим великі вимоги пред'являються до точності діаметральних розмірів шатунних і корінних шийок, до їх поверхні і галтелей.

У гвинтових компресорах ведучий і ведений ротори знаходяться в зачіпляючому стані, під час роботи мають різні напрями. Гвинтові поверхні роторів і стінки корпусу компресора утворюють робочі камери згорання, що забезпечують стиснення і нагнітання газів. У зв'язку з великим тиском на поверхні ведучого і веденого роторів, до виготовлення останніх пред'являються підвищені вимоги.

13.1.1. МЕХАНІЧНА ОБРОБКА КОЛІНЧАСТОГО ВАЛУ УНІФІКОВАНОГО ПОРШНЕВОГО КОМПРЕСОРА УУ-220

Колінчастий вал уніфікованого поршневого компресора УУ-220 показано на рис.13.1.

Технічні умови на обробку.

1. Корінні і шатунні шийки колінчастих валів допускають ко-

нуність і овальність не більше половини допуску на діаметр шийки по 2-му класу точності.

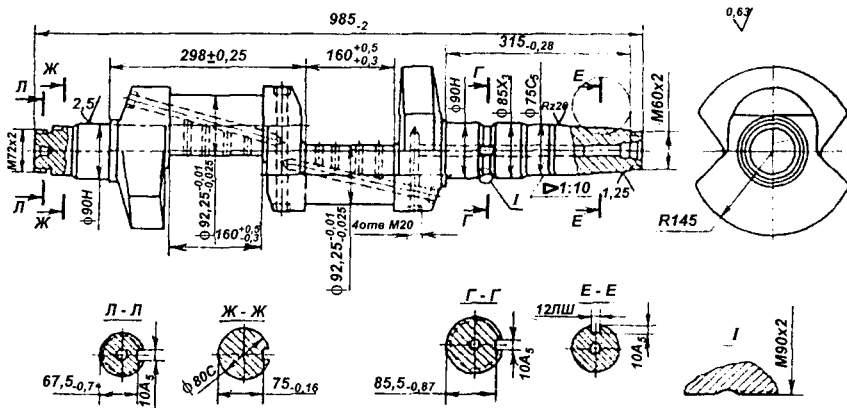


Рис. 13.1. Колінчастий вал уніфікованого поршневого компресора УУ-220.

2. Корінні і шатунні шийки діаметром до 100 мм і їх галтели повинні мати параметр шорсткості не нижче $R_a=0,32$ мкм, а більше 100 мм – не нижче $R_a=0,63$ мкм.

3. Осі корінних і шатунних шийок повинні лежати в одній площині і бути паралельними між собою. Непаралельність осей не повинна перевищувати 0,02 мм на 100 мм довжини колінчастого валу.

4. Биття корінних шийок відносно осі валу визначається діаметром валу; так, при діаметрі шийки до 80 мм биття рівне 0,02 мм, від 80 до 180 мм – 0,03 мм, від 180 до 260 мм – 0,04 мм, від 260 до 500 мм – 0,05 мм.

5. Осі шатунних шийок повинні мати однакову відстань від осей корінних шийок. Допускається відхилення від номінального розміру не більше 0,15 мм на 100 мм довжини радіусу кривошипа.

6. Корінні і шатунні шийки, що обертаються в підшипниках ковзання, повинні мати твердість після зміцнення для валів із сталі 40 і сталі 40X – HRC 48–58, а для колінчастих валів із сталі 45 – HRC 52–62. Ця вимога обумовлена зносостійкістю і втомною міцністю.

7. Шийки колінчастих валів не повинні мати неметалічних включень, вм'ятин, тріщин, раковин, пісчин, розшарувань і інших дефектів.

8. Допуски на радіуси кривошипів складають 0,05–0,15 мм. Недотримання допуску приводить до нерівномірного стис-

нення, що негативно впливає на роботу компресора.

9. Кути розташування шатунних шийок не повинні мати відхилення, перевищуючі номінал на $\pm 15'$.

Вибір баз. Колінчастий вал має складну конструктивну форму і недостатню жорсткість. У зв'язку з цим при механічній обробці особливу увагу надають вибору баз, закріпленню, послідовності обробки колінчастого валу і вибору устаткування. В процесі механічної обробки основними базами є опорні поверхні корінних шийок. Проте не на всіх операціях трапляється нагода базуватися на корінних шийках, тому на деяких операціях за базу приймають центрові отвори, а при обробці значних за розмірами колінчастих валів їх додатково кріплять чотирьохкулачковим патроном за задалегідь оброблені шийки.

Матеріали і способи отримання заготовок для колінчастих валів. Колінчасті вали виготовляють в основному з легованої сталі марки 40Х або високоякісної вуглецевої сталі марок 40 і 45. При серійному і дрібносерійному виробництві заготовки колінчастих валів штампують, а при індивідуальному (малі і середні розміри) їх виготовляють у вигляді поковок із сталі 5 методом вільного кування під пресом або молотом. Поковки для значних за розмірами колінчастих валів виготовляють на потужних парогідравлічних пресах. Поковки колінчастих валів піддають термообробці для отримання певної якості матеріалу.

Для випробування механічних властивостей матеріалу в поковках окрім звичного припуску на довжину додатково збільшують розмір на 60–100 мм для зразків. При випробуванні зразків виконують перевірку на ударну в'язкість, межу текучості, відносне подовження і твердість. Якщо необхідна правка поковки в холодному або підігрітому стані, її піддають відпустці для зняття внутрішніх напруг.

Штамування заготовок включає: попереднє і остаточне штампування, обрізання облоя на обрізному пресі і гарячу правку в штампах під молотом. Для отримання високої міцності штампувань застосовують штампи із спеціальними гибочними струмками, які розташовують волокна матеріалу так, щоб в процесі механічної обробки вони не перерізувалися. У таких заготовках підвищується зносостійкість і поліпшуються умови механічної обробки.

Після штампування заготовки піддають нормалізації з наступним режимом: а) завантаження в піч при 450°C; б) нагрів протягом 8 годин до 950 °С; в) витримка в печі протягом 5 годин при 950°C; г) охолодження з пічню протягом 3 годин до 650 °С; д) охолоджуван-

ня на повітрі.

Після нормалізації штампування очищається від окалини травленням або обробкою на дробеметному устаткуванні. Поковки невеликих розмірів очищають від окалини шляхом дробеметного обдування, а в поковках великих розмірів окалину знімають пневматичними молотками.

Штампування колінчастих валів забезпечують припуск на обробку в межах 3–4 мм з штампувальним ухилом 10° . Поковки малих розмірів мають припуск на механічну обробку від 10 до 20 мм, залежно від перетину, з допуском $\pm 2 - \pm 4$ мм. Поковки середніх розмірів мають припуски від 20 до 25 мм з допуском ± 4 мм, поковки значних розмірів – від 25 до 60 мм з допуском $\pm 4 - \pm 10$ мм.

Для компресорів середньої потужності застосовуються колінчасті вали з високоміцного чавуну марки ВЧ 50–1,5. Застосування литих колінчастих валів дає можливість скоротити виробничий цикл, зменшити витрату металу, понизити трудомісткість механічної обробки і тим самим собівартість виготовлення в порівнянні з вільним куванням. Крім того, відливка колінчастих валів з високоміцного чавуну створює можливість одержати сприятливіші конструктивні форми з високими антифрикційними якістьми. Відлиті заготовки дають коефіцієнт використання металу 0,7 – 0,75, а при вільному куванні – 0,42–0,46. При виготовленні колінчастих валів з прокату втрата металу досягає 50–70%, при штампуванні 30–40%, а колінчасті вали з відливок знижують втрати в 2–3 разу. Відлиті колінчасті вали мають низьку шорсткість поверхні і точність розмірів відливки, що значно зменшує припуски на механічну обробку, підвищує зносостійкість.

Заготовка одержана штампуванням із сталі 45, маса 71 кг.

Перша операція – на фрезерно-центруючому верстаті МР-73 послідовно фрезерують торці заготовки в розмір 985₂ мм, потім свердлять центрові отвори. При малих партіях заготовок дану операцію виконують на двох верстатах: на фрезерному – фрезерують торці і на центрувально-свердлильному свердлять центрові отвори. За наявності дуже великих партій дану операцію виконують на верстатах барабанного типу, що мають високу продуктивність.

Технологічними базами в даній операції є циліндрові поверхні корінних шийок і один прилеглий торець.

Торці обробляють фрезами діаметром 100 мм з твердосплавними ріжучими пластинками, а центрування здійснюється свердлами з швидкорізальної сталі Р-18. Фрези обертаються з $n = 500$ об/хв і $s =$

150 мм/хв. Центрувальні свердла обертаються з $n = 275$ об/хв і $s = 0,08$ мм/об.

Друга операція – токарно-гвинторізна. Попередня обробка корінних шийок колінчастого валу, розташованих по одну сторону шатунних шийок. Обробка виконується на гідрокопіювальному верстаті 1719. Заготовку встановлюють в центрах верстата і виконують точіння шийок, розташованих з боку довгого кінця валу. Обробляють шийку $\varnothing 90Н$ до $\varnothing 92$ мм, $\varnothing 85Х_3$ до $\varnothing 87$ мм і $\varnothing 75С_5$ до $\varnothing 77$ мм. Шийки колінчастого валу обточують твердосплавними різцями ($n = 240$ об/хв і $s = 0,5$ мм/об).

Третя операція – токарно-гвинторізна. Попередня обробка корінних шийок, розташованих по іншу сторону шатунних шийок. Обробка виконується на гідрокопіювальному верстаті 1719. Заготовку встановлюють в центрах верстата і обточують шийки з боку короткого кінця валу. Шийку $\varnothing 90Н$ обробляють до $\varnothing 92$ мм, $\varnothing 80С$ до $\varnothing 82$ мм, а щоки обточують радіусом 145 мм. Точіння шийок виконується твердосплавними різцями з $n = 240$ об/хв, $s = 0,5$ мм/об.

Четверта операція – токарна (рис. 13.1, рис. 13.2). Попередня обробка шатунних шийок. Операція виконується на спеціальному багаторізцевому верстаті. Базою для установки є оброблені корінні шийки. Спочатку підрізають торці з боку короткого кінця валу. Потім обточують шатунну шийку $\varnothing 92,25_{-0,25}^{-0,01}$ до $\varnothing 93$ мм. Торець і шийку обробляють твердосплавним різцем з $n = 320$ об/хв, $s = 0,1$ мм/об. Потім колінчастий вал переустановлюють на тих же базах, підрізають торці

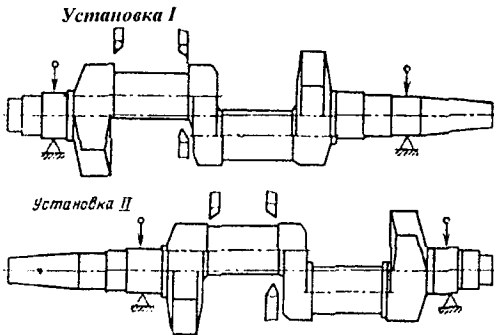


Рис. 13.2. Схема попередньої обробки шатунних шийок колінчастого валу уніфікованого поршневого компресора УУ-220 на багаторізцевому верстаті.

в розмірі $160_{+0,3}^{+0,5}$, $298 \pm 0,25$ мм і обточують другу шийку $\varnothing 92,25_{-0,25}^{-0,01}$ до $\varnothing 93$ мм. Точіння галтелей виконується радіусними різцями.

П'ята операція – свердлильна. Свердління отворів в шатунних шийках. Обробка виконується на радіально-свердлильному верстаті. Колінчастий вал ставлять в поворотне пристосу-

вання; базою є корінні шийки. На шатунну шийку встановлюють кондуктор і свердлять чотири отвори $\varnothing 4$ мм в одній шийці, потім повертають колінчастий вал на 180° і свердлять отвори $\varnothing 4$ мм в іншій шатунній шийці.

Шоста операція – термообробка. Поверхневий гарт шатунних шийок на спеціальному верстаті. Колінчастий вал встановлюють на верстат в горизонтальному положенні. Шатунні шийки гартують за допомогою кільцевих індукторів, застосування яких дозволяє автоматизувати управління процесом. Як охолоджуюче середовище застосовують мережеву воду, що подається на нагріту поверхню шийки.

Шатунні шийки піддають поверхневому гарту (до HRC 52–62) на глибину 3 мм. Твердість шийок перевіряють до кінцевого шліфування не менш ніж в двох точках. При гарті не допускаються гартівні тріщини. Глибина гартівного шару забезпечується технологічним процесом, стабільність якого перевіряється на зразках для партії колінчастих валів в кількості 50 штук. Характеристика зразків визначається технологічною інструкцією.

Сьома операція – свердлильна (рис. 13.3). Свердління п'яти отворів $\varnothing 18,4$ мм. Операція виконується на агрегатно-свердильному верстаті за допомогою свердильних силових головок.

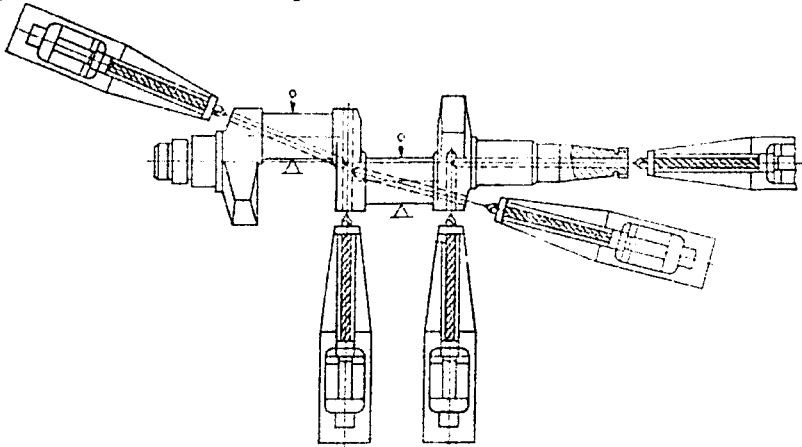


Рис. 13.3. Схема одночасного свердління отворів в колінчастому валу уніфікованого поршневого компресора УУ-220.

Колінчастий вал встановлюють корінними шийками в пристосування і закріплюють. Отвори свердлять одночасно. В зв'язку з великою глибиною свердління доводиться багато раз виводити свердла і

очищати отвори від стружки. На агрегатно-свердлильному верстаті все це здійснюється за заданою програмою.

Восьма операція – свердлильна. Свердління, зенкування і нарізка отворів. На даній операції відновлюють базу – центрові отвори. Деталь встановлюють корінними шийками в поворотне пристосування. У одному торці колінчастого валу свердлять отвір $\varnothing 12$ мм, а в іншому $\varnothing 22$ мм. Потім зенкують фаски під кутом 60° і 120° і нарізують різьбу М20 в чотирьох отворах. При свердлінні отворів застосовують швидкозмінний патрон, а при нарізці різьби – фрикційний.

Дев'ята операція – токарна. Остаточна обробка шийок з боку короткого кінця колінчастого валу. Операція виконується на гідрокопіювальному верстаті 1719. Деталь встановлюють в центрах і обточують шийки $\varnothing 90Н$ і $\varnothing 80С$ під шліфування з припуском 0,4 мм на діаметр, шийку під різьбу М72 і підрізають торець. Обробку виконують твердосплавними різцями з $n=420$ об/хв, $s=0,2$ мм/об.

Десята операція – токарна. Остаточна обробка корінних шийок з боку довгого кінця колінчастого валу. Операція виконується на гідрокопіювальному верстаті 1719. Деталь встановлюють в центри верстата і обточують шийки $\varnothing 90Н$ до $\varnothing 90,5$ мм; $\varnothing 85Хз$ до $\varnothing 85,5$ мм; шийку під різьбу М60 і підрізають торець в розмір $315_{-0,68}$ мм. Обробка виконується твердосплавними різцями з $n = 420$ об/хв, $s = 0,2$ мм/об.

Одинадцята операція – токарна. Точіння канавок і галтелей на довгому кінці колінчастого валу. Операція виконується на токарно-гвинторізному верстаті. Деталь встановлюють в центри верстата, прорізають канавки і точать фаски. За наявності великих радіусів і канавок обробку виконують в десятій операції.

Дванадцята операція – токарна. Точіння канавок і фасок на короткому кінці колінчастого валу. Деталь встановлюють на центри токарно-гвинторізного верстата. Прорізають канавки і точать фаски.

Тринадцята операція – токарна. Нарізка різьби на довгому кінці колінчастого валу. Операція виконується на токарно-гвинторізному верстаті. База – корінні шийки, причому одна з шийок центрується в люнеті. Мітчиком нарізують різьбу в центровому отворі К 3/4 труб. Потім накатують різьбу М60х2 накатними роликами з тангенціальною подачею і різцем нарізують різьбу М90х2. У ряді випадків накатку різьблення виконують як окрему операцію.

Чотирнадцята операція – токарна. Нарізування різьби на короткому кінці колінчастого валу. Операція виконується на токарно-

гвинторізному верстаті. База – корінні шийки, причому одна з них встановлюється в люнет. Накатують різьбу М72х2.

П'ятнадцята операція – фрезерна. Фрезерування шпонкових пазів. Обробка виконується на фрезерно-шпоночному верстаті. Деталь встановлюють корінними шийками в пристосування і фрезерують пази шпонки.

Шістнадцята операція – фрезерна. Фрезерування шпонкового паза. Операція виконується на вертикально-фрезерному верстаті. Деталь встановлюють корінними шийками в пристосування. Фрезерують паз шириною 12ПШ дисковою фрезою $\varnothing 60$ мм. Установку фрези на розмір і перевірку паза виконують шаблоном.

Сімнадцята операція – шліфувальна. Шліфування шийок з боку довгого кінця колінчастого валу. Обробку виконують на круглошліфувальному верстаті. Деталь затискають в центрах верстата і послідовно шліфують шийки $\varnothing 90Н$, $\varnothing 85Хз$. Для контролю шліфованих поверхонь в процесі шліфування застосовують прилад активного контролю.

Вісімнадцята операція – шліфувальна. Шліфування шийок короткого кінця колінчастого валу. Операція виконується на круглошліфувальному верстаті. Деталь встановлюють в центри верстата і шліфують шийки $\varnothing 90Н$ і $\varnothing 80С$. Перевірку виконують приладом активного контролю, тобто в процесі шліфування.

Дев'ятнадцята операція – шліфувальна. Шліфування конусної шийки на довгому кінці колінчастого валу. Обробку виконують на круглошліфувальному верстаті. Деталь встановлюють в центри верстата і шліфують шийку з конусністю 1:10. Для шліфування конусів колінчастих валів застосовують прилад активного контролю.

Двадцята операція – шліфувальна. Попереднє шліфування шатунної шийки і галтелей з боку довгого кінця колінчастого валу. Обробку виконують на круглошліфувальному верстаті ХШ-2-02. Базою є ко-

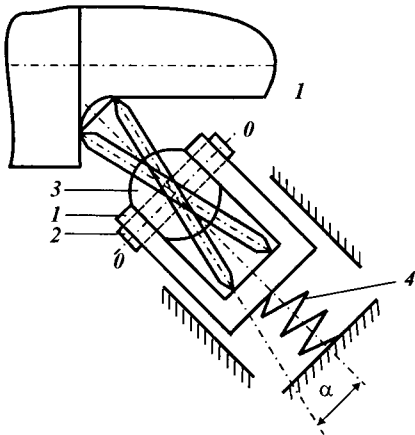


Рис. 13.4. Накатне пристосування: 1 – вилка; 2 – вісь; 3 – ролик; 4 – пружина.

рінні шийки. Спочатку шліфують шийку $\varnothing 92,25_{-0,25}^{-0,01}$ мм і галтелі.

Один із способів зміцнення галтелей шатунних шийок – з допомогою накатного пристосування (рис. 13.4). Ролик качається, і зміцнення здійснюється змінним робочим профілем. У даному пристосуванні кут визначається залежно від радіусу галтелей для обхвату роликками всієї поверхні галтелі.

Двадцять перша операція – шліфувальна. Попереднє шліфування шатунної шийки з боку короткого кінця колінчастого валу. Обробка виконується на круглошліфувальному верстаті ХШ-2-02. Базою є корінні шийки. Спочатку шліфують шийку $\varnothing 92,25_{-0,25}^{-0,01}$ мм і галтелі.

Двадцять друга операція – тонке шліфування. Шліфування шатунної шийки з боку довгого кінця колінчастого валу. Обробка виконується на круглошліфувальному верстаті ХШ-2-02. Базою є корінні шийки. Шліфують шатунну шийку $\varnothing 92,25_{-0,25}^{-0,01}$ мм. Тонке шліфування створює умови для підвищення експлуатаційних властивостей деталі шляхом зменшення коефіцієнта тертя і початкового зносу, забезпечує стабільність результатів обробки. При тонкому шліфуванні з оброблюваної поверхні видаляються дефектні шари металу.

Двадцять третя операція – тонке шліфування. Шліфування шатунної шийки з боку короткого кінця колінчастого валу. Обробка виконується на круглошліфувальному верстаті ХШ-2-02. Базою є корінні шийки. Шліфують шатунну шийку $\varnothing 92,25_{-0,25}^{-0,01}$ мм.

Після шліфування виконують мікродоведення шатунних шийок колінчастих валів. Для зменшення зносу шатунних шийок ставляться певні вимоги до шорсткості поверхні. Для їх виконання застосовувались різні доводочні засоби, в результаті забезпечена шорсткість поверхні $R_a=0,32$ мкм. Для отримання $R_a=0,16$ мкм застосовувалося малопродуктивне полірування шийок абразивною пастою. На Одеському заводі холодильного машинобудування знайшло широке застосування косокутне мікродоведення, яке дало можливість скоротити час шліфування, усунути хвилястість і знизити шорсткість поверхні шатунних шийок з $R_a=0,32$ мкм до $R_a=0,16$ і $0,08$ мкм. Крім того, даний спосіб дав можливість підвищити експлуатаційні властивості деталі шляхом зменшення коефіцієнта тертя і початкового зносу, видалити з оброблюваної поверхні дефектні шари металу і забезпечити стабільність результатів обробки.

Полірування циліндрових шийок і галтелей повністю замінене

косокутним мікродоведенням.

Для мікродоведення застосовують абразивні бруски Э9М20СТЗК, поміщені в спеціальній головці. Обробка виконується на токарно-гвинторізному верстаті, при знятому різцеутримувачі. Число коливань абразивних брусків 3000 в хвилину при куті нахилу їх до оброблюваної осі деталі 10–15°. В процесі обробки застосовують охолоджуючу рідину (80% керосину і 20% веретенного масла), подача якої на оброблювану поверхню відцентровим емульсивним насосом складає 10–12 л/хв. Застосування рідини дозволяє знімати великий шар металу і видаляти стружку із зони обробки.

Обробка проводиться в дві стадії. На першій стадії досягається стійке самогострення бічної поверхні зерен абразиву. Після першої стадії на оброблюваних шийках залишаються подряпини у вигляді кільцевих штрихів. На другій стадії усуваються нерівності, утворені на першій стадії, шляхом пластичної деформації металу, без зняття стружки. Знімання металу відбувається за період 10, 20, 40, 75 секунд. На продуктивність першої стадії впливає час контакту оброблюваної поверхні з гранями абразивного бруска. Необхідний час T визначають з формули: $T = 1/2\pi n$, де n – число коливань бруска; $\pi = \arcsin k$, $k = p/p_1$ – коефіцієнт ефективності, характеризуючий ступінь використання бічних граней бруска; p – амплітуда коливань бруска в період, коли відсутній контакт з оброблюваною деталлю; p_1 – фактична амплітуда коливань бруска при контакті з оброблюваною деталлю. Таким чином, коректуванням того або іншого компонента можна збільшити інтенсивність знімання металу.

Режими обробки. При діаметрі оброблюваних шийок від 25 до 58 мм з частотою обертання від 46 до 54 об/хв хід абразивного бруска в першій стадії дорівнює 2,8 – 3,5 мм за час обробки від 15 до 25 с, а в другій стадії 2,2 – 2,8 мм з тривалістю обробки 20–35 с.

Мікродоведення забезпечує наступну характеристику поверхні шатунних шийок: параметр шорсткості $R_a = 2,5 - 0,08$ мкм, овальність від 4–7 до 2–3 мкм, конусність від 3–4 до 2–3 мкм.

Під час роботи бруски мають поворотно-поступальну ходу на відстані 3 мм уздовж осі. Абразивний брусок має довжину 29 мм, ширину 30 мм і висоту 25 мм. Краї брусків закруглюють радіусом 3 мм.

До мікродоведення шорсткість поверхні шатунної шийки (після шліфування) складала $R_a = 1,2$ мкм.

Двадцять четверта операція – контрольна. Перевіряють колін-

частий вал по всіх параметрах технічних умов. Перевірку здійснюють спеціальним вимірювальним інструментом і контрольними пристосуваннями.

13.1.2. МЕХАНІЧНА ОБРОБКА КОЛІНЧАСТОГО ВАЛУ ОПОЗИТНОГО КОМПРЕСОРА 4М10-100/7

До механічної обробки колінчастого валу опозитного компресора (рис. 13.5) пред'являються великі вимоги по шорсткості, точності і геометрії оброблених поверхонь.

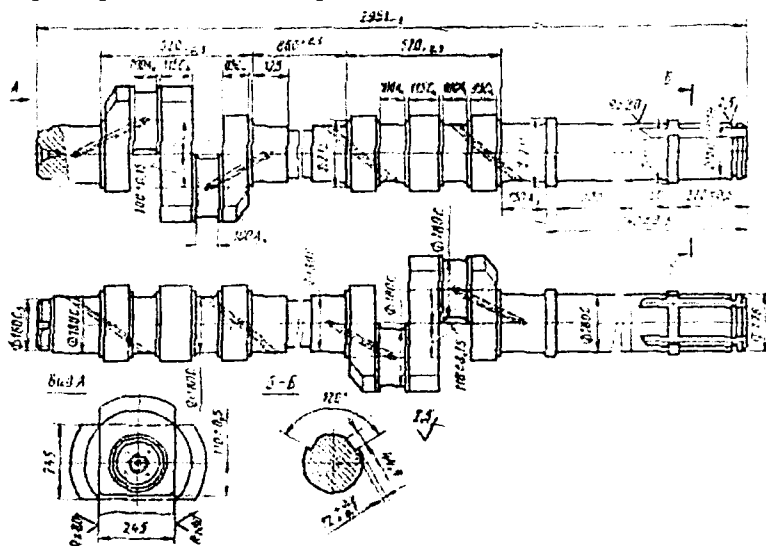


Рис. 13.5. Колінчастий вал опозитного компресора 4М10-100/7.

Такі вимоги обумовлені тим, що від точності виготовлення залежить якість і надійність всіх рухомих частин компресора і дотичних з ними деталей.

Технічні умови на обробку.

1. На остаточно оброблених поверхнях не допускаються тріщини, заходи, розшарування і неметалічні вclusions.
2. Поверхні колінчастого валу повинні бути перевірені на відсутність тріщин методом кольорової або магнітної дефектоскопії.
3. Овальність і конусність шатунних і корінних шийок не повинна перевищувати половини допуску на діаметр.
4. Непаралельність осей шатунних шийок відносно осі корін-

них шийок допускається не більш 0,02 мм на 100 мм довжини.

5. Биття корінних шийок відносно осі колінчастого валу повинне бути не більш 0,03 мм.

6. Непаралельність плоских поверхонь щок повинна бути не більш 0,05 мм на довжині 100 мм. Верхня поверхня щоки повинна бути перпендикулярна бічним поверхням, допускається відхилення до 0,05 мм на довжині 50 мм.

Застосований матеріал. Колінчасті вали виготовляють з поковок (сталь 40, сталь 40Х) або штампувань, залежно від розмірів і серійності. Для значних за розмірами колінчастих валів опозитних компресорів традиційно приймають в якості заготовки поковки з подовженими кінцями для затиску в патроні і підтримки в люнеті. Поковка має великі припуски, шатунні шийки в колінах не формуються, а виготовляються суцільними. Маса поковки забезпечує вельми низький коефіцієнт використання матеріалу. Особливістю виготовлення таких колінчастих валів є багатократна розмітка під механічну обробку на різних операціях, вирізка матеріалу під шатунні шийки і обробка шатунних шийок.

До надходження в механічний цех поковки (рис. 13.6,а) повинні бути ретельно очищені від окалини, що забезпечить велику тривалість роботи ріжучого інструменту до переточування, а також зменшить знос верстатного устаткування, на якому виконується механічна обробка.

Технологічна схема обробки показана на рис. 13.6, а–ф.

Перша операція – розмічальна (рис. 13.6,б). Контроль поковки за основними розмірами і розмітка під механічну обробку. На поковці перевіряють наявність клейма і переносять маркіровку на щоку колінчастого валу. Перевіряють на відповідність розташування щок і шийок колінчастого валу, а також наявність припусків під механічну обробку. Наносять крейдяний розчин на місце, що підлягають розмітці, і розмічають поверхні. При розмітці кінців колінчастого валу залишають припуск на перецентрування від 10 до 20 мм і з одного кінця залишають додатково припуск від 60 до 100 мм для виготовлення зразків, призначених для випробування механічних властивостей матеріалу на відносне подовження, ударну в'язкість, межу текучості і відносне звуження. При розмітці в умовах дрібносерійного виробництва користуються контурним шаблоном, а при індивідуальному виробництві застосовують універсальний розмічальний інструмент.

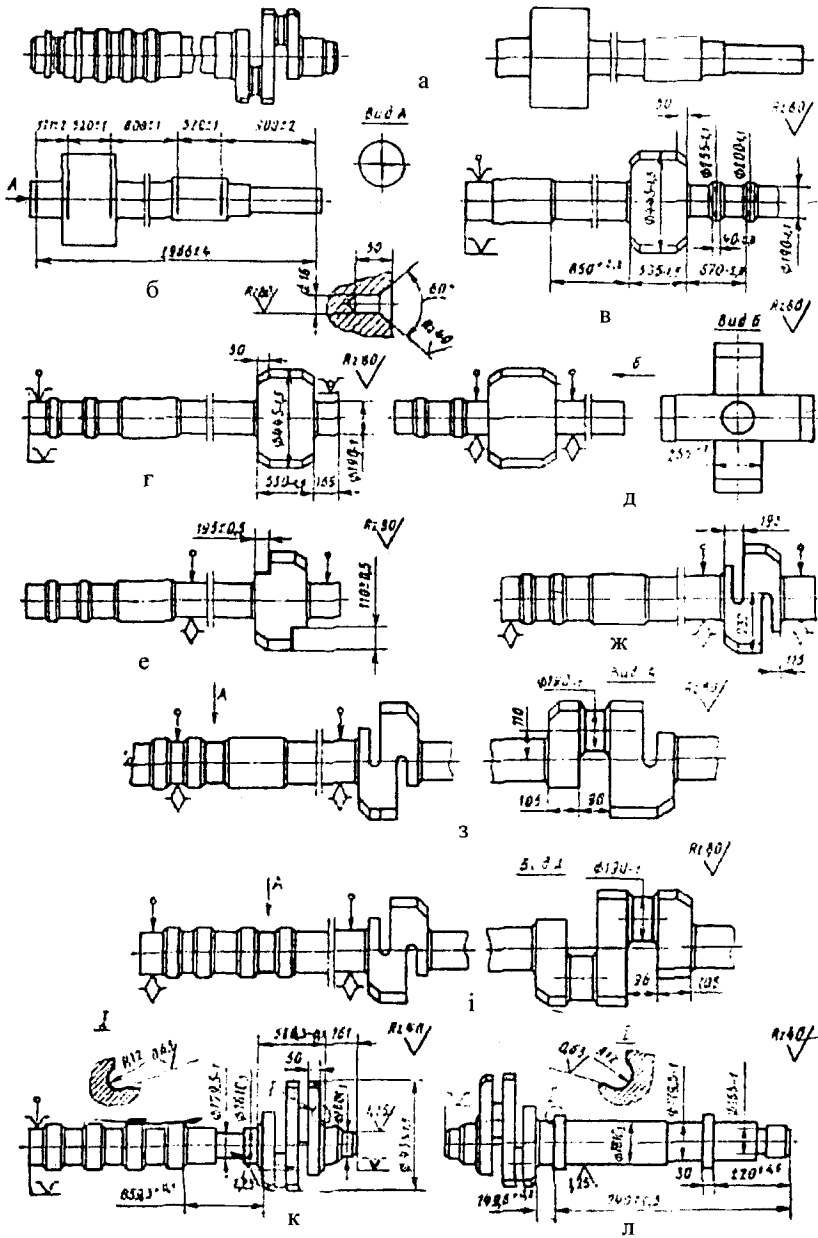
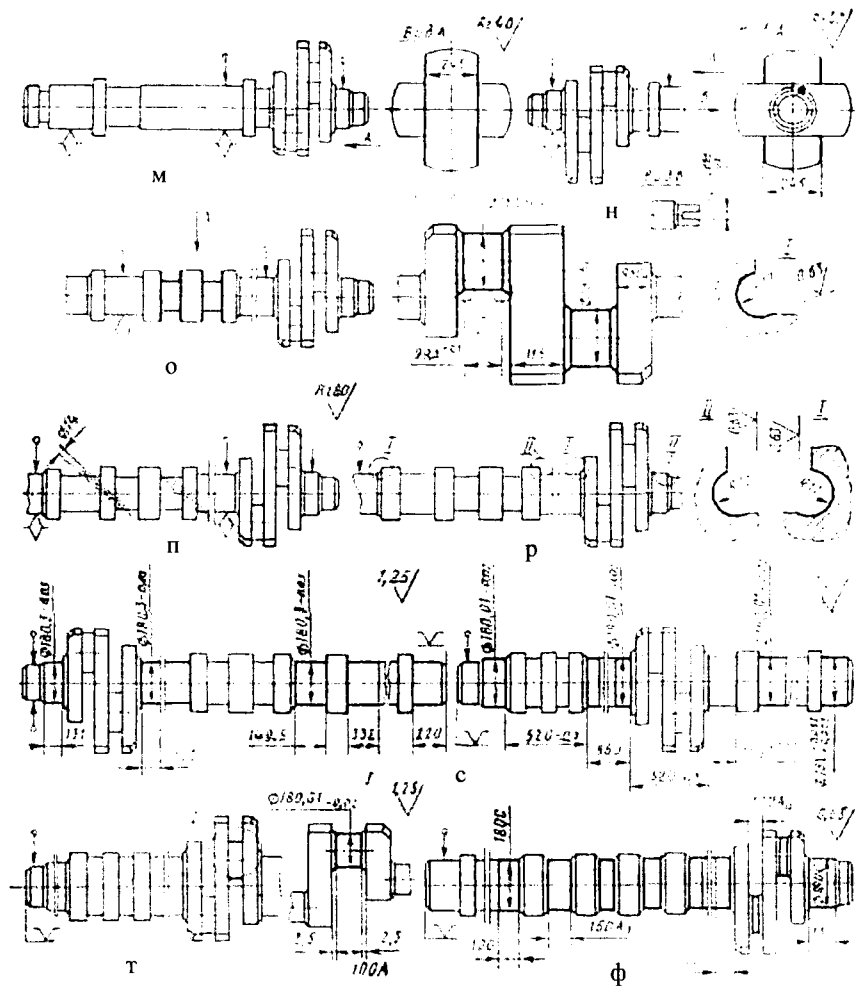


Рис. 13.6. Технологічна схема механічної обробки колінчастого валу опозитного компресора 4M10-100/7.



Продовження рис. 13.6.

Друга операція – відрізна. Відрізка кінців колінчастого валу. Дана операція виконується на відрізному верстаті дисковою пилою з пересувним візком при верстаті. Обробка виконується в два прийоми, зі переустановленням поковок. В окремих випадках відрізки виконують на горизонтально-розточувальному верстаті, суміщаючи дану операцію з центрування торців.

Третя операція – розмічальна (рис. 13.6,б). Розмітка центрових отворів. Поковку встановлюють на призми і на торцях колінчастого

валу наносять осьові лінії, а керном намічають положення центрів. На один з торців колінчастого валу переносять маркіровку, порядковий номер, позначення креслення і номер сертифікату.

Четверта операція – центруюча (рис. 13.6,в). Зацентрування кінців. Обробка виконується на горизонтально-розточувальному верстаті з поворотним столом. Поковка виставляється в призмах і кріпиться, причому вісь колінчастого валу повинна співпадати з віссю шпінделя верстата. Свердлять отвір $\varnothing 16$ мм в торці валу і зенкують до $\varnothing 45$ мм під кутом 60° . Аналогічну операцію виконують на другому торці поковки після повороту на 180° .

При збільшенні серійності цю операцію слід виконати на радіально-свердлильному верстаті, із застосуванням поворотного столу з горизонтальною віссю і діаметром планшайби 1200 мм. На планшайбу встановлюють пристосування для кріплення колінчастого валу. Звичайно поворотний стіл ставлять в пріямку радіально-свердлильного верстата. Як інструмент застосовують комбіноване свердло-зенківку з кутом 60° .

П'ята операція – токарна (рис. 13.6,в,г). Попереднє обточування поверхонь і торців по осі корінних шийок. Обробка виконується на токарно-гвинторізному верстаті. Поковка встановлюється в центри верстата і з боку шпінделя закріплюється чотирьохкулачковим патроном. Таке кріплення дає можливість виконувати обробку з максимальними режимами різання. Операція виконується в дві установки.

Шоста операція – фрезерна (рис. 13.6, д,е). Попереднє фрезерування щок на подовжньо-фрезерному верстаті, що має два горизонтальних і один вертикальний супорт. Поковка встановлюється в пристосування обробленими шийками. Спочатку двома бічними супортами одночасно фрезерують щоки колінчастого валу, потім вертикальним супортом фрезерують уступи на верхніх площинах щок. Обробка щок виконується з припуском 4 – 5 мм.

Сьома операція – розмічальна. Розмітка положення шатунних шийок. Поковку встановлюють на призми і за шаблоном розмічають положення шатунних шийок.

Восьма операція – розточувальна (рис. 13.6, ж). Фрезерування пазів для утворення шатунних шийок. Операція виконується на горизонтально-розточувальному верстаті. Деталь встановлюють в пристосування корінними шийками і за дві установки фрезерують пази.

На деяких заводах для утворення шатунних шийок розмічають коліна під свердління. При розмітці залишають припуск 3–5 мм на

сторону по всьому контуру. Потім свердлять отвори під вирізку зайвого металу. На відрізному верстаті дисковою пилою прорізають зайвий метал по раніше свердлених отворах, а потім видаляють його за допомогою зубила і кувалди. Іноді зайвий метал видаляють за допомогою довбального верстата, але це малопродуктивні способи обробки.

Дев'ята операція – токарна (рис. 13.6,з,і). Попередня обробка шатунних шийок. Операція виконується на токарно-дисковому верстаті МК-138. Деталь встановлюють в пристосування обробленими площинами щок в горизонтальному положенні. Спочатку обробляють одну шатунну шийку і підрізають два торці щок, потім колінчастий вал повертають на 180° і обробляють другу шатунну шийку. Колінчастий вал переустановлюють заново в друге положення, виставляють по щоці і виконують точіння шатунної шийки і підрізування торців щоки, після чого колінчастий вал знову повертають на 180° і обробляють шатуну шийку.

На деяких заводах точіння шатунних шийок і підрізування щок на великих колінчастих валах виконують на спеціальних верстатах з інструментом, що обертається.

Десята операція – токарна. Остаточна обробка. Утворення бази. Операція виконується на токарно-гвинторізному верстаті. Спочатку деталь затискають в центрах верстата і точать шийку під люнет, а потім відсовують задню бабку з центром і колінчастий вал встановлюють в люнет обробленою шийкою, підрізають остаточно торець і розточують центрові конічні отвори під 60° і запобіжну фаску під кутом 120° . Операція виконується за дві установки. Необхідність перецентрування пояснюється тим, що обробка деталі в попередніх операціях здійснювалася з ударними навантаженнями на ріжучий інструмент, внаслідок чого є велика розробка центрових отворів.

Після виконання даної операції на торці колінчастого валу виконують маркіровку порядкового номера деталі, позначення креслення і номер сертифікату.

Одинадцята операція – токарна (рис. 13.6,к,л). Обробка корінних шийок під шліфування виконується на токарно-гвинторізному верстаті. Деталь затискається в центрах верстата і підтримується люнетом. Кінець деталі з боку шпінделя верстата кріпиться чотирьохкулачковим патроном. Обробляються корінні шийки під шліфування, спеціальним пристосуванням шліфуються галтелі і остаточно підрізаються торці щок. Операція виконується за дві установки.

Дванадцята операція – фрезерна (рис. 13.6,м,н). Остаточна об-

робка щок на подовжньо-фрезерному верстаті. На деяких заводах остаточна обробка щок в значних по розмірах колінчастих валах виконується на горизонтально-розточувальному верстаті. Деталь встановлюють в пристосування корінними шийками. Одночасно двома бічними супортами виконують остаточне фрезерування щок. Потім в послідовному порядку вертикальним шпінделем фрезерують пази шпонок і фаски. При фрезеруванні фасок на щоках колінчастий вал повертають в пристосуванні і фіксують його в певному положенні. Настройку ріжучого інструменту для фрезерування щок здійснюють по установам (пальцям) пристосування за допомогою шупа.

Тринадцята операція – токарна (рис. 13.6,о). Остаточна обробка шатунних шийок під шліфування. У деяких конструкціях значних по розмірах колінчастих валів передбачена термообробка корінних і шатунних шийок для забезпечення їх зносостійкості. У таких конструкціях корінні і шатунні шийки гартують і відпускають до необхідної твердості. Після термообробки колінчастий вал очищається від окалини в установці і передається на токарно-гвинторізний верстат для зачистки різцем конусів центрових отворів. Лише після виконання всіх перерахованих операцій приступають до точіння шатунних шийок під шліфування.

Операція виконується на токарно-дисковому верстаті МК-138. Колінчастий вал встановлюють в пристосування корінними шийками і по площині щоки виставляють його в горизонтальне положення. Остаточно обробляють бічні поверхні щок і точать шатунну шийку під шліфування з припуском 0,5 мм на діаметр. Вся операція виконується за чотири установки.

За рубежем на деяких тракторних і автомобільних заводах циліндрові поверхні шатунів, а іноді і корінних шийок колінчастих валів, а також поверхні прилеглих щок і галтелі почали обробляти не точінням, а методом ротаційного фрезерування. Цей метод застосовують за наявності великих партій колінчастих валів. Ротаційне фрезерування характеризується невеликими швидкостями обертання заготовки, великою інтенсивністю знімання металу і високими швидкостями обертання інструменту. При фрезеруванні швидкість різання не залежить від розмірів, конфігурації і ступеня врівноваженості заготовки. Умови різання при ротаційному фрезеруванні набагато кращі, ніж при точінні.

Фірма «Штеер» (Австрія) обробляє колінчасті вали завдовжки від 2 до 4 м з радіусом кривошипа 125 мм на токарно-фрезерних верстатах FKW225 потужністю 50 кВт із стрічним обертанням фрези і

оброблюваної деталі. Деякі фірми обробляють методом ротаційного фрезерування колінчасті вали з радіусом кривошипа від 60 до 280 мм. Для ротаційного фрезерування застосовують фрези великого діаметру (450—1100 мм). Фрези мають вставні твердосплавні ножі, розташовані тангенціально. За даними фірм, продуктивність праці при обробці колінчастих валів методом фрезерування в 6 разів більше, ніж при обробці на токарних верстатах. Істотними недоліками ротаційного фрезерування є переривистий характер різання металу, що не забезпечує необхідну шорсткість оброблюваної поверхні і тим самим примушує збільшувати припуски на шліфування, а також складність виготовлення і заточування ріжучого інструменту.

Чотирнадцята операція – свердлильна (рис. 13.6,п). Свердління змашувальних отворів. Операція виконується на радіально-свердлильному верстаті. Колінчастий вал встановлюють в поворотне пристосування. Свердлять всі змашувальні отвори на корінних і шатунних шийках. До свердління отворів цекують площини на циліндрових поверхнях на глибину 4 мм для введення свердел.

П'ятнадцята операція – токарна (рис. 13.6,р). Накатка галтелей. Обробка виконується на токарно-гвинторізному верстаті. Колінчастий вал встановлюється в центрах верстата і закріплюється шийками в чотирьохкулачковому патроні. На супорті верстата закріплюють накатувальне пристосування, за допомогою якого виконують нагартування поверхонь галтелей.

У Англії і США для підвищення міцності колінчастих валів застосовують спеціальне устаткування, на якому виконують зміцнення шийок накаткою поверхонь роликками. Ролики випробовують тиск, який поступово збільшується, досягаючи максимальної величини на п'ятому обороті колінчастого валу, і зберігається протягом 10–12 с.

Потім тиск плавно знижується. Тиск на ролики здійснюється гідравлічним приводом. Фірма «Хеген-штан» (Німеччина) виготовляє верстати для накатки галтелей колінчастих валів, які збільшують втомну міцність на 60%. Накатка виконується одночасно на галтелях всіх шатунних і корінних шийок.

Шістнадцята операція – шліфувальна (рис. 13.6,с). Шліфування циліндрових поверхонь, розташованих уздовж осі корінних шийок. Обробка виконується на круглошліфувальному верстаті ХШ-335. Деталь встановлюється в центрах верстата і підтримується люнетом. Колінчастий вал виставляють по індикатору з биттям не більш 0,03 мм. Послідовно шліфують шийки до необхідних розмірів. Для виміру

шліфуваних діаметрів застосовують мірні скоби і мікрометри.

Сімнадцята операція – шліфувальна (рис. 13.6,т). Остаточна обробка шатунних шийок. Операція виконується на спеціальному верстаті. Колінчастий вал встановлюється на остаточно оброблені корінні шийки і підтримується люнетом. Обробка шатунних шийок колінчастих валів є вельми трудомісткою і складною операцією у зв'язку з тим, що вони повинні бути орієнтовані з певною точністю по відношенню до корінних шийок. Виходячи з цих міркувань, при обробці шатунних шийок за технологічну базу приймають оброблені корінні шийки, а у разі потреби, залежно від конструкції колінчастих валів, базові площадки на щоках. Якщо обробка виконується не на спеціальному верстаті, то застосовують спеціальне пристосування, що дозволяє сумістити осі оброблюваних шатунних шийок з віссю обертання шпінделя верстата, а вісь корінних шийок зміщується на радіус кривошипа.

У послідовному порядку шліфують шатунні шийки. Для виміру оброблюваних шийок використовують мікрометр. Для обробки значних за розмірами колінчастих валів бази М16, М25, М40 застосовують спеціальні верстати фірми «Шмальц» (Німеччина).

Вісімнадцята операція – полірувальна (рис. 13.6,ф). Полірування корінних і шатунних шийок. Операція виконується на спеціальному доводочному верстаті. Доведення виконується алмазними еластичними стрічками.

Дев'ятнадцята операція – слюсарна. Колінчастий вал встановлюють на спеціальний стенд, де полірують виходи змащувальних отворів і закругляють всі гострі поверхні.

13.1.3. МЕХАНІЧНА ОБРОБКА ВЕДУЧОГО РОТОРА ГВИНТОВОГО КОМПРЕСОРА 14ВК

Ротор компресора показаний на рис. 13.7.

Технічні умови на обробку.

1. Заготовка повинна бути перевірена ультразвуком і дефектоскопом на відсутність внутрішніх дефектів.
2. Після попереднього фрезерування профілю гвинта заготовка повинна бути термічно оброблена для зняття внутрішніх напруг.
3. Биття зовнішнього діаметру гвинта відносно осі центрів допускається не більш 0,03 мм.
4. Овальність і конусність циліндрових поверхонь – не більш

0,01 мм.

5. Биття торців гвинта відносно осі центрів – не більш 0,01 мм.
6. Ротори балансувати на опорних поверхнях. Небаланс допускається не більш 5 г·см.
7. Коливання кроку торця – не більш 0,03 мм.
8. Профіль западини гвинта перевіряти шаблоном в нормальному розрізі. Допускається зазор не більш 0,03 мм між шаблоном і профілем зуба гвинта на 1/4 довжини контрольованого профілю.
9. Відхилення розташування паза шпонки відносно осьової площини – не більш 0,03 мм.
10. Биття технологічного бурту відносно осі циліндрів – не більш 0,01 мм.
11. Дані обміру механічної обробки і балансування заносити в паспорт ротора.

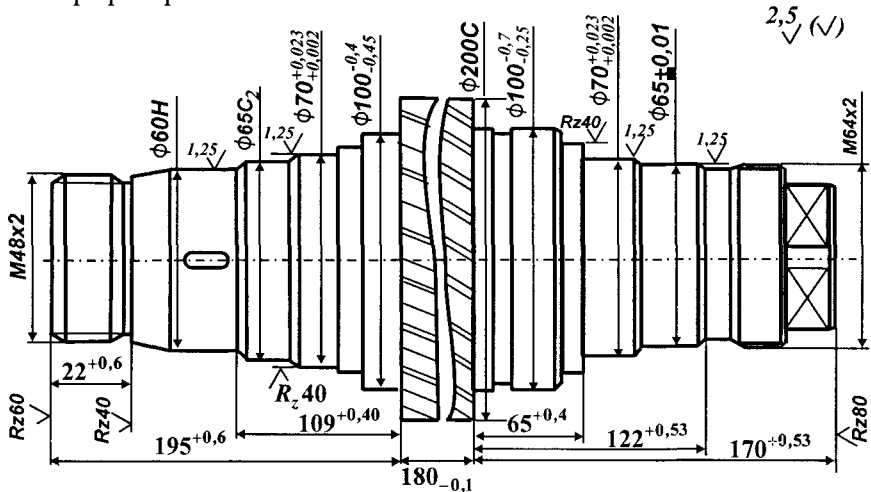


Рис. 13.7. Ротор гвинтового компресора 14ВК.

Матеріал і вид заготовки. Ротори виготовляють у вигляді поковки із сталі 45. Поковка повинна мати твердість НВ 174–217. Перед запуском в роботу заготовка повинна бути очищена від окалини і перевірена дефектоскопом на відсутність внутрішніх тріщин.

Технологічна схема обробки показана на рис. 13.8,а–и.

Перша операція – центруюча. Створення бази. Виконується на фрезерно-центруючому верстаті ФЦ-2. Заготовку встановлюють в пристосування і кріплять двома призмами так, щоб центр заготовки

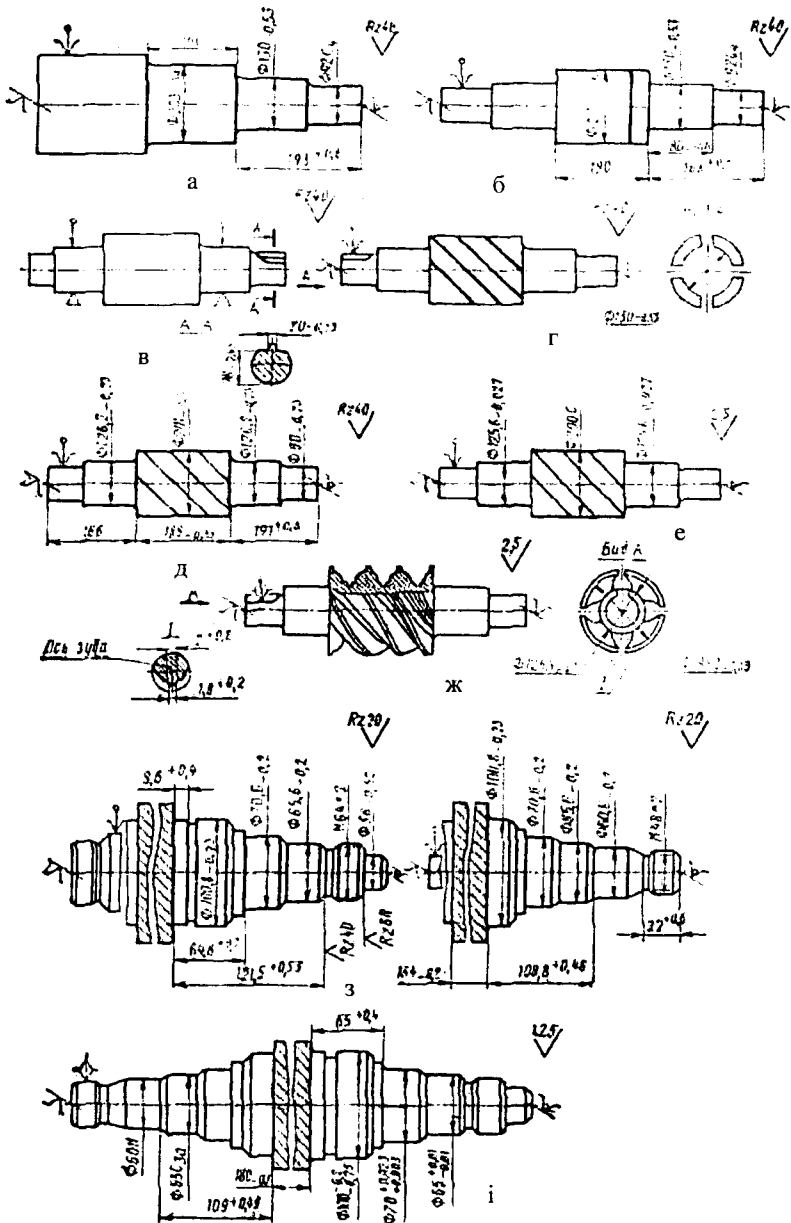


Рис. 13.8. Технологічна схема механічної обробки ротора гвинтового компресора 14ВК.

розташовувався на одній висоті по всій її довжині. Спочатку фрезують одночасно два торці на заданий розмір, потім виконують одночасно центрування отворів з двох сторін ротора.

Друга операція – токарна (рис. 13.8,а,б). Заготовка затискається в центрах токарно-гвинторізного верстата і кріпиться в чотирьохкулачковому патроні, що створює велику жорсткість і дає можливість застосовувати високі режими різання. Попередньо обробляють діаметри і торці за дві установки. При збільшенні серійності операція виконується на токарно-копіювальному напівавтоматі 1722.

Третя операція – токарна. Заготовка затискається в центрах токарно-гвинторізного верстата і кріпиться в чотирьохкулачковому патроні. Потім відводять задній центр і до обробленої шийки підводять люнет. На даній операції виконуються остаточне підрізування торців заготовки і остаточна обробка центрових отворів. В процесі обробки заготовку переустановлюють в патроні і люнеті. До даної операції пред'являються великі вимоги, оскільки створюється база для нарізки зубів ротора.

Четверта операція – фрезерна (рис. 13.8,в). Виконується на горизонтально-фрезерному верстаті. Заготовка встановлюється в пристосування, що забезпечує паралельність осі ротора ложі верстата. На шпінделі верстата закріплюються дві дискові фрези одного діаметру і фрезерується технологічний виступ, який використовується в подальших операціях при нарізуванні зубів ротора.

Зуби гвинтових компресорів мають симетричний і асиметричний профілі. До симетричних профілів відносяться: циклоїдні і рідко вживані гіпоциклоїдні окружні, в яких профільною кривою є коло, а також еліптичний профіль (де профілем кривої є еліпс).

До асиметричного профілю відносяться складові з гілок симетричних профілів в різному поєднанні.

У ряді конструкцій поєднуються циклоїдний і окружний профілі. У даній конструкції окружний профіль задається передньою частиною зуба, а циклоїдний – тиловою частиною профілю зуба. За наявності великих партій обробка виконується в багатомісному пристосуванні.

П'ята операція – фрезерна (рис. 13.8,г). На спеціальному верстаті нарізують зуби ротора. Деталь затискають в центрах і технологічним виступом фіксують положення за допомогою спеціального поводкового патрона. Патрон має фіксуючий пристрій, що забезпечує точний поворот деталі на 90°. Спочатку нарізують попередню канав-

на заданий крок спіралі. Канавка утворюється від поєднання обертального руху заготовки і переміщення її уздовж осі. Після виготовлення першої канавки заготовку повертають на 90° і фрезерують другу канавку, утворювану аналогічно першій. За чотири положення заготовки (кожне положення відповідає повороту на 90°) виконується попередня нарізка зубів ротора. Ця операція найбільш трудомістка і найвідповідальніша у всій механічній обробці не тільки ротора, але і базових деталей всієї решти гвинтового компресора.

Ротори гвинтових компресорів слід розглядати як пару косозубих крупномодульних зубчатих коліс з малим числом зубів, що мають спеціальний профіль. Профіль фрези для попередньої обробки аналогічний фрези, яка застосовується для обробки різних пазів.

Методи нарізки роторів як у нашій країні, так і за рубежом малопродуктивні і не забезпечують необхідної точності профілю роторів. Прийнята технологія і устаткування неминуче викликали необхідність доведення профілю на фарбу, виконуваного при збірці компресора.

Зараз спеціальні металоріжучі верстати для нарізування зубів роторів виготовляються фірмою «Холройд» (Англія), яка поставляє їх в США, Японію, Бельгію, Францію, Росію і Україну. Фірма «Холройд» випускає верстати трьох типорозмірів для нарізування роторів діаметром від 100 до 800 мм.

Для отримання точного профілю ротора одночасно з точним і жорстким устаткуванням необхідно мати ріжучий інструмент високої точності як за профілем, так і по діаметру і високу стійкість для забезпечення постійного профілю по всій нарізуваній довжині ротора.

В деяких випадках чистова обробка западин великих роторів з круглим симетричним профілем виконується різцем, закріпленим в спеціальному пристосуванні, яке встановлюється в шпіндель верстата замість профільної фрези. Різець одержує обертання по колу від головки шпінделя і одночасно переміщається по радіусу перпендикулярно осі обертання. В результаті поєднання цих двох рухів на роторі обробляється западина кульового профілю. Чистота обробки і точність кульового профілю в даному випадку вищі, ніж при обробці фасонною фрезою.

Остаточний контроль профілів роторів, що з'єднуються, здійснюється на спеціальному верстаті.

При контролі шупом перевіряють сумарний зазор за профілем гвинтів і дані вносять в паспорт роторів. Контролю піддають 100%

роторів, що виготовляються.

Подальше удосконалення технології виготовлення роторів направлене на отримання заготовки з попереднім профілем зуба. Зараз на деяких заводах проводять випробування по нарізуванню зубів роторів з попереднім профілем зуба.

Для роторів діаметром до 150 мм є стенд гарячої накатки зубів роторів. Отримання профілю зуба в заготовках роторів скоротить час фрезерування на 30% і зменшить витрату дорогоцінного інструменту.

Шоста операція – токарна (рис. 13.8,д). Остаточна обробка під шліфування базових діаметрів ротора. Деталь затискається в центрах токарно-гвинторізного верстата і закріплюється в чотирьохкулачковому патроні. На даній операції виконується також остаточне підрізування торців деталі. Після обробки відводять центр задньої бабки і вільний кінець деталі центрують в люнеті. Потім розточувальним різцем правлять центри з обох боків за дві установки.

Сьома операція – шліфувальна (рис. 13.8,е). Шліфуються базові діаметри ротора на круглошліфувальному верстаті. Ротор закріплюється в центрах верстата.

Восьма операція – фрезерна (рис. 13.8,ж). Остаточна нарізка зубів ротора. Операція виконується на спеціальному верстаті фірми «Холройд» (Англія). Ротор центрується обробленими шийками і перевіряється на биття. Максимально допустиме биття 0,01 мм. Така вимога викликана жорсткими технічними умовами на виготовлення ротора. На даній операції виконується попередня і остаточна обробка профілю зубів і западин ротора спеціальними гострозаточеними профільними фрезами. Потім встановлюють в шпіндель верстата набір з двох спеціальних фрез і виконують фрезерування вусика на профілі зуба. Обробка здійснюється з однієї установки деталі.

Дев'ята операція – токарна (рис. 13.8,з). Обробка шийок під шліфування. Деталь затискають в центрах токарно-гвинторізного верстата і закріплюють один кінець в патроні. Виконується остаточна обробка шийок ротора під шліфування з двох установок.

Десята операція – шліфувальна (рис. 13.8,і). Шліфування шийок. Ротор закріплюється в центрах круглошліфувального верстата. Шийки шліфують в остаточний розмір з двох установок.

Одинадцята операція – фрезерна. Фрезерування квадрата. Операція виконується на вертикально-фрезерному верстаті. Один кінець деталі закріплюють в ділильній головці, а другий – встановлюють в стійку. Фрезерують сторони квадрата з поворотом ділильної головки.

За наявності великих партій операція може виконуватися більш продуктивно із застосуванням багатомісного пристосування з одночасним фрезеруванням декількох роторів.

Дванадцята операція – фрезерна. Фрезерування пазів. Виконується на вертикально-фрезерному верстаті. Деталь закріплюється в пристосування з базою на квадрат. Фрезерують всі шпонкові пази на периферії циліндрових поверхонь шийок. На цьому завершується механічна обробка веденого ротора. Обробка ведучого ротора аналогічна.

Після механічної обробки ротор проходить остаточний контроль по всіх параметрах, передбачених в технічних умовах.

Устаткування, пристосування і інструмент. *Верстат для стругання роторів гвинтових компресорів фірми «Адольф Волдріх» (Німеччина).* Принцип роботи верстата заснований на тому, що заданий профіль і кут підйому гвинтової лінії утворюються в результаті поєднання обертального і подовжнього руху деталі і відповідної установки різця.

Стругання виконується одним або декількома різцями залежно від геометричної форми і розміру ротора. Перехід від одного витка до іншого здійснюється автоматично після остаточної обробки профілю. При обробці роторів великих діаметрів профіль ротора утворюється за допомогою двох і більш різців, слідує один за одним. Точність взаємного положення різців забезпечується попередньою установкою їх в касету поза верстатом, подальшим кріпленням касети в супорті і настройкою супорта за допомогою оптичного пристосування.

Технічна характеристика верстата

Максимальний діаметр оброблюваної деталі, мм.....	670
Максимальна довжина стругання, мм.....	1500
Максимальна довжина столу з урахуванням установки люнета, мм.....	2000
Кут підйому гвинтових ліній, градуси.....	30–75
Швидкість стругання, м/хв.....	4–40
Розміри верстата (довжина x ширина x висота), мм.....	6100x3100x2500

Верстат фірми «Холройд» (Англія) для заточування гострозаточених фрез. На копіювально-заточному верстаті заточування фрез виконується за допомогою шліфувальної головки, яка своїм шупом притискається до шаблону і рухається по його поверхні. Шліфувальна головка закріплюється на шарнірно-зчленованих важелях, які дають їй вільне переміщення в горизонтальній площині. Точність від-

творення профілю шаблону досягає 0,012 мм. Шаблони (копіри) для заточування фрез виготовляються на профільно-шліфувальному верстаті високої точності. Допустиме відхилення від теоретичного профілю не перевищує 5 мкм.

Технічна характеристика верстата

Максимальний діаметр фрези, мм.....	610
Ширина зубів, мм	203
Діаметр шліфувального круга, мм	178
Частота обертання шліфувального круга, об/хв.....	2900
Маса, кг.....	320

Технічна характеристика верстатів фірми «Холройд» дана в табл. 13.1.

Верстати моделі 8А мають додаткову головку, за допомогою якої можна переналадити верстат для фрезерування роторів діаметром від 120 до 600 мм. Звичайно ротори цих діаметрів обробляють на верстатах моделей 2А і 5А.

Таблиця 13.1

Модель верстата	Максимальні параметри				Діаметр отвору фрези, мм	Площа, займана верстатом, мм
	Діаметр шийки, мм	Кут кроку, град	Хід робочого супорта, мм	Діаметр фрези, мм		
2А	250	70	1400	254	60	2898x4420
5А	630	60	1800	420	100	5984x6500
8А	830	60	1800	600	100	5984x8230

Верстати фірми «Холройд» мають жорстку конструкцію. Принцип роботи верстата наступний. Нарізувальна деталь, яка встановлена в центрах і підтримується люнетом, переміщається уздовж головки.

Фрезерна головка наструюється на кут підйому змінними шестернями і доводиться вручну. Точність установки контролюється спеціальним оптичним приладом.

Фрезерування роторів діаметром до 200 мм виконується у напрямі подачі, а роторів великих діаметрів – проти подачі.

Пристосування для контролю лінійних розмірів колінчастих валів (рис. 13.9). В процесі обробки колінчастих валів виникає необхідність виконувати перевірку аксіальних розмірів від основної бази торця корінної шийки до торців шатунних шийок. Вимірювання ускладнюються тим, що торці шатунних і корінних шийок лежать в різних площинах. На Уральському компресорному заводі почали за-

стосовувати індикаторне пристосування, що дозволяє виконувати вимірювання довжин по операціях в процесі обробки колінчастих валів з точністю 0,01 мм.

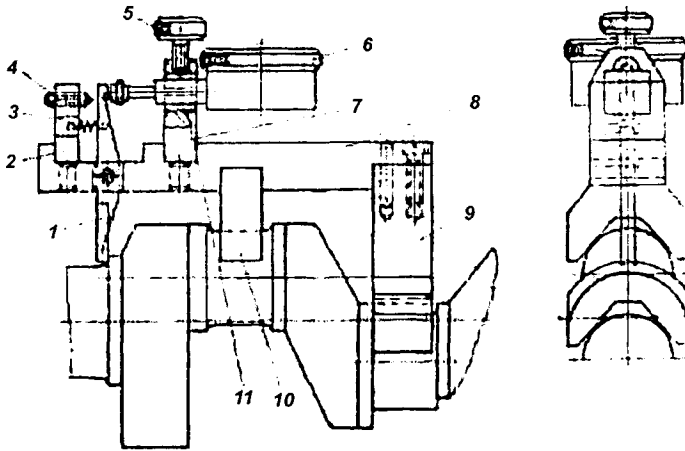


Рис. 13.9. Пристосування для контролю лінійних розмірів колінчастих валів.

Пристосування наструюється на заданий розмір по еталонній деталі. Допустимий діапазон вимірювань 1 м.

Пристосування складається з наступних деталей: корпус 8, до якого кріпляться призми 9 і 10 (9 – опорна, 10 – базуюча); важеля 1, розташованого в прорізі корпусу і насадженого на вісь, з якою разом гойдається. Під час проміру один кінець важеля упирається в торець корінної шийки колінчастого валу, а інший контактує з наконечником індикатора 6, закріпленого в стійці 7 за допомогою гвинтів 5 через розрізну втулку 11. Регулюванням гвинта 4, встановленого в стійці 2, і дією пружини 3 забезпечується постійність контакту важеля з торцем деталі, що перевіряється.

Пристосування для накатки колінчастих валів (рис. 13.4). На Ульяновському моторному заводі в співдружності з політехнічним інститутом упроваджений ефективний спосіб накатки галтелей роликами з профілем, що «гойдається». Ролик 3 вмонтований в пристосування. У зв'язку з тим, що робочий профіль ролика розташований неперпендикулярно осі обертання О–О і вилка 1 здійснює поворотно-поступальну ходу під впливом пружини 4, на поверхні галтелі утво-

рюється синусоїдальний слід, що створює зміцнюючу смугу. Матеріал роликів – сталь ХВГ або сталь ШХ15.

Під час накатки до галтелі подають сульфозфрезол. Тривалість накатки однієї галтелі 40–50 с при $n = 200$ об/хв.

Прилад активного контролю при шліфуванні конусів колінчастих валів. Прилад призначений для контролю діаметру конічних поверхонь колінчастих валів в процесі обробки на верстаті 3А161. Прилад створений на базі серійного приладу БВ-1096 з пневматичною двохконтактною скобою У2-125. Метрологічна схема вимірювання передбачає контроль діаметрального розміру конічної поверхні в одному розрізі, на відстані 50 мм від базового торця.

Вимірювальний пристрій закріплюється на столі верстата. Підведення і відведення вимірювальної скоби, розташованої на скалці, до контрольованої поверхні здійснюється поршнем гідроциліндра двосторонньої дії, який сполучений краном БВ4071 з гідросистемою швидкого підвода шліфувальної бабки.

Вимірювальна скоба жорстко фіксується призмою і упорним гвинтом. Вона сполучена з кронштейном, на якому закріплений твердосплавний наконечник, що забезпечує базування деталі по торцю. Налаштування вимірювальної скоби виконується по еталонній деталі.

Особливість даного приладу полягає у тому, що після досягнення заданого розміру конусної частини деталі, що перевіряється, відліковий пристрій дає сигнали на припинення шліфування і автоматичне відведення шліфувальної бабки і вимірювальної скоби.

Технічні дані приладу

Точність вимірювання, мм	±0,002
Напруга мережі, що підводиться, В	220
Маса вимірювальної частини, кг	12

Для фрезерування фірма «Холройд» (Англія) застосовує гострозаточені фрези зі вставними ножами. Гострозаточені фрези мають великі переваги в порівнянні із затилованими. Заточування таких фрез виконується алмазним кругом на спеціальних копіювально-заточних верстатах по задній грані з високою точністю і чистотою. Задній кут у таких фрез на всій ділянці профілю залишається постійним. Гострозаточені фрези застосовують для нарізування роторів різних діаметрів, вони забезпечують отримання точного профілю при обробці 20–25 роторів.

Для роторів діаметром до 500 мм застосовують фрези з повним профілем, а понад 500 мм – з половинним профілем.

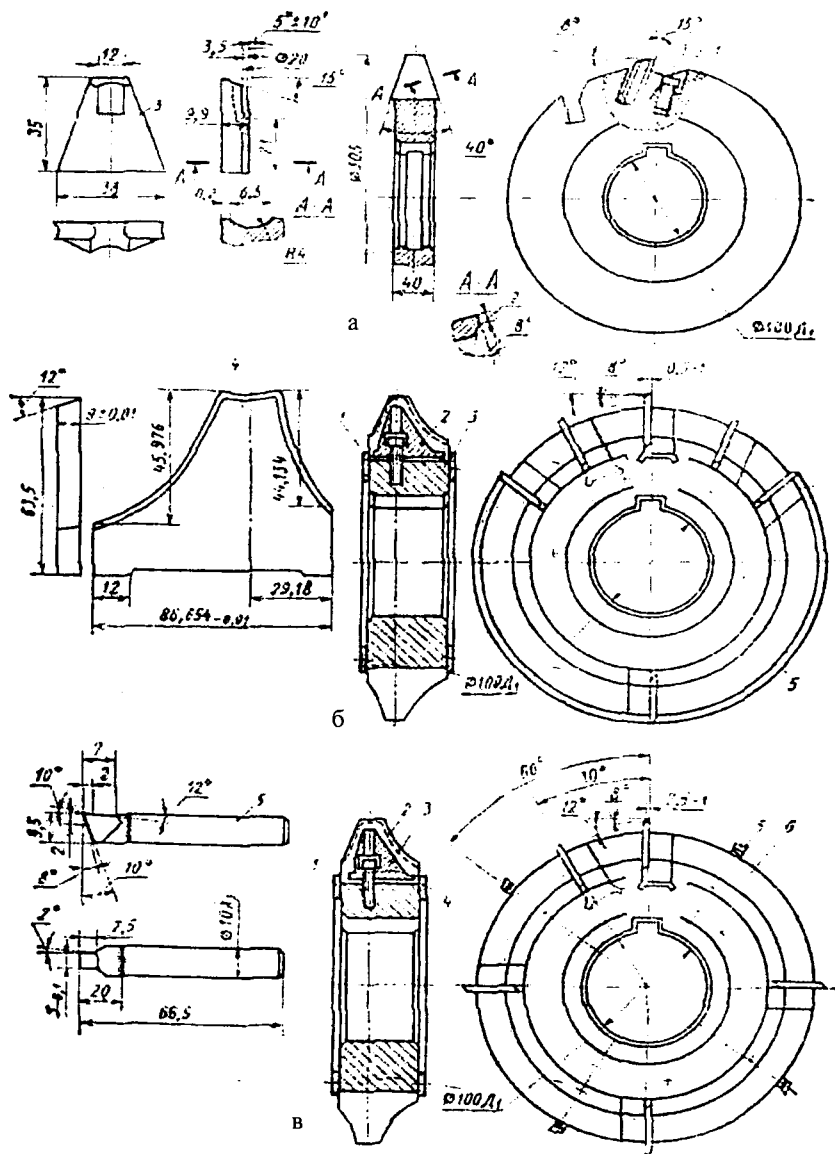


Рис. 13.10. Комплект фрез для обробки профілю ведучого ротора гвинтового компресора на верстаті "Холройд": а – фреза дискова чорнова для попередньої обробки (1 – корпус; 2 – клин; 3 – ніж); б – фреза дискова напівчистова (7, 3 – кільця; 2 – клин; 4 – ніж; 5 – корпус); в – фреза дискова чистова (1, 4 – кільця; 2 – ніж; 3 – клин; 5 – різець; 6 – корпус).

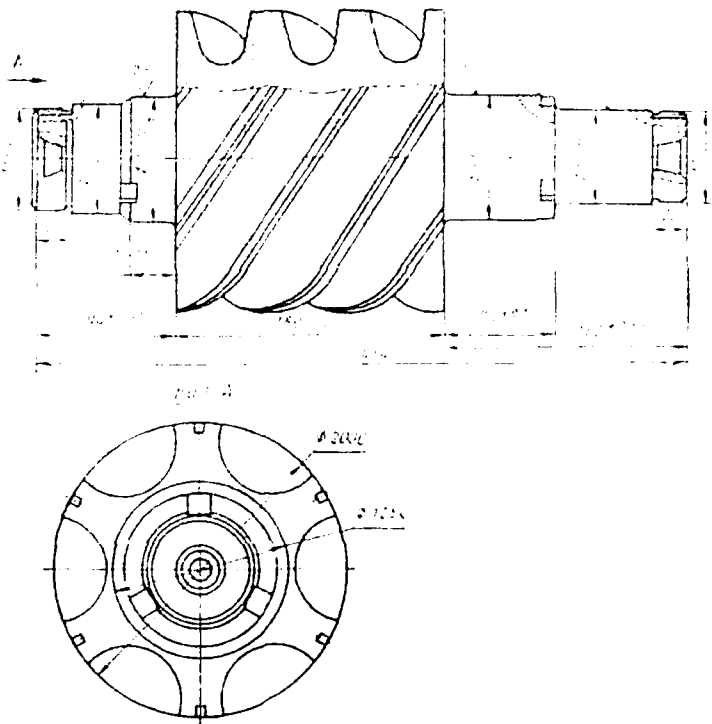


Рис. 3.11. Ведений ротор компресора 14ВК.

Комплект фрез (рис. 13.10) для обробки веденого ротора (рис. 13.11) складається з трибічних дискових фрез для чорнової, напівчистої і чистої обробки і набору дискових фрез для формування поясочка ущільнювача. Аналогічний комплект ріжучого інструменту застосовується для обробки ведучого ротора, з деякою відмінністю в профілі ротора компресора комплектом фрез.

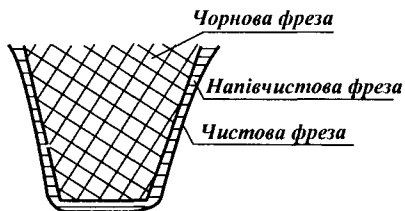


Рис. 3.12. Схема утворення зуба провідного ротора компресора комплектом фрез.

На рис. 13.12 дана схема утворення профілю зуба при обробці комплектом фрез. Ведений і ведучий ротори можуть оброблятися на різних верстатах; при цьому буде забезпечена повна взаємозамінність деталей. Це досягається завдяки високій точності устаткування, ін-

струменту і взаємного розташування деталей і інструменту в процесі обробки.

Контрольне пристосування для перевірки зсуву осі шатунних шийок відносно осі корінних шийок (рис. 3.13) встановлюють опорними базами на корінні шийки колінчастого валу. Пристосування має три індикатори, з них два розташовані в одній площині, а третій — під кутом 90° . Стрілки індикаторів настроюють на нульове положення, і будь-яке відхилення показує величину зсуву осей шатунних і корінних шийок. Вимірювання виконується на обох шатунних шийках в різних положеннях.

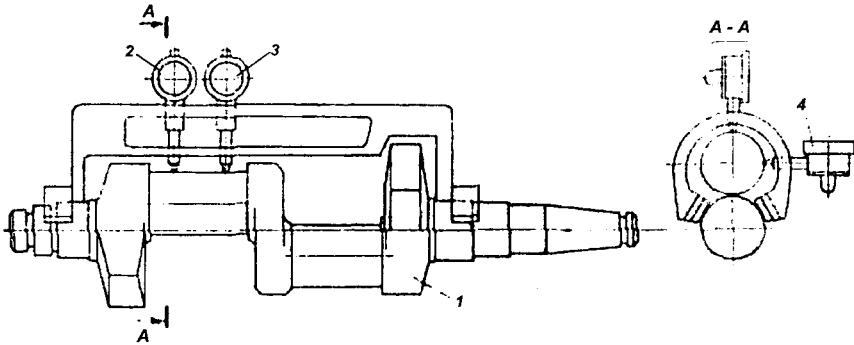


Рис. 3.13. Контрольне пристосування для перевірки зсуву осі шатунних шийок відносно осі корінних шийок в колінчастому валу уніфікованого поршневого компресора УУ-220: 1 – колінчастий вал; 2, 3, 4 – індикатори.

13.2. ОБРОБКА ПОРШНІВ

Найширше застосування набули поршні тронкові, дискові і диференціальні. У поршневих бескрейцкопфних компресорах застосовують тронкові поршні, які безпосередньо з'єднуються з шатунами за допомогою поршневих пальців. Поршні цієї конструкції застосовуються в холодильних, повітряних і газових компресорах. Тронкові поршні сприймають додаткові бічні зусилля, діючі упродовж осі шатунів, тому пред'являються особливі вимоги до шорсткості зовнішньої поверхні поршнів і точності їх виготовлення.

Всі тронкові поршні мають наскрізний отвір під поршневий палець, який проходить через весь його діаметр.

Дискові поршні широко застосовуються в горизонтальних і вертикальних компресорах крейцкопфного типу. Дискові поршні

вертикальних машин працюють в сприятливіших умовах, ніж горизонтальних машин. Це пояснюється тим, що в горизонтальних машинах дискові поршні сприймають додаткові зусилля від тертя об стінки циліндрів під впливом своєї ваги. Це приводить до швидкого зносу поверхонь, що сполучаються, і створює небезпеку для цілісності внутрішніх поверхонь циліндрів через задіри, виникаючі при терті. Тому верхня частина дискових поршнів великих горизонтальних машин мають конус, що значно зменшує поверхню, що сполучається з циліндром, а в нижній частині – зовнішню поверхню, залиту бабітом.

Диференціальні поршні застосовуються в багатоступінчатих компресорах високого тиску і малої продуктивності. Конструкція диференціальних поршнів допускає їх самоустановлення по осі циліндра завдяки з'єднанню з плаваючим шарніром, що має кульову форму.

13.2.1. МЕХАНІЧНА ОБРОБКА ПОРШНЯ УНІФІКОВАНОГО ПОРШНЕВОГО КОМПРЕСОРА УУ-220

Поршень уніфікованого поршневого компресора УУ-220 показаний на рис. 13.14.

Технічні умови на обробку.

1. Максимальне відхилення маси поршня не більш 10 г. Зміну маси здійснюють розточуванням $\varnothing 102$ до 107 мм на довжині не більш 25 мм.

2. Биття технологічної виїмки $\varnothing 102$ мм відносно необробленої поверхні поршня не більш 0,5 мм.

3. Овальність і конусність $50_{-0,028}^{-0,006}$ мм не більш 1/3 допуску на обробку.

4. Знос отвору $\varnothing 50_{-0,028}^{-0,006}$ мм з осі поршня $\varnothing 114,8C_3$ не більш 0,25 мм.

5. Неперпендикулярність осі отвору $\varnothing 50_{-0,028}^{-0,006}$ мм до вертикальної осі поршня – не більш 0,02 мм на довжині 100 мм.

6. Биття торців канавок під поршневі кільця відносно $\varnothing 114,8C_3$ – не більш 0,05 мм.

7. Неперпендикулярність торця А відносно осі $\varnothing 114,8C_3$ – не більш 0,01 мм на висоту поршня.

8. Профіль головки перевіряти за шаблоном.

За базу приймають виїмку $\varnothing 102$ мм.

Застосований матеріал. Поршні швидкохідних машин виготовляють в основному із спеціальних алюмінієвих сплавів полегшеної конструкції з вирізами по бічній поверхні, які одночасно зменшують роботу тертя. Поршні тронкові відливають з чавуну СЧ24-44 або СЧ28-48. Дискові поршні ступенів низького тиску найчастіше виготовляють зварними із сталі або відливають з алюмінієвих сплавів. Диференціальні поршні низького і середнього тиску виготовляють з чавуну. Поршні восьмициліндрових уніфікованих поршневих компресорів УУ-220 відливають з алюмінієвого сплаву АЛ10В (ГОСТ 2685-75). Відливання в кокіль. Поршні мають масу 1,78 кг. У механічний цех алюмінієві поршні поступають відпаленими після литва до твердості НВ 85. Під час обробки як змащувально-охолоджуючу рідину застосовують гас; ріжучий інструмент з твердосплавними пластинками ВК6.

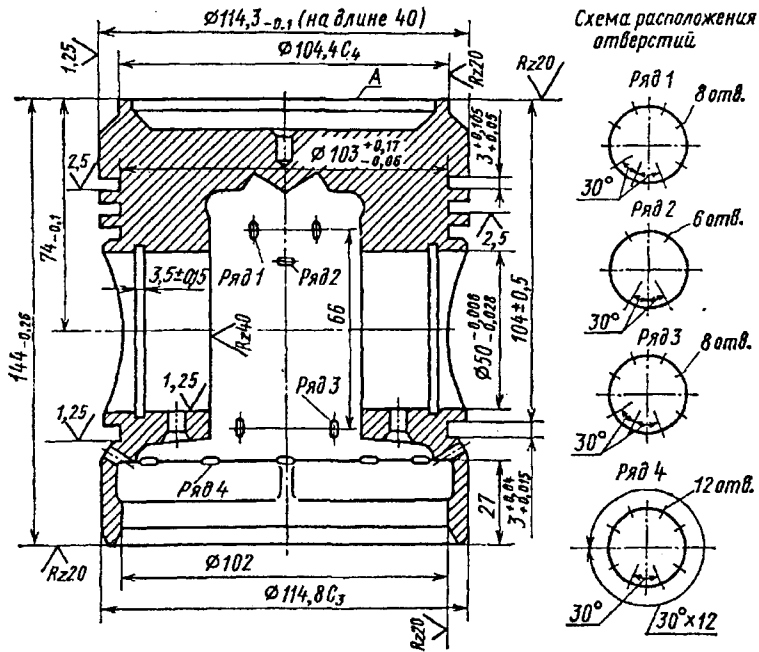


Рис. 13.14. Поршень уніфікованого поршневого компресора УУ-220.

Перша операція – токарна (рис. 13.15). Створення бази. Заготовку встановлюють в пристосування на токарний багаторізцевий напівавтомат 1Б708 і одночасно підрізають торець і розточують виїмку $\varnothing 102$ мм. З другого боку свердлять і зенкують отвір $\varnothing 6,7$ мм. Виб-

рана база забезпечує отримання однакової товщини стінки поршня при обробці по зовнішньому діаметру. Ріжучий інструмент – різці з твродсплавною пластинкою ВК6. Режими різання: при підрізуванні торця $n=710$ об/хв; при розточуванні виїмки $\varnothing 102$ мм $n=710$ об/хв; $s=0,3$ мм/об; при свердлінні центрального отвору $n=710$ об/хв; $s=0,15$ мм/об (при ручній подачі).

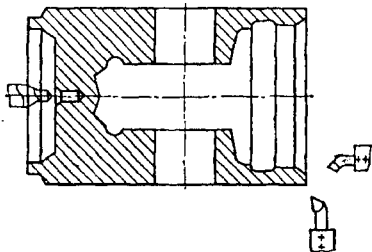


Рис. 13.15. Схема обробки бази в поршні уніфікованого поршневого компресора УУ-220.

Друга операція – свердлильна. Попередня обробка отвору під поршневий палець. Заготовка встановлюється технологічною виїмкою $\varnothing 102$ мм в пристосування, виставляється по відлитих отворах під палець і закріплюється. Обробка виконується на двохшпіндельному агрегатному верстаті за допомогою кондуктора. Одночасно з двох сторін зенкують два отвори $\varnothing 48$ мм. Режими обробки: $n=350$ об/хв; $s=0,4$ мм/об.

Третя операція – токарна. Попередня обробка по зовнішній поверхні. Заготовку встановлюють технологічною виїмкою $\varnothing 102$ мм в розтискну оправку, а з другої сторони підтискають центром. Обробка виконується на токарному багаторізцевому напівавтоматі 1А720. Обточують зовнішню поверхню $\varnothing 114,8C_3$ до $\varnothing 115,4$ мм. Режими обробки: $n=700$ об/хв; $s=0,93$ мм/об. Підрізають дно головки в розмір $\varnothing 144_{-0,26}$ мм і розточують виїмку і прилеглий конус.

Четверта операція – свердлильна. Деталь встановлюють на плиту настільно-свердлильного верстата і через втулки кондуктора свердлять два отвори $\varnothing 5$ мм. Потім знімають кондуктор і зенкують фаски.

П'ята операція – токарна. Розточування отворів і прорізка канавок в отворах під палець. Деталь встановлюють в пристосування, centruючи по виїмці $\varnothing 102$ мм, і виставляють по обробленому отвору під палець, а потім закріплюють. Розточують отвори $\varnothing 50_{-0,028}^{-0,006}$ мм одночасно з двох сторін до 49,6 мм. Обробку виконують на двосторонньому агрегатному верстаті; режими обробки: $n=740$ об/хв; $s=0,3$ мм/об. Потім спеціальною оправкою підрізають торці бобишок під палець з внутрішньої сторони і одночасно прорізають канавки

$\varnothing 54^{+0,4}$ мм, $b=3,5 \pm 0,15$ мм з режимами: $n=710$ об/хв; $s=0,5$ мм/об.

Канавки прорізають спеціальною оправкою, що має два канавочні різці.

Шоста операція – токарна. Точіння по зовнішній поверхні і попередня прорізка канавок на зовнішній поверхні. Операцію виконують на багаторіздцевому напівавтоматі 1А720. Деталь встановлюють базовою виїмкою $\varnothing 102$ мм на розтискну оправку і підискають з другого боку центром. Попередньо обробляють по зовнішній поверхні з $n=410$ об/хв; $s=0,3$ мм/об. Потім прорізають попередньо зовнішні канавки і точать фаски. Режими обробки: $n=410$ об/хв; $s=0,1$ мм/об.

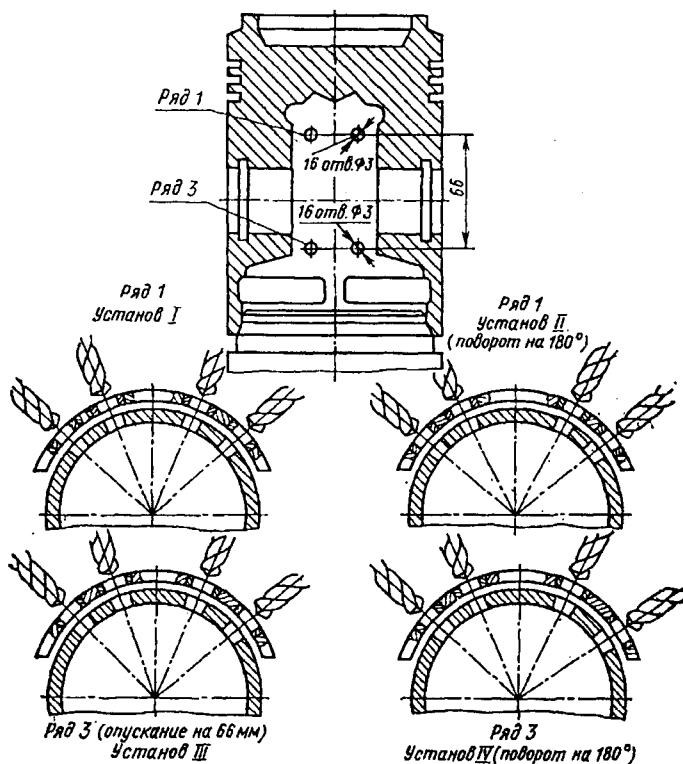


Рис. 13.16. Схема свердління отворів рядів 1 і 3 в поршні уніфікованого поршневого компресора УУ-220.

Сьома операція – свердлильна (рис. 13.16). Свердління отворів, розташованих в горизонтальній площині. Деталь встановлюють в пристосування, centruючи виїмкою $\varnothing 102$ мм. Свердлять одночасно

чотири отвори 3 мм в першому ряду, потім повертають пристосування на 180° і повторюють перший перехід для другої сторони першого ряду, а потім опускають деталь в пристосуванні на 66 мм і повторюють попередні переходи для отворів ряду 3. Поворот деталі забезпечується фіксаторами пристосування.

Восьма операція – свердлильна (рис. 13.17). Свердлення отворів, розташованих в похилій площині. Деталь закріплюють в пристосуванні, центруючи виїмкою $\varnothing 102$ мм. Обробку виконують на трьохшпіндельному агрегатному верстаті. Свердлять одночасно три отвори $\varnothing 3$ мм у ряді 2, потім повертають деталь на 180° і свердлять три отвори $\varnothing 3$ мм, потім опускають деталь в пристосуванні і свердлять три отвори $\varnothing 3$ мм у ряді 4, повертають деталь і повторюють третій перехід кілька разів.

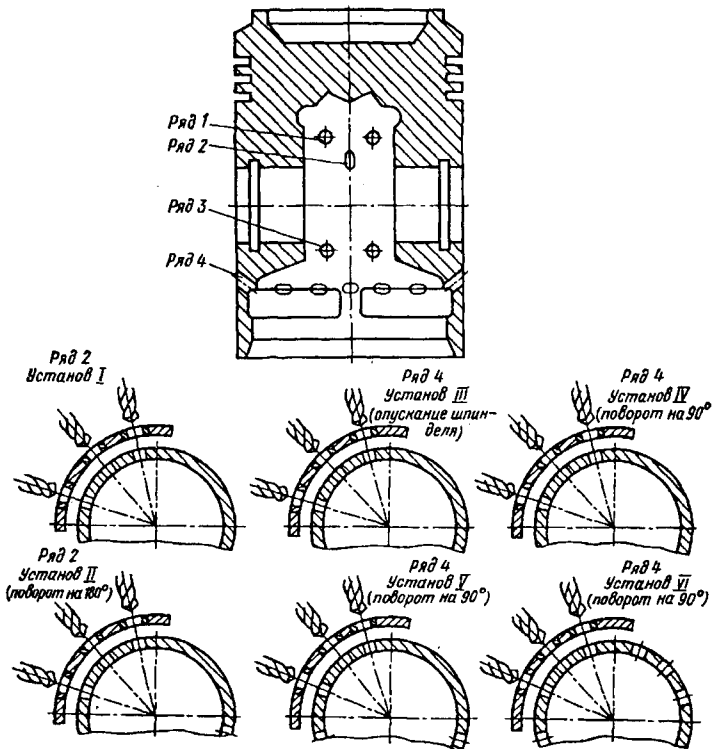


Рис. 13.17. Схема свердлення отворів рядів 2 і 4 в поршні уніфікованого поршневого компресора УУ-220.

Дев'ята операція – токарна. Остаточна прорізка канавок і точіння по зовнішній поверхні. Обробка виконується на токарно-багаторізцевому верстаті 1А720. Деталь центрують виймкою $\varnothing 102$ мм в пневматичному пристосуванні. Обробляють зовнішню поверхню $\varnothing 114,3 - 0,1$ до $\varnothing 114,5$ мм і остаточно прорізають канавки під поршневі кільця.

Десята операція – токарна. Остаточне обточування зовнішньої поверхні. Деталь встановлюють виймкою $\varnothing 102$ мм в спеціальну оправку і закріплюють. Операція виконується на горизонтальному алмазно-обточувальному верстаті. Остаточно обробляють $\varnothing 114,3 - 0,1$ мм і $\varnothing 114,8C_3$. Перевірку виконують приладом (рис. 3.18). Режими обробки: $n = 830$ об/хв, $s = 0,06$ мм/об.

Одинадцята операція – розточувальна. Остаточне розточування отворів під палець. Деталь встановлюють виймкою $\varnothing 102$ мм в пристосування і на двохшпіндельному алмазно-розточувальному верстаті розточують одночасно отвори $\varnothing 50_{-0,28}^{-0,06}$ мм попередньо, а потім оста-

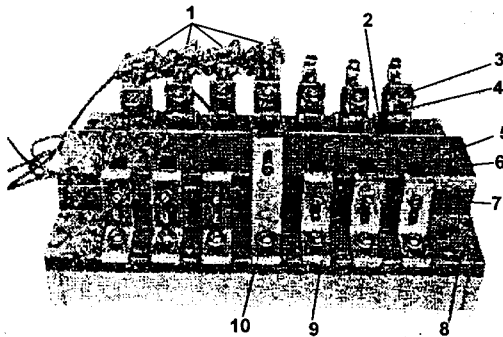


Рис. 13.18. Прилад для контролю діаметра поршня і проточок.

Поршень встановлюють на токарно-гвинторізний верстат і розточують виймку $\varnothing 102$ мм не більш $\varnothing 107$ мм.

Тринадцята операція – сортування поршнів. Поршні сортують на розмірні групи.

точно. Обробку отворів виконують також на алмазно-розточувальному верстаті 2А716. Режими обробки: $n=1275$ об/хв, $s=0,06$ мм/об.

Дванадцята операція – токарна. Підгонка маси. За технічних умов маса поршнів не повинна перевищувати певної величини. За наявності маси більше граничної по-

13.2.2. МЕХАНІЧНА ОБРОБКА ПОРШНЯ ОПОЗИТНОГО КОМПРЕСОРА 4М10-100/8

Поршень опозитного компресора 4М10-100/8 показаний на рис. 13.19.

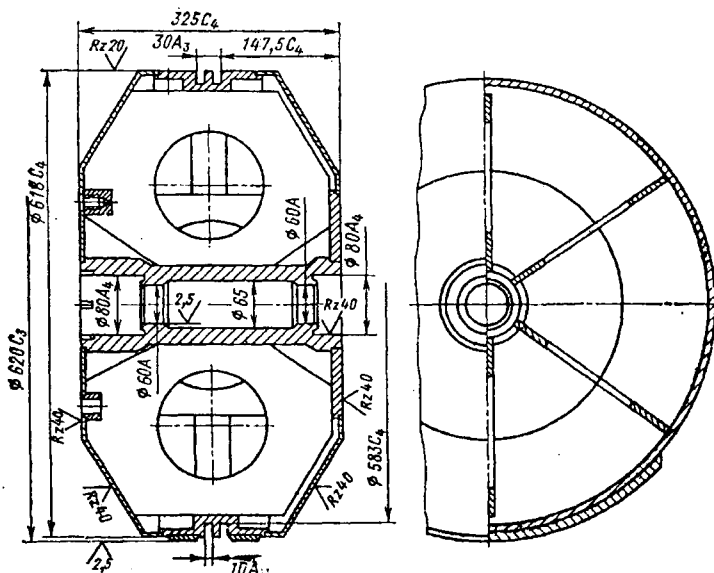


Рис. 13.19. Поршень $\varnothing 620$ мм опозитного компресора 4М10-100/8.

Застосований матеріал. Заготовка зварна (рис. 13.20) складається з окремих частин. Перед механічною обробкою заготовка піддається гідравлічним випробуванням і відпалюванню. Технологічна схема обробки дана на рис. 13.20, а-е.

Перша операція – токарно-карусельна (рис. 13.20). Попередня обробка. Заготовка закріплюється в кулачках планшайби токарно-карусельного верстата. Обробка виконується з двох установок. Спочатку розточують отвір $\varnothing 80A_4$ і підрізають прилеглу поверхню торця оправкою, закріпленою в супорті траверси верстата, потім заготовку переустановлюють і розточують отвір $\varnothing 59^{+0,2}$ мм, підрізають торець у розмірі $326_{-0,5}$ мм, точать по зовнішній поверхні $\varnothing 618C_4$ і прорізають канавки $b=8$ мм бічним супортом. У зв'язку з тим, що заготовка поршня тонкостінна, необхідно перед точінням виконати точну установку і вивіряння по бічних похилих поверхнях, допускаючи биття не більш 0,1 мм.

Друга операція – токарно-карусельна (рис. 13.20,в). Обробка похилих поверхонь поршня. Заготовка встановлюється в кулачки планшайби верстата з точним вивірянням, оскільки допускається відхилення по товщині не більш 0,1 мм. Вертикальний супорт ставлять на

необхідний кут і виконують обробку похилих поверхонь зі переустановленням заготовки.

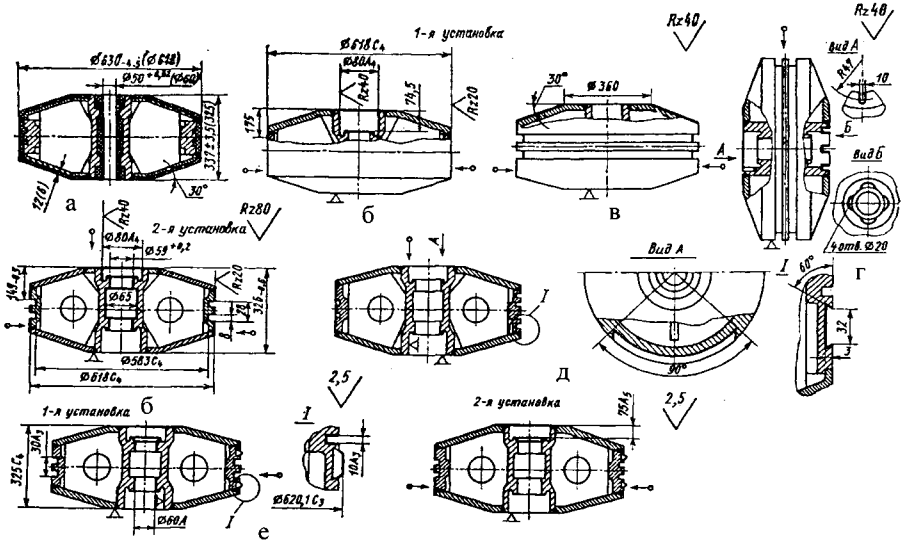


Рис. 13.20. Технологічна схема механічної обробки поршня $\varnothing 620$ мм опозитного компресора 4М10-100/8.

Третя операція – розмічальна. Заготовку встановлюють на розмічальну плиту і розмічають пази, розташовані з двох сторін отворів.

Четверта операція – фрезерна (рис. 13.20,г). Фрезерування пазів. Заготовка закріплюється в призмі пристосування, встановленого на поворотний стіл горизонтально-розточувального верстата; призма фіксує положення заготовки паралельно осі шпінделя верстата. За дві установки фрезерують пази, розташовані на поверхні центрального отвору.

П'ята операція – фрезерна (рис. 13.20,д). Фрезерування пазів під заливку бабітом. Заготовку закріплюють в пристосування на поворотному столі горизонтально-розточувального верстата. Фрезою торця виконують обробку паза по радіусу, а потім встановлюють в шпіндель верстата кутову фрезу для утворення кутової поверхні уздовж всього паза. До виконання даної операції пред'являються особливі вимоги у зв'язку із заливкою їх бабітом. Обробку пазів ведуть без охолодження, оскільки попадання гасу, бензину, масла і інших рідин на поверхню, що заливається бабітом, не допускається. Час між фрезерною і заливальною операціями повинен бути не більш доби.

Поршні до заливки бабітом зберігають в сухому місці.

Шоста операція – заливальна. Заливка бабітом. Деталь закріплюють в спеціальному пристосуванні і заливають пази бабітом.

Сьома операція – токарно-карусельна (рис. 13.20,е). Остаточна обробка поршня. Поршень встановлюють в кулачки планшайби токарно-карусельного верстата і виконують вивіряння по торцю і обробленому отвору з точністю до 1 мм. Остаточо підрізають торці, розточують отвір, а поясочки, що заливаються бабітом, – з припуском 0,1 мм під шабрування. Потім деталь переустановлюють і підрізають торець з другого боку.

Восьма операція – гідровипробовування. На спеціальному стенді випробовують порожнину поршня на міцність тиском 4,8 Па. Після випробування поршень продувають стислим повітрям і просушують в печі при 1000⁰С. Після випробування в отвори встановлюють контрольні пробки.

Дев'ята операція – слюсарна. Виконують зачистку зварних швів урівень з тілом поршня. Потім зважують його. Відхилення, що допускається, від розрахункової маси не повинне перевищувати 2-3%. Маса поршня клеймлять на торці з боку його посадки. Технологія литих поршнів аналогічна зварним.

13.3. ОБРОБКА ШАТУНІВ

Шатуни особливо широко застосовуються в поршневих компресорах і двигунах внутрішнього згорання. Основне призначення шатунів – перетворення обертального руху колінчастого валу в поворотно-поступальну ходу поршня. Шатуни є зв'язуючою ланкою між поршнем і колінчастим валом. У процесі роботи компресора шатуни передають зусилля з шатунної шийки колінчастого валу на поршень, в результаті здійснюється робота – стиснення газів.

Шатуни випробовують знакозмінне навантаження – поперемінно стискаючі і розтягуючі сили, що виникають уздовж шатуна від підсумовування робочого навантаження і складаючих сил інерції, а в поперечному напрямі – від інших, складаючих сил інерції. У швидкохідних машин під впливом діючих сил виникають удари. Для протидії виникаючим силам і для зменшення сил інерції шатуни повинні мати високу жорсткість, міцність і мінімальну масу. Умови роботи визначають конструкцію шатунів, яка складається з великої і малої головок, з'єднаних стержнем (тілом шатуна). Шатуни виготовляються

в формі двотаврового або круглого розрізу. Велика головка шатуна сполучається з шатунною шийкою колінчастого валу тертям ковзання. Для зручності збірки велика головка шатуна в більшості випадків роз'ємна. У шатунах великих розмірів отвір великої головки заливається шаром антифрикційного сплаву або має вкладиш з внутрішньою поверхнею, залитою бабітом. Роз'ємну частину великої головки (кришку) конструктивно оформляють у вигляді уступу, що сполучається з виїмкою стержня шатуна, або центрують контрольними болтами. Мала головка у шатунів як правило нероз'ємна і в отвір запресовують тонкостінну втулку. У великих шатунів малі головки мають вставні вкладиші.

13.3.1. МЕХАНІЧНА ОБРОБКА ШАТУНА ПОРШНЕВОГО КОМПРЕСОРА АУ-200

Шатун компресора АУ-200 показаний на рис. 13.21.

Технічні умови на обробку.

1. Овальність і конусність отвору $\varnothing 45_{+0,03}$ мм – не більш 0,05 мм.
2. Овальність і конусність отвору $\varnothing 100A$ – не більш 0,017 мм.
3. Непаралельність осі отвору $\varnothing 100A$ до осі отвору $\varnothing 45_{+0,03}$ мм у вертикальній площині – не більш 0,02 мм на 100 мм.
4. Розворот осей $\varnothing 100A$ і $\varnothing 45_{+0,03}$ мм – не більш 0,05 мм на 100 мм.
5. Неперпендикулярність площин T і D відносно $\varnothing 108^{+0,028}$ мм – 0,03 мм на 100 мм.

Застосовуваний матеріал. Шатуни в різних машинах виготовляють з конструкційних середньовуглецевих і легованих сталей. Шатуни для компресорів і автотракторних двигунів виготовляють з високоякісних вуглецевих сталей марок 40 або 45, а шатуни для двигунів, що працюють з високими ступеннями стиснення, – з легованих сталей 18ХНМА, 18ХГН4ВА і інших.

Заготовки шатунів в умовах великосерійного і серійного виробництва одержують штампованими на штампувальних молотах і кривошипних пресах. У масовому виробництві їх формують на кувальних вальцах і остаточно штампують на кривошипних пресах. Заготовки шатунів компресорів великих розмірів одержують куванням або штампуванням на молотах або пресах. Вони повинні бути якісно проковані, особливо в місцях переходу головки до тіла, і не мати зсуву і перерізання волокон. Заготовки шатунів виготовляють цілими, а кришки

для великих головок відрізують при механічній обробці. Така конструкція шатунів зменшує витрату металу і число штампів, але вимагає застосування складніших штампів, штампувального устаткування великої потужності, і, крім того, додаткової операції – відрізки кришок.

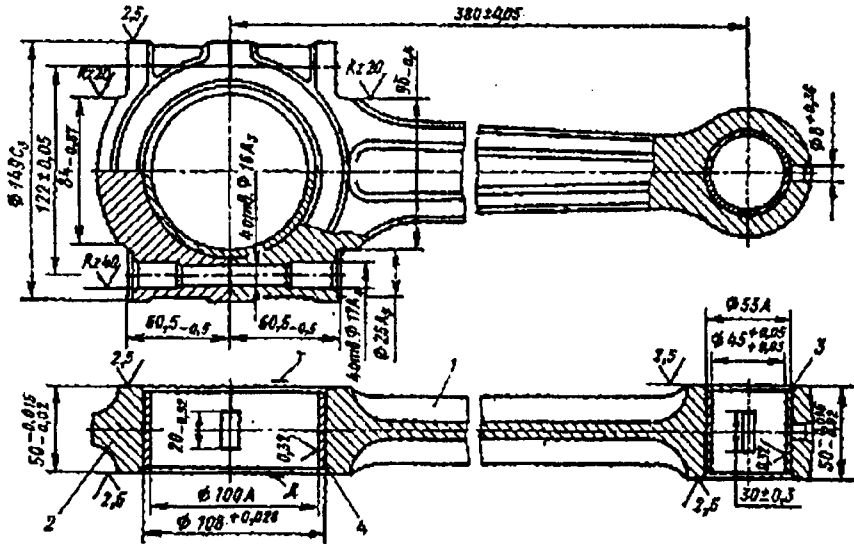


Рис. 13.21. Шатун поршневого компресора АУ-200: 1 – тіло шатуна; 2 – кришка шатуна; 3 – втулка; 4 – вкладиш.

У ряді випадків заготовку виконують з двох частин: тіла шатуна і кришки. Отвір у великій головці шатуна має припуск на обробку; у малій головці отвір одержують прошивкою або механічною обробкою. Для підвищення точності заготовку після штампування піддають калібруванню і чеканці, що зменшує трудомісткість механічної обробки завдяки малим припускам. При чеканці торців тіла і кришки шатуна відпадає необхідність в їх попередній обробці.

Штамповані заготовки шатунів компресорів АУ-200 виготовляють із сталі 45. Наявність вад металу (піни, піщин, раковин, слідів усадкової рихлості і неметалевих включень) не допускається. Окалина повинна бути видалена. Маса тіла і кришки шатуна 6,6 кг. При обробці за базу приймають площини торців, а потім отвори. Технологічна схема обробки дана на рис. 13.22.

Перша операція – слюсарна. Переносять клеймо заводу-поставщика і умовний номер плавки на нове місце.

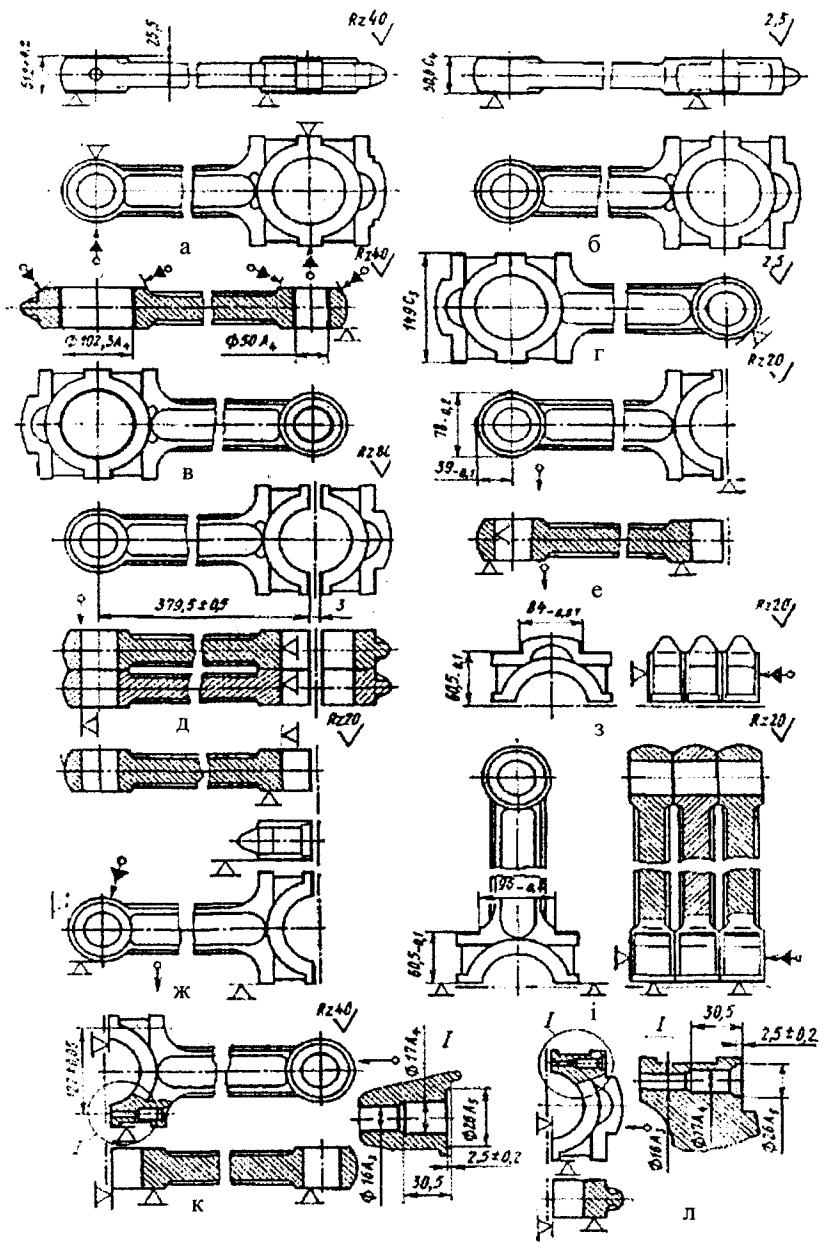
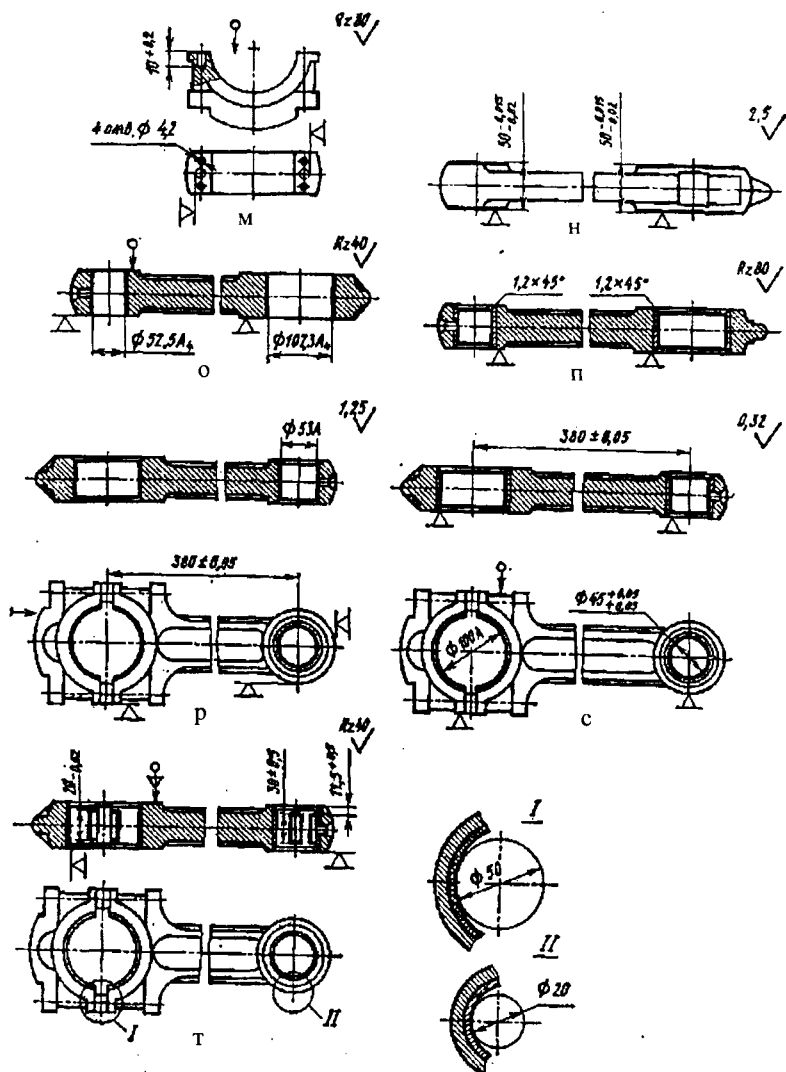


Рис. 13.22. Технологічна схема механічної обробки тіла шатуна з кришкою поршневого компресора АУ-200.



Продовження рис. 13.22.

Друга операція – фрезерна (рис. 13.22,а). Фрезерування площин. Дві заготовки встановлюють в пристосування на вертикально-фрезерний верстат і фрезою $\varnothing 200$ мм з ріжучими пластинками Т15К6 фрезерують одну площину шатуна в розмір 25,5 мм. З цієї настройки пропускають всю партію, а потім переустановлюють заготовки і фре-

зерують другу сторону в розмір 51,2 мм. Перед обробкою заготовки ставлять площиною на опорну поверхню пристосування і підтискають до упору, фіксуючи положення підтиском з протилежної сторони упорів, розташованих в місцях великої і малої головок.

Площини торців головок фрезерують також на подовжно-фрезерному верстаті. Дві заготовки встановлюють в пристосування і одночасно фрезерують площини торців двома фрезами $\varnothing 150$ мм з ріжучими пластинками Т15К6. Найбільш продуктивне виконання даної операції на карусельно-фрезерному верстаті. Заготовку встановлюють в пристосування і двома фрезами виконують послідовно попередню і напівчистову обробку однієї сторони шатуна. З цієї наладки пропускають всю партію, а потім переналагоджують ріжучий інструмент і фрезерують другу сторону. При даному процесі обробки установка і зняття заготовок виконують в процесі фрезерування, тобто маємо безперервне фрезерування, що значно скорочує допоміжний і машинний час.

На карусельно-фрезерному верстаті точіння виконується при наступних режимах: $V=200$ м/хв; $n=420$ об/хв; $S=250$ мм/хв.

Третя операція – шліфувальна (рис. 13.22,б). Шліфування площин. На магнітну плиту плоскошліфувального верстата встановлюють чотири заготовки і шліфують одну площину, потім переустановлюють заготовки і шліфують другу площину, витримуючи розмір 50,6С₄. За наявності окремих заготовок – тіла і кришки шатуна – виконують попереднє фрезерування замку шляхом установки шести заготовок в пристосування. Фрезерування здійснюють набором циліндрових дискових і кутових фрез.

Четверта операція – свердлильна (рис. 13.22,в). На агрегатно-свердлувальному верстаті 2С170С466 одночасно свердлять отвір $\varnothing 50A_4$ в малій головці і зенкують отвір $\varnothing 102,3A_4$ у великій головці. Перед обробкою заготовку ставлять шліфованою площиною в пристосування і закріплюють притиском. Режими обробки: для свердлення $V=31$ м/хв; $n=192$ об/хв; $S=0,1$ мм/об; для зенкування $V=62$ м/хв; $n=192$ об/хв; $S=0,1$ мм/об.

За наявності окремих заготовок – тіла і кришки шатуна – остаточно обробляють замок. На вертикально-протяжному верстаті двома комплектами збірних протяжок протягують площини роз'єму і замок.

П'ята операція – токарна (рис. 13.2г). Обробка великої головки по зовнішній поверхні. Деталь встановлюють в пристосування шліфованою площиною до упору в малу головку, а потім роблять підтиск

з боку великої головки. Обробку виконують на токарно-гвинторізнному верстаті різцем з ріжучою пластинкою Т15К6. Обточують по зовнішній поверхні до $\varnothing 140C_3$.

Шоста операція – фрезерна (рис. 13.22,д). Розрізання великої головки. У пристосування закріплюють дві деталі попарно по дві в накладку і центрують отворами великої і малої головок. Відрізною фрезою $\varnothing 160 \times 3$ розрізають головку шатуна в розмір $379,5 \pm 0,5$ мм на тіло і кришку. Операцію виконують на горизонтально-фрезерному верстаті. Обидві деталі клеймлять одним порядковим номером. При розрізанні застосовують емульсію.

Сьома операція – фрезерна (рис. 13.22,е). Фрезерування пластиків в малій головці. У пристосування встановлюють дві деталі шліфованою поверхнею і центрують по отвору малої головки. Фрезою торця $\varnothing 150$ мм з ріжучими пластинками Т15К6 фрезерують три платики малої головки.

Восьма операція – фрезерна (рис. 13.22,ж). Фрезерування площин роз'єму. У пристосування встановлюють чотири деталі шліфованою поверхнею до упору платиками малої головки і центрують по отвору великої головки. Притиск здійснюють із зовнішньої сторони малої головки.

На горизонтально-фрезерному верстаті фрезерують поверхню роз'єму фрезою торця $\varnothing 200$ мм з ріжучими пластинками Т15К6. Кришку фрезерують із зняттям невеликого шару металу.

Оброблені деталі перевіряють по параметрах: а) чистоту обробки поверхні роз'єму – по зразках; б) неперпендикулярність поверхні роз'єму до нижньої поверхні шатуна не більш 0,05 мм на довжині 100 мм, перевірку виконують контрольним пристосуванням, для настройки якого застосовують еталон.

Дев'ята операція – фрезерна (рис. 13.22) Фрезерування заплечиків в кришці шатуна. На горизонтально-фрезерному верстаті в пристосуванні закріплюють три деталі поверхнею роз'єму впритул і притискають з торця. Фрезерують заплечики циліндровою фрезою $\varnothing 125 \times 45$ мм.

Дану операцію можна виконувати на вертикально-фрезерному верстаті фрезою торця, а за наявності великих партій – на протяжному верстаті.

Десята операція – фрезерна (рис. 13.22,і). Фрезерування заплечиків в тілі шатуна. У пристосуванні закріплюють три деталі поверхнею роз'єму впритул з пневмозатискувачем з протилежної сторони.

Циліндровою фрезою $\varnothing 125 \times 45$ фрезерують одну сторону заплечиків в розмір 60,5 мм. Потім деталі переустановлюють і фрезерують другу сторону заплечиків в розмір $96_{-0,4}$ мм. Операцію виконують на горизонтально-фрезерному верстаті.

Одинадцята операція – свердлильна (рис. 13.22,к). Обробку виконують на агрегатно-свердлильному напівавтоматі 3А690 по схемі (рис. 13.23). У позиції I (завантажувальної) деталь встановлюють шліфованою поверхнею на платику пристосування і підискають до зіткнення поверхні роз'єму і бічного торця до бічних платиків. Позиція II –

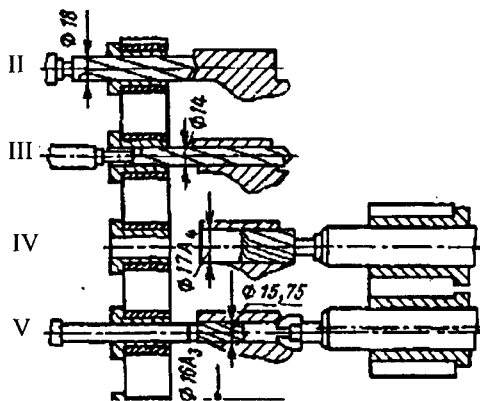


Рис.13.23. Схема обробки отворів під шатунні болти на агрегатно-свердлильному автоматі.

позиція II – центрують два отвори свердлом $\varnothing 18$ мм. Позиція III – свердлять два отвори $\varnothing 14$ мм на прохід. Позиція IV – зенкують два отвори 17А₄ в розмір 30,5 мм. Позиція V – зенкують два отвори $\varnothing 15,75$ мм на прохід, а потім цекують отвори до $\varnothing 26A_3$ з одночасним зняттям фасок. Останній прохід виконується комбінованим інструментом. Позиція VI – розгортають два отвори $\varnothing 16A_3$ на прохід.

Дванадцята операція – свердлильна (рис. 13.22,л). У кришці шатуна виконують обробку отворів на напівавтоматі 3А690 аналогічно обробці, описаній в одинадцятій операції.

На московському заводі „Борець” отвори під шатунні болти в шатунах кутових компресорів ВП-30/8 свердлять на вертикальному багатошпіндельному верстаті 1АМ-052, який встановлений в потоковій лінії.

Тринадцята операція – свердлильна (рис. 13.22,м). На вертикально-свердлильному верстаті чотирьохшпіндельною головкою свердлять одночасно чотири отвори $\varnothing 4,2$ мм в площині роз'єму кришки шатуна. Отвори свердлять на глибину 10 мм через кондуктор. З цієї наладки пропускають всю партію деталей, а потім змінюють інструмент і зенкують фаски в отворах. Даний перехід може бути виконаний ком-

бінованим інструментом за наявності довгих втулок в кондукторі.

Чотирнадцята операція – свердлильна. Тіло шатуна встановлюють в кондуктор на вертикально-свердлильний верстат і за допомогою чотирьохшпіндельної головки свердлять чотири отвори $\varnothing 9$ мм на глибину 5 мм на поверхні роз'єму.

П'ятнадцята операція – свердлильна. Тіло шатуна закріплюють в кондукторі, centruючи по отвору малої головки і на вертикально-свердлильному верстаті свердлять отвір $\varnothing 8$ мм з одночасним зняттям фаски.

Шістнадцята операція – слюсарно-складальна. У кришці шатуна спеціальною установкою нарізують чотири отвори М5, потім збирають тіло шатуна з кришкою на технологічні болти, попередньо прокладши прокладки. Гайки затягують динамометричним ключем.

Сімнадцята операція – шліфувальна (рис. 13.22, н). На магнітну плиту плоскошліфувального верстата встановлюють три шатуни і шліфують дві поверхні зі переустановленням деталей.

Вісімнадцята операція – розточувальна (рис. 13.22, о). Напівчистове розточування отворів в великій і малій головках. На агрегатно-розточувальному верстаті 2С170142 встановлюють в пристосування зібраний шатун і розточують одночасно отвір $\varnothing 52,5A_4$ в малій головці і $\varnothing 107,3A_4$ – у великій головці. Розточування виконують зенкером з режимами: $S=0,2$ мм/об; $n=192$ об/хв.

Дев'ятнадцята операція – свердлильна (рис. 13.22, п). Зняття фасок. На вертикально-свердлильному верстаті шатун закріплюють в пристосування і за допомогою двохшпіндельної головки з двох установок знімають фаски в отворах різцем з ріжучою пластинкою Т15К6.

Двадцята операція – розточувальна (рис. 13.22, р). Остаточна обробка отворів у великій і малій головках. Деталь встановлюють в пристосуванні шліфованою поверхнею з притиском впритул торців великої і малої головок. Обробку виконують на алмазно-розточувальному верстаті 2А715. Одночасно розточують отвір $\varnothing 113A$ у великій головці і $\varnothing 53A$ – у малій головці. Розточування виконується двома різцями з пластинками Т30К4. Аксиальний розмір $380 \pm 0,05$ мм перевіряють контрольним пристосуванням. Режими обробки: $S=0,08$ мм/об; $n=300$ об/хв.

Двадцять перша операція – слюсарно-складальна. Розбирають шатун, обпилюють гострі кромки і знімають задирки. Запресовують втулку в отвір малої головки на пневмопресі. Потім ставлять вкладиш в отвір тіла і кришки шатуна і збирають їх з прокладками і болтами.

Гайки затягують динамометричним ключем з регульованим крутячим моментом. Маркують одним номером тіло і кришку шатуна.

Двадцять друга операція – розточувальна (рис. 13.22,с). Розточування отворів у втулці і вкладиші. Обробка виконується на алмазно-розточувальному верстаті 2А715. Зібраний шатун закріплюють в пристосуванні і розточують одночасно отвір $\varnothing 100A$ у вкладиші великої головки шатуна і $\varnothing 45$ мм у втулці малої головки. Розточування здійснюють двома оправками з різцями, що мають твердосплавні ріжучі пластинки. Перевірку виконують нутрометром з індикатором і контрольним пристосуванням.

Двадцять третя операція – фрезерна (рис. 13.22,т). Розточування холодильних карманів. Обробка виконується на вертикально-фрезерному верстаті. Деталь встановлюють в пристосування шліфованою поверхнею, центруючи її отвором великої головки. Пристосування ставлять на поворотний стіл. Розточують холодильний карман $\varnothing 50$ мм на глибину 1-0,25 мм в розмір 20-0,52 мм у великій головці шатуна. Карман розточують різцем, встановленим в оправку. Потім повертають стіл на 180° і виконують аналогічну обробку з другого боку. Розточують холодильний карман $\varnothing 20$ мм в розмір $30+0,5$ мм з іншою наладкою різця в малій головці шатуна, витримуючи розмір $11,5^{+0,5}$ мм. Стіл повертають на 180° і виконують аналогічну обробку з іншого боку отвору. Перевірку здійснюють спеціальним штангенциркулем.

13.3.2. МЕХАНІЧНА ОБРОБКА ШАТУНА ВЕЛИКОГО ОПОЗИТНОГО КОМПРЕСОРА БАЗИ М10

Шатун опозитного компресора бази М10 показаний на рис. 13.24.

Технічні умови на обробку.

1. Заготовка шатуна повинна відповідати вимогам ГОСТ 8479-70, група IV КП-28 і ГОСТ 7505-74, група II.

2. При виготовленні отворів в малій головці шатуна під палець поршня і у великій головці під вкладиш необхідно забезпечити: а) непаралельність осей не більш 0,02 мм на 100 мм довжини отворів; б) овальність і конусність не більш 0,02 мм; в) розташування осей в одній площині і перпендикулярно до осі шатуна; відхилення не повинні перевищувати 0,05 мм на 100 мм довжини.

3. Отвори під шатунні болти повинні забезпечити: перпендикулярність площини роз'єму до осей отворів; відхилення допускається не більш 0,05 мм на 100 мм довжини.

4. Паралельність отворів – у межах не більш 0,02 мм на 100 мм довжини, а перпендикулярність площадки під головки шатунних болтів відносно осі отворів – не більш 0,05 мм на 100 мм довжини. Технологічна схема обробки дана на рис. 13.25,а-ж.

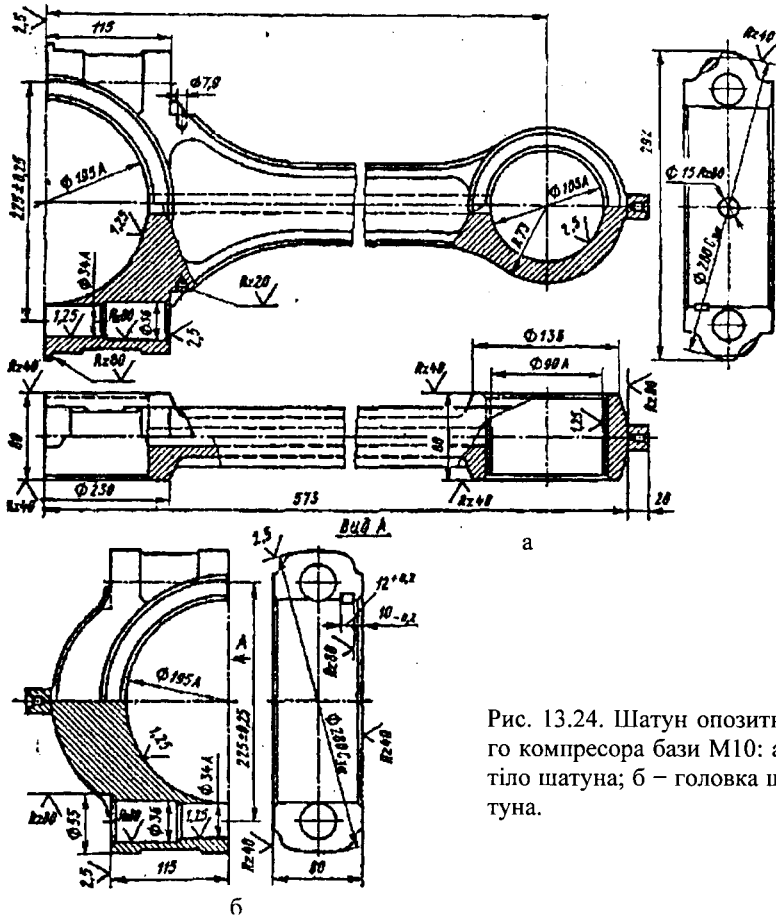


Рис. 13.24. Шатун опозитного компресора бази М10: а – тіло шатуну; б – головка шатуну.

Перша операція – контрольна. Перевіряють вибірково з партії заготовок (рис. 13.25,а) на придатність їх для механічної обробки і відповідність технічним умовам.

Друга операція – центруюча. Заготовку закріплюють в пристосуванні на планшайбі поворотного столу, встановленого на блок радіально-свердлильного верстата. Поворотом столу на 90° виставляють шатун вертикально і через кондукторну втулку спеціальним свердлом

свердлять і зенкують центровий отвір. Поворотом столу на 180° виставляють шатун для обробки центрального отвору в другому торці. Центрівку можна виконувати в кантуючому кондукторі.

Третя операція – фрезерна (рис. 13.25,б). Фрезерування площин. На подовжньо-фрезерному верстаті двома бічними фрезами одночасно обробляють поверхні шатуна в розмір 80В₇. Заготовка перед обробкою закріплюється в пристосування.

Четверта операція – токарна (рис. 13.25,в). Обробка великої головки шатуна. Заготовку затискають в центрах токарно-гвинторізного верстата і кріплять в пристосуванні. Підрізають торці контура великої головки, точать по зовнішній поверхні $\varnothing 292$ мм і при необхідності обточують поверхню до $\varnothing 280$ С_{3а}.

П'ята операція – свердлильна. Обробка отворів. На деталь ставлять кондуктор і на двохшпіндельному вертикально-свердлувальному верстаті свердлять і зенкують отвори $\varnothing 36$ мм.

Шоста операція – свердлильна. Попереднє свердління отворів під шатунні болти. Операція виконується на спеціальному свердлильному двохшпіндельному верстаті. Заготовка встановлюється в кондуктор і закріплюється на планшайбі поворотного столу. Спочатку свердлять одночасно два отвори $\varnothing 36$ мм з боку кришки, а потім стіл повертають на 180° і одночасно свердлять два отвори $\varnothing 36$ мм з боку тіла шатуна. Надалі свердлять і зенкують два отвори $\varnothing 33,4$ мм.

За відсутності спеціального верстата отвори свердлять послідовно на радіально-свердлувальному верстаті в кондукторі.

Сьома операція – фрезерна (рис. 13.25,г). Розрізання головки шатуна на тіло і кришку. Деталь закріплюють в пристосуванні і на горизонтально-розточувальному верстаті розрізають головку. Фреза настроюється на розмір по установу пристосування.

Восьма операція – фрезерна. Обробка площин роз'єму. Тіло і кришку шатуна закріплюють в пристосуванні і на горизонтально-фрезерному верстаті фрезерують попередньо і остаточно площини роз'єму в розмір 117 мм замість 115 мм.

Дев'ята операція – свердлильна. Тіло шатуна закріплюють в кондукторі і на радіально-свердлильному верстаті подовженим свердлом свердлять отвір 15 мм під мастило. На деяких компресорнобудівних заводах цю операцію виконують на спеціальному верстаті, де свердлильна головка працює в автоматичному циклі, і періодично із зони обробки свердло виводиться для видалення стружки.

Десята операція – розточувальна (рис. 13.25,д). Остаточна обро-

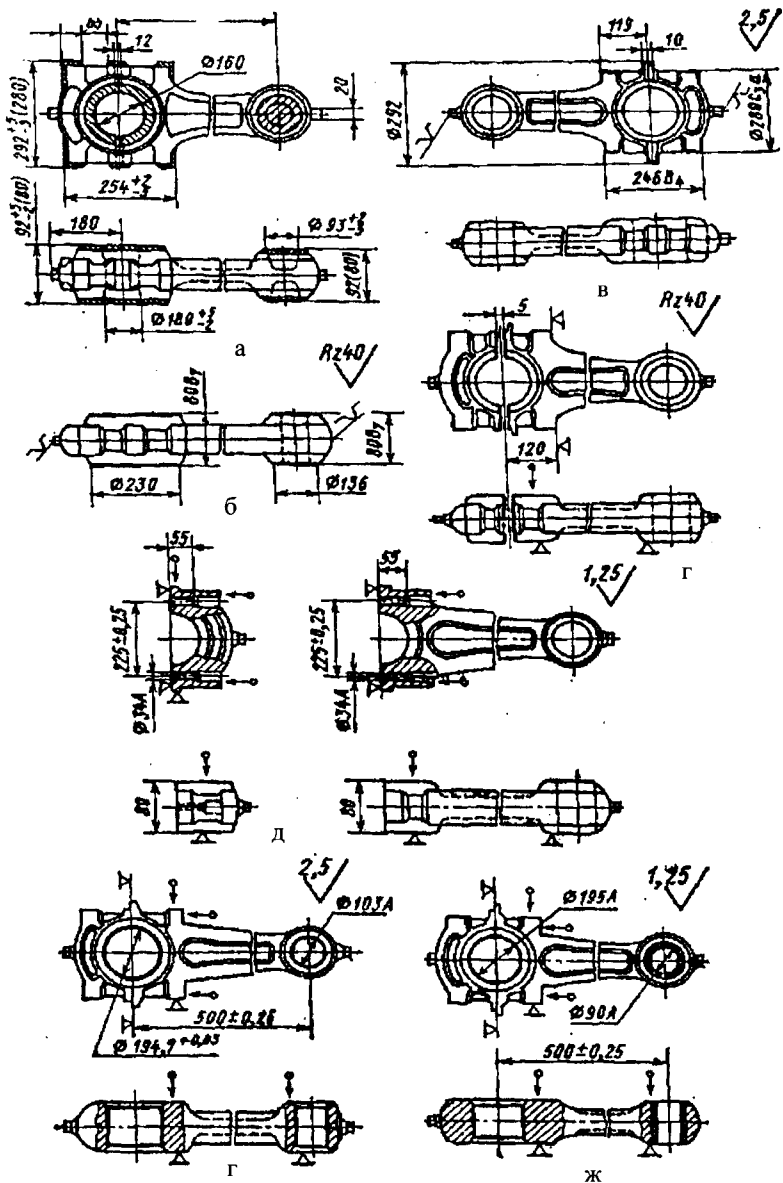


Рис. 13.25. Технологічна схема механічної обробки шатуну опозитного компресора бази М10.

бка отворів під шатунні болти. Тіло і кришка шатуна послідовно встановлюються в пристосування і на спеціальному двохшпіндельному алмазно-розточувальному верстаті одночасно розточуються остаточно два отвори $\varnothing 34A$ під шатунні болти. Різці настроюються на заданий розмір розточування по індикатору в спеціальному пристосуванні, яке призматичною частиною упирається в базовий діаметр розточувальної оправки, а індикатором встановлюється виліт різця відносно осі розточуваного отвору. Отвори тіла і кришки шатуна розточуються за два проходи. Спочатку пропускають партію з настройкою різця на попередню обробку з припуском 0,15-0,2 мм на діаметр. Потім різці настроюють на остаточне розточування отворів і переустановлюють деталі. За наявності великих партій доцільно мати два алмазно-розточувальні верстати для попередньої і остаточної обробки.

Одинадцята операція – свердлильна. Тіло і кришку шатуна встановлюють в пристосування площиною роз'єму на платику і закріплюють. Обробку виконують на спеціальному двохшпіндельному свердлильному верстаті. Одночасно підрізають торці отворів під шатунні болти в розмір 115 мм і обробляють по радіусу прилеглі місця $\varnothing 55$ мм.

Дванадцята операція – свердлильна. Тіло і кришку шатуна закріплюють в пристосування і на радіально-свердлильному верстаті знімають фаски в отворах $\varnothing 36$ мм і свердлять отвір $\varnothing 7,9$ мм.

Тринадцята операція – слюсарна. Складання тіла з кришкою шатуна. Перед складанням перевіряють на фарбу площини тіла і кришки, що сполучаються. Прилягання повинне бути рівномірним і контакт не менше 85% від всієї площини. При необхідності поверхні шабрують. Потім на фарбу перевіряють площини прилягання головок шатунних болтів і гайок. Прилягання повинне бути також рівномірним, при необхідності шабруванням досягають необхідних умов. У тілі шатуна розгортають два отвори, розташовані на місці, прилеглому до торця, і запресовують два штифти. Збирають тіло з кришкою на два технологічні болти і виконують затягування тарованим ключем.

Чотирнадцята операція – розточувальна (рис. 13.25,е). Попередня і остаточна обробка отворів у великій і малій головках шатуна. Операція виконується на спеціальному двохшпіндельному розточувальному верстаті. Деталь встановлюють в пристосування і одночасно двома шпінделями верстата розточують за дві операції отвори $\varnothing 194,7^{+0,03}$ мм, $\varnothing 103A$ і знімають фаски. За наявності великих партій доцільно мати чотирьохшпіндельний верстат, де в двох шпінделях настроюють інструмент на попередню обробку, залишаючи припуск

0,15-0,2 мм на діаметр, а в решті двох шпінделів – на остаточну обробку. Спеціальний чотирьохшпіндельний верстат може бути замінений двома двохшпіндельними верстатами, де буде виконана аналогічна настройка інструменту.

П'ятнадцята операція – слюсарна. Продувають стислим повітрям змащувальні отвори. Охолоджують бронзові втулки в рідкому азоті і вставляють їх в отвір малої головки.

Шістнадцята операція – розточувальна (рис. 13.25, ж). Остаточна обробка отворів у великій і малій головках шатуна. Операція виконується на спеціальному двохшпіндельному алмазно-розточувальному верстаті. Деталь встановлюють в пристосування і одночасно двома шпінделями розточують отвір Ø195А у великій головці шатуна і отвір Ø90А у втулці, запресованій в малу головку. Розточування забезпечує 2-й клас точності, параметр шорсткості $R_a=1,25$ мкм.

Сімнадцята операція – слюсарна. Здійснюють розбирання шатуна для виконання фрезерних робіт.

Вісімнадцята операція – фрезерна. На горизонтально-фрезерному верстаті виконують фрезерування центрових бобишок в рівень з контуром великої і малої головок і фрезерують пази вкладиша.

Дев'ятнадцята операція – слюсарна. Збирають тіло і кришку шатуна на шатунні болти і консервують.

13.3.3. УСТАТКУВАННЯ І ПРИСТОСУВАННЯ

На московському заводі „Компресор” застосовується агрегатно-свердловальний напівавтомат ЗА690 для обробки отворів під шатунні болти в шатунах холодильних компресорів АВ-100, АУ-200, АУУ-400.

Технічна характеристика верстата ЗА690

Годинна продуктивність при 79%-ному завантаженню	
верстата, деталей.....	16
Число шпінделів	12
Число головок	2
Число одночасно оброблюваних деталей	
в пристосуванні верстата	6
Число електродвигунів.....	5
Встановлена потужність, кВт	17,6
Привід подачі	Гідравлічний
Розміри верстата (довжина x ширина x висота), мм.....	5445x1220x1930
Маса, кг.....	7500

На московському заводі „Борець” обробка отворів під шатунні болти в шатунах кутових компресорів ВП-10/8 і ВП-30/8 виконується на вертикальному багатопіндельному верстаті 1АМ-052, який встановлений в потоковій лінії.

Для попередньої і остаточної обробки базових отворів у великих шатунах в умовах дрібносерійного виробництва застосовують переналагоджуваний розточувальний верстат фірми „Іногета” (Італія).

Для остаточного розточування базових отворів від $\varnothing 10$ мм до $\varnothing 200$ мм в шатунах застосовується горизонтальний двосторонній алмазно-розточувальний напівавтомат 2А716.

13.4. ОБРОБКА ВКЛАДИШВ

Вкладиші є опорами шатунних і корінних шийок колінчастого валу. Конструктивно вкладиші складаються з двох половин з внутрішньою поверхнею, залитою бабітом.

Для отримання рідинного тертя діаметральний зазор у вкладиші встановлюється з урахуванням допуску на виготовлення і складає 0,0007–0,0012 діаметру кривошипа.

13.4.1. МЕХАНІЧНА ОБРОБКА ВКЛАДИША НИЖНЬОЇ ГОЛОВКИ ШАТУНА ПОРШНЕВОГО КОМПРЕСОРА АУ-200

Вкладиш нижньої головки шатуна поршневого компресора АУ-200 показаний на рис. 13.26.

Технічні умови на обробку.

1. Допускається овальність зовнішньої поверхні по $\varnothing 113H$ не більш 0,02 мм і конусність 0,01 мм.
2. Неперпендикулярність поверхонь Е і Д відносно поверхні твірної Б допускається не більш 0,5 мм на довжині 100 мм.
3. Допускається місцева опуклість на поверхні Б на довжині не більш 10 мм.
4. Непаралельність стиків вкладиша відносно поверхні Б не більш 0,016 мм.
5. Щільність прилягання поверхні Б перевіряється на фарбу до ложі пристосування під навантаженням Р. Фарбована поверхня повинна складати 85%. Неприлягання, зосереджене в середній частині дотичних поверхонь, не допускається.

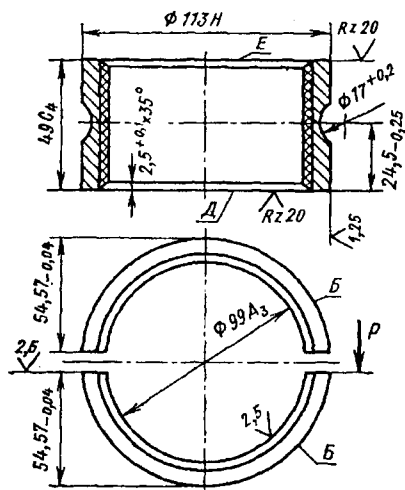


Рис. 13.26. Вкладиш нижньої головки шатуна поршневого компресора АУ-200.

до $\varnothing 99A_3$.

Друга операція – токарна (рис. 13.27,б). Підрізування торців і зняття фасок. Заготовка закріплюється в цанговому патроні або в кульковій оправці. Обробка виконується на токарно-гвинторізному верстаті. Спочатку підрізають торець в розмір 50 мм, потім розточують фаску під кутом 35° . Заготовку переустановлюють на оправці, підрізають другий торець в розмір $49C_4$ і розточують фаску.

Третя операція – токарна (рис. 13.27,в). Обточування зовнішньої поверхні. Деталь закріплюється в цанговому патроні або в кульковій оправці. На токарно-гвинторізному верстаті обточують зовнішню поверхню до $\varnothing 113H$ за декілька проходів різця. Для того, щоб цю операцію міг виконати робітник нижчої кваліфікації, операцію розбивають на дві, обробляють попередньо під шліфування з припуском 0,4 мм на токарно-гвинторізному верстаті, а потім шліфують по зовнішній поверхні з отриманням остаточного розміру на круглошліфувальному верстаті. Обробку можна виконати на алмазно-обточувальному верстаті.

Четверта операція – фрезерна (рис. 13.27,г). Розрізання на дві половини. У пристосування встановлюють шість деталей і на вертикально-фрезерному верстаті розрізають відрізною фрезою $\varnothing 100 \times 2,5$ мм на дві половини.

Відшарування антифрикційного шару не допускається. На поверхні Б ставиться клеймо, номер деталі, марку виготівника і ВТК.

Застосовуваний матеріал. На обробку поступає втулка, залита бабітом Б-83. Маса 0,98 кг. Технологічна схема обробки дана на рис. 13.27.

Перша операція – токарна (рис. 13.27,а). Розточування отвору. Заготовка встановлюється в трюхкулачковий патрон токарно-гвинторізного верстата і різцем з твердого сплаву Т15К6 або різцевою головкою розточується отвір

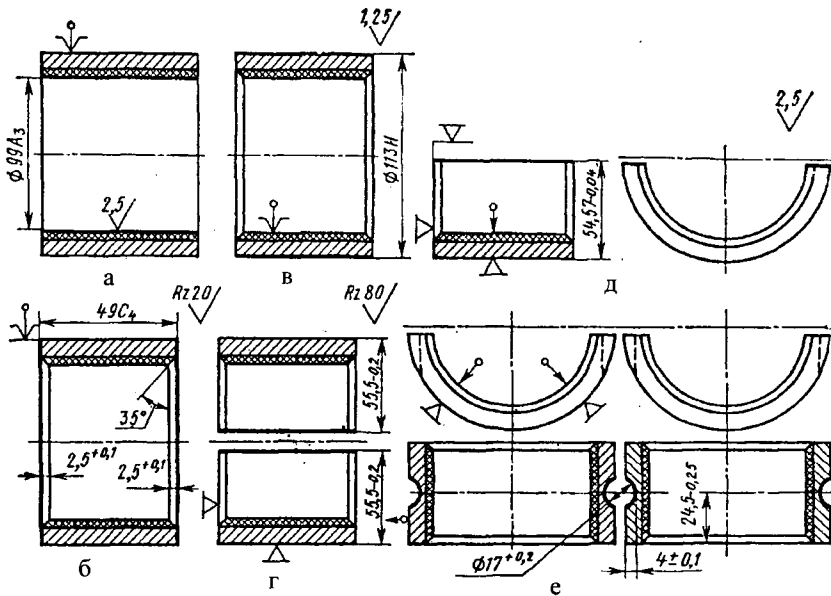


Рис. 13.27. Технологічна схема механічної обробки вкладиша нижньої головки шатуна поршневого компресора АУ-200.

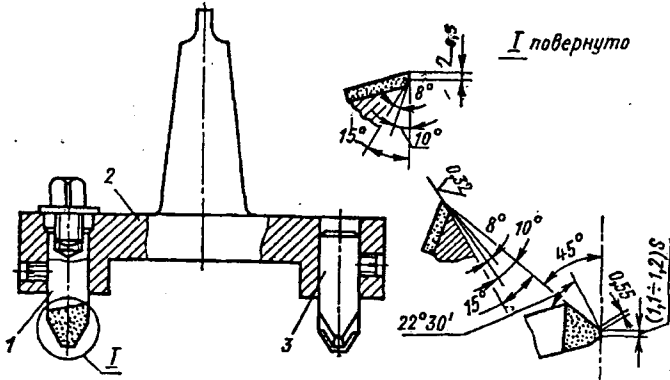


Рис. 13.28. Однозуба фреза для обробки площин роз'єму вкладишів.

П'ята операція – фрезерна (рис. 13.27, д). Фрезерування роз'єму. Деталь встановлюють в пристосування на вертикально-фрезерний верстат і однозубою фрезою (рис. 13.28) або торцевою фрезою $\phi 160$ мм з ріжучими пластинками Т15К6 фрезерують площину роз'єму в

розмір 54,57-0,04 мм. Розмір перевіряють контрольним пристосуванням.

Шоста операція – свердлильна (рис. 13.27,е). У пристосуванні закріплюють дві половини і на радіально-свердлильному верстаті свердлом $\varnothing 17$ мм цекують дві виїмки $R=8,5$ мм. Потім обидві половини переустановлюють і цекують виїмки в двох половинах з другого боку.

Сьома операція – слюсарна. Обпилюють гострі кромки і знімають фаски $0,5 \times 45^\circ$.

13.4.2. МЕХАНІЧНА ОБРОБКА ВКЛАДИША ШАТУНА ОПОЗИТНОГО КОМПРЕСОРА БАЗИ М10

Вкладиш шатуна опозитного компресора бази М10 даний на рис. 13.29.

Технічні умови на обробку.

1. Биття зовнішнього діаметру відносно внутрішнього не повинне перевищувати 0,05 мм.

2. На поверхні, залитій бабітом, допускаються окремі чисті раковини діаметром до 2 мм, завглибшки до 1,5 мм, числом не більш 5 і діаметром до 0,5 мм, завглибшки до 1,5 мм, числом не більш 10, розташованих не купчасто.

3. Непаралельність стикувальних поверхонь торців відносно створюючої допускається не більш 0,015 мм на 100 мм.

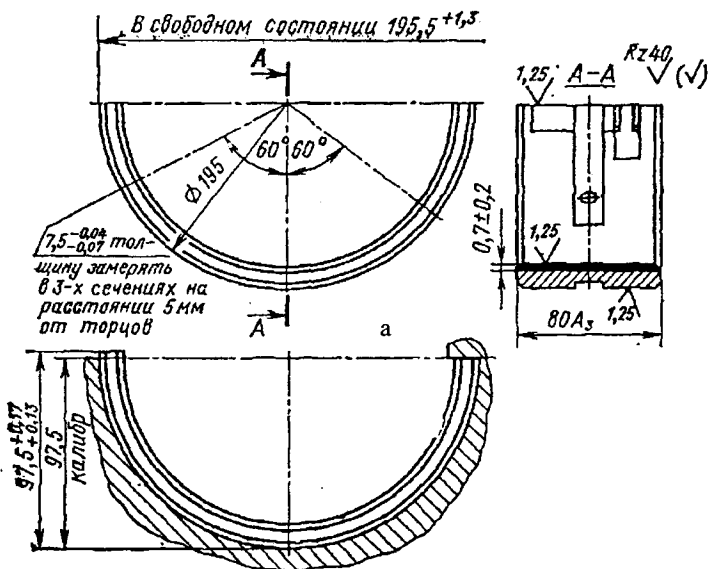
4. Різностінність вкладиша в осьовому розрізі допускається не більш 0,015 мм.

5. На бабітовій поверхні тріщини, вм'ятини, вибоїни, сторонні вклучення не допускаються.

6. Прилягання зовнішньої поверхні вкладиша до поверхні калібру, з перевіркою на фарбу при обжатому вкладиші з навантаженням 12,75 кН повинно бути не менше 75%. Плями повинні бути розташовані рівномірно по всій поверхні.

7. Прилягання стикових поверхонь до поверхні контрольної плити при перевірці на фарбу в обжатому стані повинне бути не менше 75%. Плями повинні розташовуватися рівномірно.

Застосований матеріал. Заготовка з бронзи ОЦС-3-12-5 (відливка). На кожну партію відливок повинен бути сертифікат і на кожній відливці (рис. 13.30,а) номер плавки. Технологічна схема обробки дана на рис. 13.30,а-п.



б

Рис. 13.29. Вкладыш шатуна опозитного компресора бази М10 (а) і схема виміру його висоти (б).

Перша операція – токарна (рис. 13.30,б). Точіння по зовнішній поверхні і розрізання. Заготовка закріплюється в трьохкулачковому патроні і підтискається центром, що обертається. Спочатку виконують обробку по зовнішньому діаметру до кулачків, потім надрізають на окремі заготовки і розточують отвір до $\varnothing 180_{-0,53}$ мм.

Друга операція – токарна (рис. 13.30,в). Заготовка встановлюється в мембранний патрон і розточується отвір $\varnothing 182,8A_3$. Обробку ведуть без охолодження.

Третя операція – заливальна. На спеціальній установці відцентровим способом виконують заливку отвору бабітом. Цей спосіб дає можливість рівномірно заповнити всі пустки під впливом відцентрової сили і розподілити бабіт по всій поверхні вкладиша рівномірним щільним шаром. Завдяки однакової товщині бабіту припуск на обробку залишається значно менший.

Четверта операція – токарна (рис. 13.30,г). Точіння по зовнішній поверхні. У трьохкулачковий патрон встановлюється розрізна бронзова втулка, а потім деталь. Обробка виконується на токарно-гвинторізному верстаті. Обробляється базовий зовнішній діаметр $200,2C_3$ до кулачків і підрізається торець.

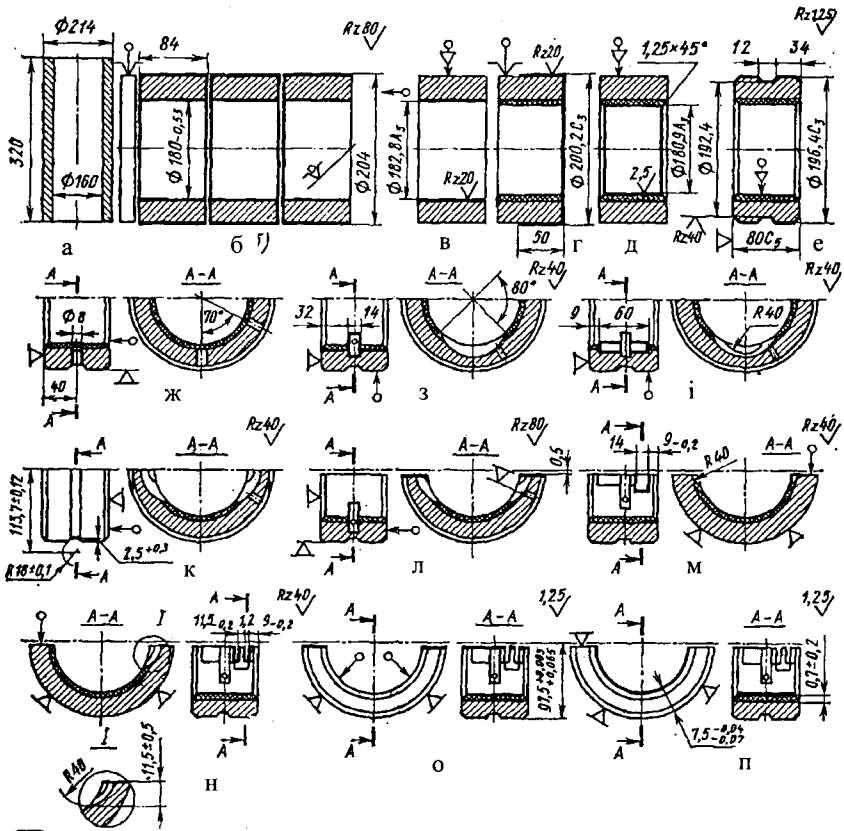


Рис. 13.30. Технологічна схема механічної обробки вкладиша шатуну опозитного компресора бази М10.

П'ята операція – токарна (рис. 13.30,д). Розточування отвору. Деталь встановлюють в мембранний патрон токарно-гвинторізного верстата і розточують отвори $\Phi 180,9A_3$ і фаски $1,25 \times 45^\circ$.

Шоста операція – токарна (рис. 13.30,е). Точіння по зовнішній поверхні. Деталь встановлюють отвором на мембранний патрон (рис. 13.31) і на токарно-гвинторіжному верстаті обточують зовнішню поверхню і фаски $1 \times 45^\circ$.

Сьома операція – свердлильна (рис. 13.30,ж). Деталь закріплюють в поворотному кондукторі і на вертикально-свердлильному верстаті свердлять чотири отвори $\Phi 8$ мм, розташовані по периметру.

Восьма операція – фрезерна (рис. 13.30,з) Фрезерування холо-

дильників. На стіл вертикально-фрезерного верстата ставлять поворотний стіл, на який встановлюють пристосування. Деталь закріплюють в пристосуванні по зовнішній поверхні і фрезерують холодильники, розташовані в радіальному напрямі.

Дев'ята операція – фрезерна (рис. 13.30,і). Фрезерування холодильників. На стіл вертикально-фрезерного верстата ставлять поворотний стіл, на який встановлюють пристосування. Деталь закріплюють в пристосуванні по зовнішній поверхні і фрезерують холодильники, розташовані у вертикальному напрямі.

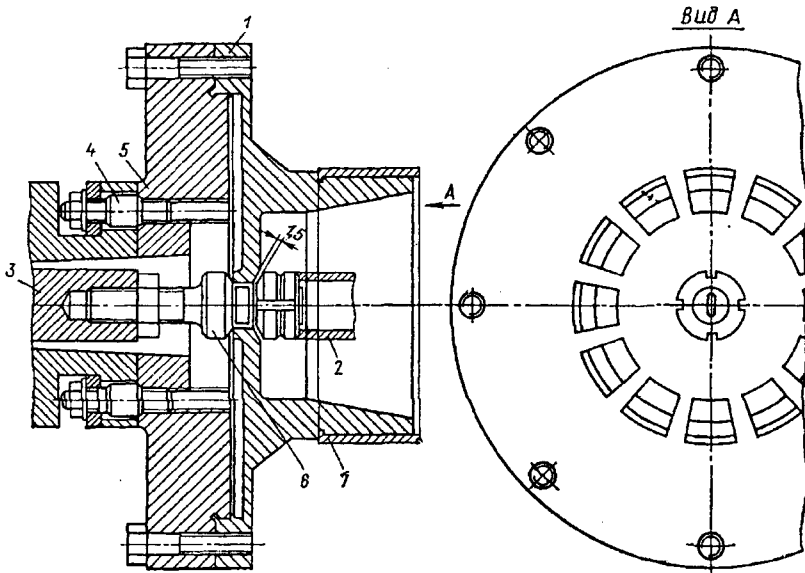


Рис. 13.31. Мембранний патрон для обробки вкладишів шатуна опозитного компресора бази М10.

Десята операція – свердлильна (рис. 13.30,к). Деталь встановлюють в поворотне пристосування і на вертикально-свердлильному верстаті свердлять пази радіусів з двох сторін деталі.

Одинадцята операція – фрезерна (рис. 13.30,л). Розрізання вкладишів на дві половини. Деталь закріплюють в пристосуванні вертикально-фрезерного верстата і виконують розрізання деталі послідовно з двох сторін. Ріжучий інструмент настроюють по установу пристосування за допомогою шупа.

Дванадцята операція – фрезерна (рис. 13.30,м). Фрезерування виїмки. На горизонтально-фрезерному верстаті встановлюють одну поло-

вину вкладиша в пристосування, centruючи по зовнішньому контуру, і фрезерують виїмку радіусом 40 мм. Ріжучий інструмент настроюють на розмір по установу пристосування із застосуванням щупа.

Тринадцята операція – фрезерна (рис. 13.30,н). Фрезерування пазів. Половинку вкладиша встановлюють в пристосування по зовнішній поверхні і на горизонтально-фрезерному верстаті фрезерують два прорізи набором з двох фрез. Інструмент настроюють на розмір по установу пристосування. Притиск деталі – по площині роз'єму.

Чотирнадцята операція – фрезерна (рис. 13.30,о). Остаточна обробка площин роз'єму. Половину вкладиша встановлюють в пристосування на вертикально-фрезерний верстат і фрезерують остаточну площину роз'єму у розмір $97,5^{+0,085}_{-0,065}$ мм. Деталь центрується в пристосуванні зовнішньою поверхнею і кріпиться по внутрішній сфері.

П'ятнадцята операція – розточувальна (рис.13.30,п). Остаточна обробка отвору. Операція виконується на спеціальному алмазно-розточувальному верстаті. Одна половина вкладиша закріплюється в пристосуванні, центрується по зовнішньому діаметру з фіксацією по площині роз'єму. Обробка виконується попередньо і остаточну за один прохід двома різцями, розташованими послідовно на одній оправці. Різці встановлюються на розмір спеціальним пристосуванням з індикатором. Після алмазного розточування виконується контроль в спеціальному пристосуванні, де заміряється товщина вкладиша в трьох розрізах, розташованих під кутом 60° . По товщині вкладиші розбиваються на дві групи. Номер кожної групи клеймиться на поверхні виїмки в пристосуванні.

13.4.3. МЕХАНІЧНА ОБРОБКА ТОНКОСТІННИХ ВКЛАДИШІВ ВАЖКИХ ОПОЗИТНИХ КОМПРЕСОРИВ 6M25-125/38-55

Вкладиші конструктивно оформлені з двох половин і виготовляються з бронзи ОЦС-5-5-5 із заливкою бабітом марки Б83.

Заготовка – відливка, що має зовнішній діаметр з урахуванням припуску на розрізання і остаточну обробку торців. Зовнішній діаметр D заготовки (рис.13.32,а) визначається по формулі

$$D = \frac{D_1 + 2t + 4a + 2k_{max}}{\pi},$$

де D_1 - діаметр посадочного місця вкладиша в картері; t – товщина

дискової фрези, a - припуск на обробку одного торця вкладиша після розрізання; k_{max} - верхній допуск на висоту однієї сторони вкладиша.

Внутрішній діаметр вкладиша (рис.13.32,б) перед заливкою бабітом визначають по формулі: $D_b = [D_1 - 2(a - b)] + k$, де товщина шару бабіту без урахування поля допуску; $k = 2\Delta_2$ - допуск на внутрішній діаметр вкладиша; a - товщина тіла вкладиша з бабітом без урахування поля допуску.

Зовнішній діаметр вкладиша у вільному стані складає $340,5^{+1,5}$ мм, товщина шару бабіту $0,7 \pm 0,2$ мм, товщина вкладиша $10_{-0,14}^{+0,11}$ мм.

Спочатку відливка обробляється попередньо з припуском на розрізання і підрізування торців і остаточно під заливку бабітом. Потім отвір заливають бабітом.

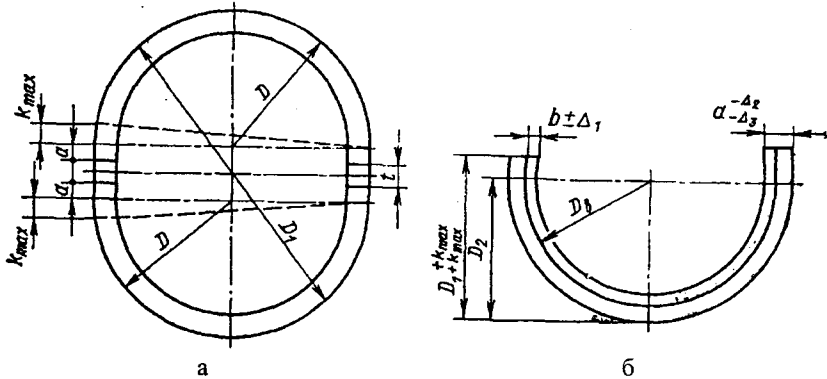


Рис. 13.32. Розрахункові схеми: а – для визначення діаметру заготовки перед розрізанням; б – для визначення внутрішнього діаметру вкладиша перед заливкою бабітом.

Вкладиші заливають бабітом марок Б-83 і Б-16. У зв'язку з жорсткими технічними умовами на якість заливки вкладишів пред'являються великі вимоги до підготовки їх під заливку. Перед заливкою вкладиші ретельно очищають від бруду сталевим щіткою, а потім очищають від іржі шляхом труїння в 10-15%-ном розчині сірчані або соляної кислоти на протязі 5-15 хв. Потім промивають в гарячій воді ($70-100^{\circ}\text{C}$). Після промивки вкладиші знежирюють в 8-12%-ному розчині луку, нагрітого до $70-90^{\circ}\text{C}$ протягом 5-10 хв, промивають в гарячій воді і просушують. Поверхню вкладиша, підлягаючу заливці бабітом, закрашують крейдовою фарбою, просушують, покривають розчином хлористого цинку і нагрівають в печі до $120-150^{\circ}\text{C}$, потім

занурюють в тигель на 5 хв.

Після проведення підготовчих робіт вкладиш заливають бабітом відцентровим способом, що дає можливість одержати високу якість заливки і високу щільність прилягання бабіту по всій поверхні вкладиша, що заливається.

Перед заливкою вкладиш встановлюють в пристосування, попередньо нагріте до 150–200⁰С. Заливку вкладишів рекомендують виконувати відразу ж після їх лудіння, не допускаючи охолодження. Вкладиш, що заливається, піддають обертанню з швидкістю $V = 50 \cdot \sqrt[3]{D}$, де V – окружна швидкість вкладиша, м/хв; D – внутрішній діаметр вкладиша, мм.

Верстат повинен мати частоту обертання $n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}$. Під час обертання вкладиша мірним ковшом виконують заливку.

Якість залитого вкладиша визначають таким чином:

1) залитий вкладиш при постукуванні металевим прутком не повинен видавати звуків, що деренчать, оскільки це указує на погане докучання бабіту до стінок вкладиша;

2) залита поверхня вкладиша повинна мати матово-сріблястий колір і гладку поверхню; жовтий колір свідчить про заливку перегрітим бабітом, що недопустимо;

3) на залитій поверхні вкладиша не повинно бути раковин, глибина яких по величині перевищувала б припуск, підлягаючий зняттю в процесі механічної обробки.

Рекомендується слідуєча частота обертання вкладишів, що заливаються бабітом:

Внутрішній діаметр вкладишів, мм	50	75	100	150
Частота обертання вкладиша, об/хв	1200	900	750	500

Після заливки розрізають заготовку на дві половини і фрезерують площини роз'єму шабруючою фрезою (рис. 13.32).

Пристосування і інструмент. Мембранний патрон для обробки вкладиша по зовнішній поверхні (рис. 13.31) складається з наступних основних деталей: патрона 1, що центрується на планшайбі 5; проміжної тяги 6; пальця 4. Планшайба 5 за допомогою пальця 4 з'єднується з оправкою, закріпленою на шпінделі верстата. Робоче зусилля на штоку $P=12$ кН. Виступаюча частина патрона складається з сегментів. Деталь 7 встановлюється на зовнішню частину сегментів патрона, потім за допомогою тяги 3 і 6 сегменти розходяться і закріплюють її.

Однозуба шабруюча фреза (рис. 13.28) складається з корпусу 2, двох різців 1 і 3, встановлених в пази корпусу. Різці стопоряться від випадання бічними гвинтами. Різець 1 безпосередньо виконує обробку і має пластину з твердого сплаву ВК6 або ВК8, він може переміщатися в аксіальному напрямі за допомогою гвинта. Корпус 2 завдяки своїй масивності створює великий маховий момент, що значно перевищує момент опору різання. Це дає можливість усувати люфти в підшипниках шпінделя. Різець 1 призначений для напівчистої обробки, а різець 3 – для остаточної. Різець 3 має пряму ріжучу кромку. Напівчистовий різець встановлюється ближче до периферії оправки, а різець 3 – ближче до центру. Обидва різці встановлюються на різних висотах, що дає можливість виконувати одночасно напівчистову і остаточно обробку.

Для отримання поверхні необхідної чистоти рекомендується різцем 3 знімати припуск не більш 0,05 мм. Різець 3 має ширину кромки 3–5 мм. Різці звичайно встановлюються з розворотом ріжучої кромки до 20° по відношенню до площини, перпендикулярної осі оправки.

Оправка з різцями балансується статично, і биття торця допускається не вище 0,02 мм. Після обробки одержують параметр шорсткості $R_a=1,25-2$ мкм, а площинність $-0,01$ мм на 1 м довжини.

13.5. ОБРОБКА ПОРШНЕВИХ КІЛЕЦЬ

13.5.1. КОНСТРУКТИВНІ І ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ПОРШНЕВИХ КІЛЕЦЬ

Поршневі кільця призначені для ущільнення зазора між внутрішньою поверхнею циліндра і поршнем, усунення витоку холодильного агента з порожнини нагнітання і видалення з дзеркала циліндра зайвого мастила. Поршневі кільця усувають зазор і разом з тим зберігають рухливість цього сполучення.

По конструкції поршневі кільця бувають компресійні (ущільнюючі) і маслоз'ємні. У бескрейцкопфних компресорах з тронковими поршнями маслоз'ємні кільця розташовані в нижній частині поршня.

У деяких конструкціях компресорів маслоз'ємні кільця відсутні.

На поршень встановлюють декілька поршневих кілець. Під тиском стискаючого агента поршневі кільця притискаються до стінок ка-

навок поршня. Одночасно завдяки наявності прорізу (замку), що дає можливість у вільному стані встановлювати і знімати поршневі кільця з поршня, при експлуатації забезпечується рівномірний тиск на стінки циліндра.

Для усунення витoku холодильного агента ширина прорізу виконується мінімальною, що забезпечує при тепловому розширенні невеликий зазор між кінцями поршневого кільця. Величина тиску кілець на стінки поршня має велике значення для експлуатаційних властивостей компресора. За наявності невеликого тиску масло переходить в порожнину нагнітання, а за наявності великого тиску швидко зношуються поршневі кільця і дзеркало циліндра і витрачається більше потужності на подолання тертя. У холодильних компресорах поршневі кільця чинять однаковий тиск по всьому колу.

Технічні вимоги до механічної обробки:

1. Непаралельність торців в межах допуску на висоту кільця.
2. Параметри шорсткості поверхонь торців рекомендуються для кілець із зовнішнім діаметром від 250 мм до 700 мм $-R_a=1,25$ мкм, понад 700 мм $-R_a=2,5$ мкм.
3. Різниця значень твердості в одному кільці не повинна перевищувати будь-яких чотирьох вимірів значень, записаних в даному інтервалі твердості.
4. Для кілець із зовнішнім діаметром більше 500 мм допускається твердість *HB* 178-260.
5. Твердість кілець повинна визначатися не менше ніж на двох діаметрально розташованих ділянках плоскої поверхні кільця. На кожній з цих ділянок виконується не менше трьох вимірів твердості.
6. Зовнішні кромки кільця повинні бути гострими. Допускається притуплення гострих кромки шляхом зняття фасок або закругленням не більш 0,1 мм.
7. Допускаються сколи на кромках замку по внутрішній поверхні кільця розміром не більш 0,5 мм.
8. Залишкова деформація при випробуванні на вигин під навантаженням не повинна перевищувати 10%.
9. Забоїни, раковини на робочих поверхнях кілець не допускаються.
10. Радіальну товщину перевіряти в чотирьох діаметрально протилежних точках.
11. Радіальний зазор між поршневим кільцем і калібром на дузі 450 не більше ніж в двох місцях і не ближче 300 від замку не повинен

перевищувати 0,03 мм.

12. Перевіряти викривлення поверхонь торців кільця, яке не повинне бути більше 0,05 мм для кілець із зовнішнім діаметром до 420 мм і 0,07 мм для кілець діаметром більше 420 мм. Перевірку на викривлення виконувати на плиті щупом, при цьому маса, що накладається на кільце, не повинна перевищувати десятиразової маси поршневого кільця.

13. Перевірити пружність поршневого кільця, яка випробовується під навантаженням з різною масою залежно від марки компресора.

13.5.2. МЕХАНІЧНА ОБРОБКА ПОРШНЕВИХ КІЛЕЦЬ M120X5

Поршневе кільце M120X5 показано на рис. 13.33. Матеріал – спеціальний чавун. Відливання індивідуальне. Маса 0,04 кг. Технологічна схема показана на рис. 13.34, а-п.

Перша операція – шліфувальна (рис. 13.34,а). Заготовки укладають в лоток торцешліфувального верстата СА-3М і шліфують одночасно обидва торці за чотири проходи з $t=0,075$ мм за кожен прохід при $n=760$ об/хв. У даній операції допускається непаралельність торців в межах допуску на висоту кільця.

Друга операція – мийна.

Третя операція – термообробка.

Четверта операція – шліфувальна (рис. 13.34,б). Заготовки укладаються в лоток торцешліфувального верстата і шліфують одночасно обидва торці в два проходи з $t=0,005$ мм за кожен прохід при $n=760$ об/хв. Допускається непаралельність торців в межах допуску на висоту кільця.

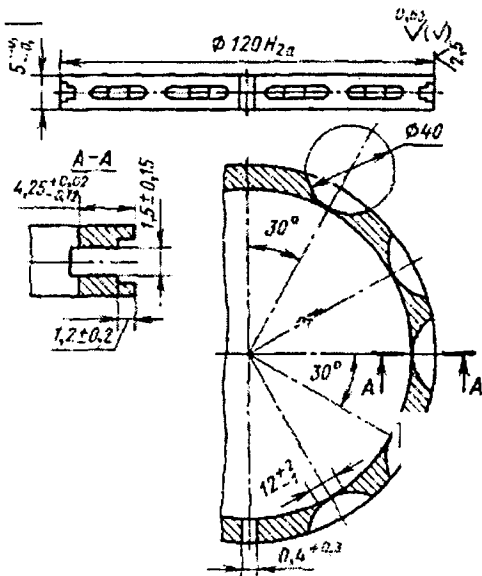


Рис. 13.33. Поршневе кільце M120X5.

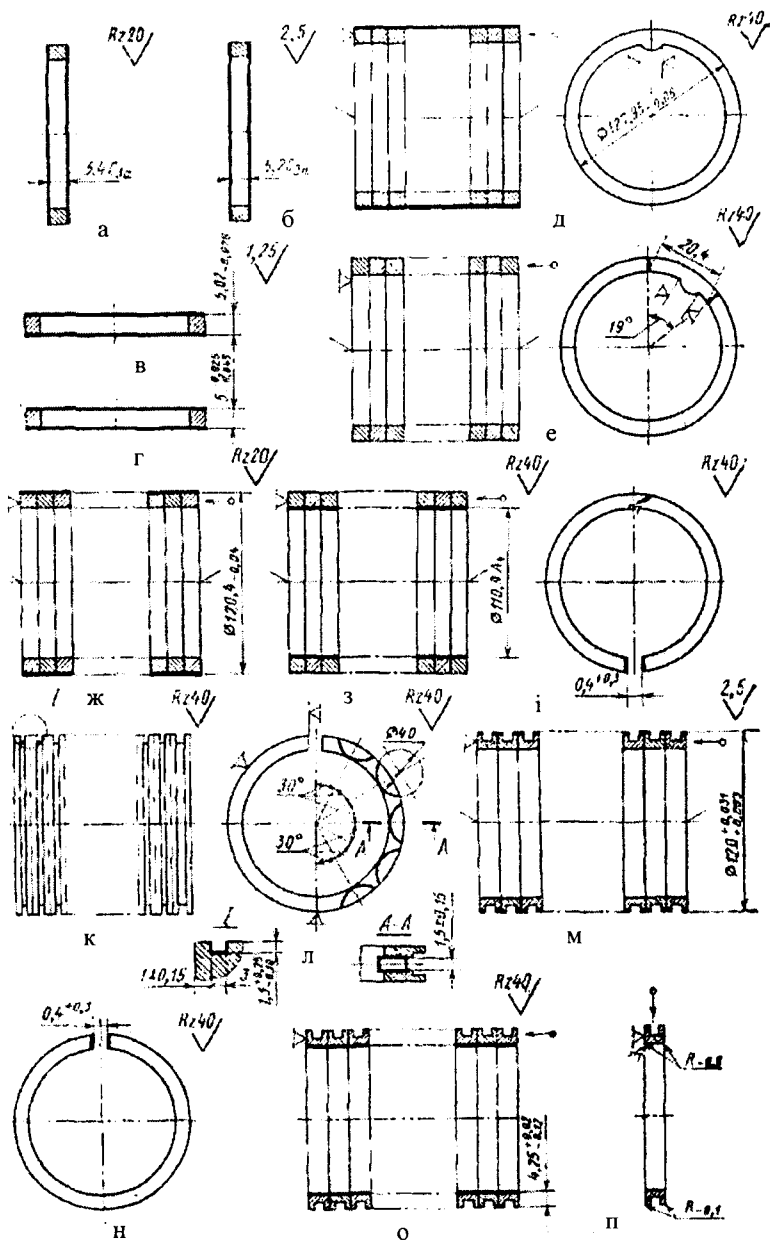


Рис. 13.34. Технологічна схема механічної обробки поршневого кільця M120X5.

П'ята операція – шліфувальна (рис. 13.34,в). Заготовки укладають на завантажувальну позицію торцешліфувального верстата 3317 і шліфують поверхні торців за п'ять проходів. Чотири проходи з $t=0,002$ мм, $n=465$ об/хв, а п'ятий прохід з $t=0,01$ мм, $n=655$ об/хв.

Шоста операція – шліфувальна (рис. 13.34,г). Кільця укладають на завантажувальну позицію торцешліфувального верстата 3317 і шліфують одночасно поверхні торців з $t=0,01$ мм, $n=465$ об/хв. Допускається викривлення не більш 0,05 мм.

Сьома операція – мийна.

Восьма операція – токарна (рис. 13.34,д). Набирають 24 кільця на оправку і закріплюють. Оправку встановлюють на токарно-гвинторізний верстат в кулачки патрона і на центр. Обробляють зовнішню поверхню трьома різцями. Режими обробки: $t=1,8$ мм, $s=0,26$ мм/об, $n=50$ об/хв.

Дев'ята операція – фрезерна (рис. 13.34,е). Оправка з 24 кільцями закріплюють в пристосуванні на столі горизонтально-фрезерного верстата і фрезерують замок одночасно двома фрезами. Режим обробки: $t=4,7$ мм, $s=50$ мм/об, $n=150$ об/хв. Розмір замку контролюється калібром при обжиманні. Зазор повинен бути в межах 0,5–0,25 мм.

Десята операція – токарна (рис. 13.34,ж). Набирають 29 кілець на облямовування і встановлюють на токарно-гвинторізний верстат. Обробляють зовнішню поверхню з наступними режимами: $t=0,3$ мм, $s=0,21$ мм/об, $n=250$ об/хв.

Одинадцята операція (рис. 13.34,з). Набирають 21 кільце в завантажувальне пристосування і перепресовують їх у втулку, потім розточують отвори в кільцях з наступними режимами: $t=1,0$ мм, $s=0,21$ мм/об, $n=188$ об/хв.

Дванадцята операція – фрезерна (рис. 13.34,и). Кільце закріплюють в пристосуванні на горизонтально-фрезерному верстаті і калібрують замок ($n=210$ об/хв).

Тринадцята операція – токарна (рис. 13.34,к). Набирають 10 кілець на оправку і встановлюють в центрах токарно-гвинторізного верстата. Прорізають одночасно канавку в п'яти деталях з наступними режимами: $t=1,3$ мм, з ручною подачею, $n=2100$ об/хв.

Чотирнадцята операція – фрезерна (рис. 13.34,л). Оправка з 10 кільцями закріплюють в пристосування на горизонтально-фрезерному верстаті і фрезерують послідовно 10 вікон в кільцях з наступними режимами: $t=4,25$ мм, $n=300$ об/хв.

П'ятнадцята операція – токарна (рис. 13.34,м). Набирають 29 кі-

лець на оправку і встановлюють її в центрах токарно-гвинторізного верстата. Обробляють зовнішню поверхню остаточно в розмір з наступними режимами: $t=0,2$ мм, $s=0,15$ мм/об, $n=250$ об/хв.

Шістнадцята операція – фрезерна (рис. 13.34,н). Кільце встановлюють в пристосування на горизонтально-фрезерний верстат і калібрують замок з наступними режимами: $n=210$ об/хв, ручна подача.

Сімнадцята операція – токарно-револьверна (рис. 13.38,о). Набирають 25 кільцець в завантажувальне пристосування, потім перепресовують їх у втулку. На токарно-револьверному верстаті розточують отвори в кільцях, витримуючи розміри з наступними режимами: $t=0,3$ мм, $s=0,21$ мм/об, $n=185$ об/хв.

Вісімнадцята операція – токарна (рис. 13.34,п). Встановлюють кільце в оправку токарно-гвинторізного верстата і закругляють внутрішні кромки абразивним бруском зі переустановленням деталі.

Дев'ятнадцята операція – мийна.

Двадцята операція – контрольна. Перевіряють лінійні розміри скобами, викривлення – пристосуванням, отвір – пробками, твердість – твердоміром, а теплові зазори – калібром.

Двадцять перша операція – слюсарна. Маркують на кожному кільці знак заводу і позначення кільця.

13.6. ОБРОБКА ПІДШИПНИКІВ КОТІННЯ

Підшипники котіння по конструкції підрозділяють на кулькові, роликові, конічні, роликові голчаті без внутрішнього кільця (карданні) і залізничні.

Виробництво підшипників котіння є одним з наймасовіших в машинобудуванні, і тому в цій галузі механізація і автоматизація виробничих процесів набули найширше поширення.

Прикладом комплексної автоматизації виробництва наймасовіших підшипників котіння – кулькових і роликових – є цех сучасного підшипникового заводу, що складається з двох автоматичних ліній: на лінії шарикопідшипників виготовляють зовнішні кільця діаметром 65–125 мм і внутрішні кільця діаметром 32–65 мм, продуктивність цієї лінії 900 тис. комплектів в рік і на лінії ролико-підшипників – зовнішні кільця діаметром 125–200 мм і внутрішні кільця діаметром 65–125 мм, продуктивність лінії 600 тис. комплектів в рік. Кульки і ролики, а також сепаратори на лінії не виготовляють, вони поступають на збірку в готовому вигляді з інших цехів.

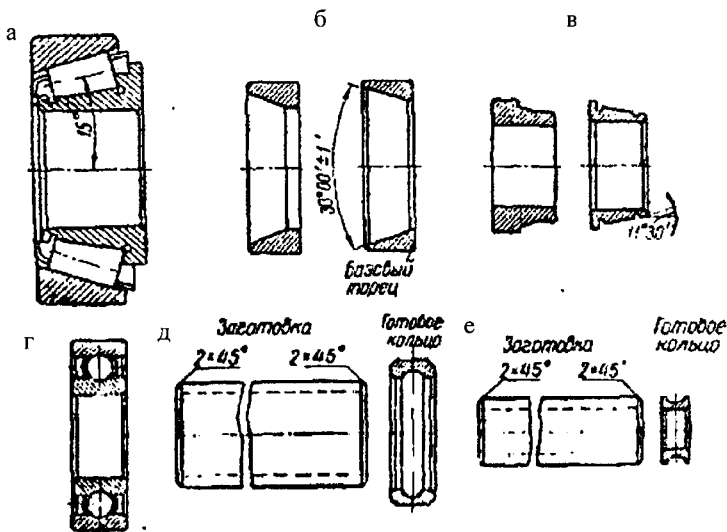


Рис. 13.35. Види підшипників, кільць і заготовок: а - роликів підшипник в зборі; б - зовнішнє кільце; в - внутрішнє кільце; г - кульковий підшипник в зборі; д - зовнішнє кільце; е - внутрішнє кільце.

У цеху повністю автоматизовані токарна обробка як внутрішніх, так і зовнішніх кільць, термообробка, шліфування і збірка підшипників, а також транспортування деталей, миття, сушка, антикорозійне покриття, упаковка і контроль.

Заготовки. Зовнішні і внутрішні кільця кулько- і роликів підшипників виготовляють із сталі ШХ15: шарикопідшипники з гарячекатаних (зовнішнє кільце) і холоднокатаних труб, що калібруються (внутрішнє кільце), а роликів підшипників – з штампованих заготовок (рис. 13.35).

На заготовках кільць шарикопідшипників припуск на зовнішній діаметр складає 0,81 мм, а на отвір 2 мм (без жолобів); на штампованих заготовках кільць роликів підшипників припуск на ширину, а також на зовнішній і внутрішній діаметри складає 3,5–4 мм.

Технологічні бази. Підшипники котіння складаються з тіл котіння 1 (кульок або роликів), які поміщаються між двома кільцями (обоймами) (рис. 13.36,а). Однє з кільць сполучається з валом і називається внутрішнім кільцем 2, друге – з отвором корпусу деталі і називається зовнішнім 3.

Сполучення зовнішнього кільця з корпусом деталі здійснюється

по діаметру D і ширині b (для упорних підшипників), а внутрішнього кільця з валом – по діаметру d .

Розміри D , d і b називають *приєднувальними* або *монтажними* розмірами підшипників. Велике значення має посадка підшипників за розмірами D і d .

Зовнішнє кільце підшипника котіння є валом, а внутрішнє – отвір. По міркуваннях економіки всі підшипники котіння даного типорозміру і ступеня точності виконують з однаковими відхиленнями

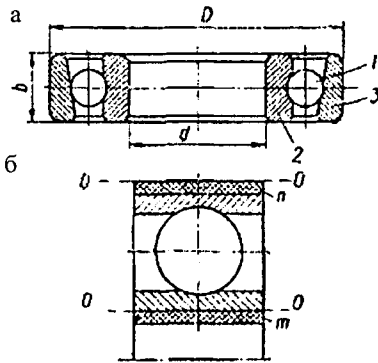


Рис. 13.36. Загальний вигляд (а) і схема (б) полів допусків зовнішнього (п) і внутрішнього (м) кілець підшипника котіння.

незалежно від того, для якої посадки вони будуть надалі використані.

Кільця підшипників котіння за приєднувальними розмірами розглядають як основні деталі сполучення, тобто зовнішнє кільце по діаметру D є основним валом, а внутрішнє кільце по діаметру d – основним отвором. Тому сполучення зовнішнього кільця з контрдеталлю виконується за *системою валу*, а сполучення внутрішнього кільця з валом – за *системою отвору*.

По точності виконання розрізняють підшипники котіння наступних класів: нормального – Н; підвищеного – П; високого – В; прецизійного – А; надпрецизійного – С.

Відхилення зовнішнього кільця класів точності Н, П і В даються від нуля в мінус (рис. 13.36, б), що відповідає відхиленням основного валу в системі валу.

Відхилення внутрішнього кільця класів Н, П і В даються також від нуля в мінус, що не відповідає відхиленню основного отвору в системі отвору. Для підшипників класів точності А і С обидва відхилення для зовнішнього і внутрішнього кільця негативні.

Точність виготовлення кілець підшипників котіння класів точності Н, П і В за приєднувальними розмірами D і d близька до точності виготовлення валів і отворів 1-го класу точності. Для класів точності А і С точність виготовлення підшипників ще вища. Точність виготовлення кілець по ширині b відповідає точності виготовлення ва-

лів (охоплюваних деталей) між 3-м і 4-м класами точності. Контрдеталі, тобто корпуси і вали, для сполучення з підшипниками нормальної точності виготовлення виконують звичайно по 2-му класу і дуже рідкісно по 3-му класу точності.

Окрім точності розміру, у контрдеталей повинні бути забезпечені відповідна чистота поверхні і правильна геометрична форма.

Чистота поверхні під посадку підшипників котіння класів Н і П повинна бути не нижчою за 6-й клас чистоти в корпусах, а на валах не нижче за 8-й клас; для підшипників класу В, А і С – не нижче за 9-й клас чистоти.

Точність геометричної форми контрдеталей визначається вимогою, щоб конусність в сумі з овальністю місць посадки не перевершувала половини допуску на розмір діаметру, а відхилення упорного торця від перпендикулярності до осі не перевершувала 10" у валу і 100" у корпусу. Для з'єднання підшипників з валами (осями) і корпусами машин і механізмів встановлені посадки, приведені в табл. 13.2.

Таблиця 13.2. Посадки підшипників котіння

Посадки	Позначення посадок	Посадки	Позначення посадок
Глуха підшипникова	G_n, G_{1n}	Ковзаюча підшипникова	C_n, C_{1n}, C_{3n}
Туга підшипникова	T_n, T_{1n}	Рухова підшипникова	D_n, D_{1n}
Напружена підшипникова	H_n, H_{1n}	Ходова підшипникова	X_n
Щільна підшипникова	P_n, P_{1n}		

Посадки підшипників котіння вибирають, враховуючи наступні положення.

Підшипник котіння, як комплексний вузол, повинен добре центрувати вал відносно корпусу, тому ексцентриситети і зазори між валом і корпусом повинні бути по можливості усунені. Посадки легкоходова (Л) і широкоходова (Ш), які можуть дати гарантовані зазори, і, отже, ексцентриситети для посадок підшипників котіння не застосовуються.

Кільця підшипників котіння мають відносно малу жорсткість завдяки тонким стінкам кілець при достатньо великому діаметрі. Навіть у вільному стані, поза зібраним вузлом, кільця підшипників легко приймають овальну форму. У зібраному виді кільця підшипників сприймають форму контрдеталі. Тому до контрдеталей пред'являють підвищені вимоги.

Відхилення, що допускаються, від правильної геометричної фо-

рми посадочних поверхонь валів і корпусів не повинні перевищувати величин, вказаних в табл. 13.3.

Таблиця 13.3. Відхилення, що допускаються, від правильної геометричної форми

Посадочні місця валів (осей) і отворів корпусів	Допустимі відхилення			
	по овальності		по конусності (різниця діаметрів в крайніх розрізах посадочної поверхні)	
	Класи точності			
	Н, П і В	А і С	Н, П і В	А і С
	не більш			
Підшипники котіння, передбачені стандартом	половини допуску на діаметр в будь-якому розрізі посадочної поверхні	чверті допуску на діаметр в будь-якому розрізі посадочної поверхні	половини допуску на діаметр посадочної поверхні	чверті допуску на діаметр посадочної поверхні

Пружні деформації, які виникають при запресовці кілець в корпус або на вал, частково переносяться (внаслідок тонкостінності кілець) на бігові доріжки кілець. Це може привести до заклинювання тіл котіння при роботі і, отже, до швидкого зносу і руйнуванню підшипника. Тому перехідні посадки Г, Т, і Н, які застосовуються для посадки валів у внутрішні кільця фактично утворюють групу пресових посадок з гарантованим натягом. Вибір посадок кілець підшипника визначається характером їх навантаження, залежним від того, обертається або не обертається кільце, на яке діє радіальне навантаження.

Основними базами при обробці кілець підшипників є циліндрові поверхні і поверхня опорного торця.

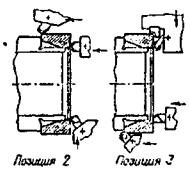
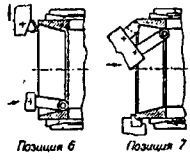
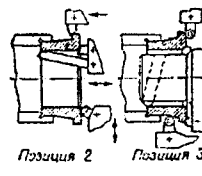
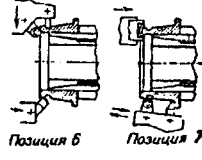
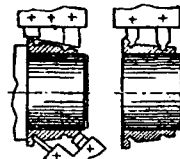
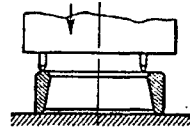
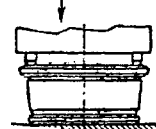
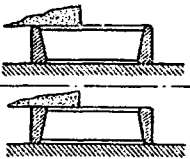
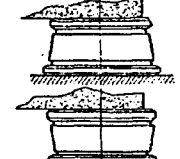
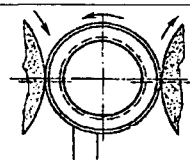
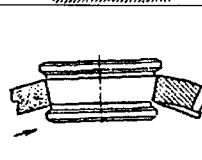
На перших двох позиціях токарної обробки з однієї установки базового торця і зовнішньої циліндрової поверхні зовнішнього кільця роликотпідшипника основними базами є вузький торець і отвір. На двох наступних позиціях базами є другий торець і зовнішня циліндрова поверхня.

Після термічної обробки при плоскому шліфуванні на прохід за базу спочатку приймають опорний, а потім другий торці. При безцентровому шліфуванні основною базою є зовнішня поверхня. При шліфуванні внутрішньої поверхні як бази використовують зовнішню поверхню і опорний торець.

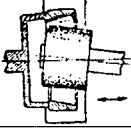
Технологічний маршрут (табл. 13.4). Виготовлення зовнішнього і внутрішнього кілець шарикотпідшипників починається з обробки зо-

внішніх і внутрішніх поверхонь одночасно двох заготовок на токарних автоматах стержневого типу (двухшпіндельних – для зовнішніх і шестишпіндельних – для внутрішніх кілець), після чого виконують таврування і термообробку.

Таблиця 13.4. Технологічна схема обробки зовнішніх і внутрішніх кілець роликопідшипників

Найменування операції	Операційні ескізи кілець	
	зовнішнього	внутрішнього
Токарна обробка зовнішніх і внутрішніх поверхонь	 <p>Позиція 2 Позиція 3</p>  <p>Позиція 6 Позиція 7</p>	 <p>Позиція 2 Позиція 3</p>  <p>Позиція 6 Позиція 7</p>
Остаточна обробка зовнішніх поверхонь внутрішнього кільця		
Таврування		
Шліфування торців		
Шліфування попереднє і остаточне зовнішньої і внутрішньої поверхонь зовнішнього кільця і шліфування попереднє доріжки котіння для внутрішнього кільця		

Продовження таблиці 13.4.

Найменування операції	Операційні ескізи кілець	
	зовнішнього	внутрішнього
Шліфування попереднє і остаточне доріжки котіння зовнішнього кільця і шліфування отвору внутрішнього кільця		
Зачистка зовнішньої циліндрової поверхні зовнішнього кільця і шліфування остаточне доріжки котіння внутрішнього кільця		
Шліфування опорного борту внутрішнього кільця		

Термічна обробка складається з гарту (гарт виконують в гартівній печі при заведеному внутрішньому кільці в зовнішнє), промивки, низькотемпературної обробки холодом для стабілізації структури і розмірів при температурі 8–12°C протягом 40–45 хв, і відпуску при температурі 150–160°C протягом 3 год в електропечі.

Після термічної обробки виконують попереднє і остаточне шліфування зовнішньої поверхні.

Потім в зовнішньому кільці шліфують і полірують жолоб, а у внутрішньому — отвір, після чого також шліфують і полірують жолоб.

Виготовлення зовнішнього і внутрішнього кілець роликотідишипників починається з обробки зовнішніх і внутрішніх поверхонь на двохблокових восьмишпіндельних токарних автоматах з двох сторін. Внутрішнє кільце складніше зовнішнього, тому після цієї операції обробка роликотідишипників у внутрішньому кільці завершується на одношпіндельному трюхсупортному автоматі. Після цієї операції виконують таврування і термічну обробку по тій же схемі, що і для зовнішніх і внутрішніх кілець шарикотідишипників, а потім шліфування торців.

Після термообробки виконується попереднє і остаточне шліфування зовнішньої поверхні і доріжки котіння на зовнішньому кільці, попереднє шліфування доріжки котіння внутрішнього кільця і шліфування отвору, потім остаточне шліфування доріжки котіння і опорного бурту. Останньою операцією виготовлення зовнішніх кілець як кулько-, так і роликотідишипників є оздоблювальна обробка зовнішньої циліндрової поверхні на стрічково-шліфувальних верстатах.

На обох лініях встановлені автомати для контролю виготовлених кілець і підшипників, контрольно-блокувальні автомати для видалення з автоматичних ліній браку, а також прилади активного контролю, вбудовані у верстати. Токарну обробку кілець виконують різцями із пластинками Т14К8 (чашкового типу), а також Т5К10; при шліфуванні застосовують круги Э80М2Б (для обробки торців), ЭБ80СМ1К (для обробки отворів) і при безцентровому шліфуванні зовнішніх кілець — круги на керамічній зв'язці з твердістю СМ1 і зернистістю 32 для чорнового і 12 для чистового шліфування.

Полірування проводять фетровими кругами з подачею в зону обробки мікропорошку ЭМ28, розведеного в охолоджуючій рідині.

Транспортні завантажувальні пристрої забезпечують як подачу заготовок кілець з операції на операцію, так і транспортування їх до місця збірки і на склад.

13.7. ВИГОТОВЛЕННЯ ТИПОВИХ ДЕТАЛЕЙ ДВИГУНІВ

13.7.1. ВИГОТОВЛЕННЯ БЛОКІВ ЦИЛІНДРІВ

Блоки циліндрів двигунів бувають рядними і V-образними. Виготовляються вони з сірого чавуну марок СЧ18–36, СЧ21–40 і інших і з алюмінієвих сплавів. Відливки до механічної обробки піддаються штучному старінню для зняття внутрішніх напруг. Блок циліндрів є корпусною деталлю складної форми з ретельно обробленими і точно розташованими площинами і базовими отворами. Найбільш високі вимоги відносно точності обробки пред'являються до привалочних площин, отворів під вкладиші корінних підшипників, під втулки розподільного валу, під гільзи циліндрів.

Технологічний процес механічної обробки блоку циліндрів складається з великого числа операцій і в основному зводиться до обробки площин, центруючих отворів під гільзи, отворів під вкладиші корінних підшипників і шийки розподільного валу, а також різних кріпильних і змащувальних отворів. При механічній обробці використовуються головним чином спеціальні верстати і автоматичні лінії, що виконують фрезерні, розточувальні, свердлильні і різенарізальні операції.

Постійними технологічними базами для більшості операцій є нижня опорна площина блоку і два точні спеціально підготовлені установчі (технологічні) отвори, розташовані на ній по краях однієї

із сторін. До створення цих баз використовуються тимчасово технологічні бази на оброблених платиках.

На першій операції заготовка блоку встановлюється по напівколах першої і п'ятої корінних опор до гільзового отвору першого циліндра. На цій операції фрезеруються бічні площини і технологічні платики, використовувани на другій операції як тимчасові установчі бази. Направляючими базами на другій операції служать півкола першої і п'ятої корінних опор. На другій операції обробляються начорно верхня і нижня площини; обробка ведеться на подовжньо- або барабанно-фрезерному верстаті.

Після чорнкової обробки подовжніх бічних поверхонь і платиків, протягування поверхонь замку під кришки корінних підшипників виконуються дві операції по свердленню і розгортанню двох технологічних отворів. Одночасно на цих операціях виконується обробка в інших отворах. На всіх наступних операціях використовуються постійні технологічні бази – нижня площина блоку і два установчі отвори, які забезпечують кутову орієнтацію блоку. Застосування принципу постійних технологічних баз забезпечує отримання деталі високої точності. Установчі пристосування на послідуючих операціях є опорною плитою, забезпеченою двома установчими штифтами (циліндровим і ромбічним) і трьома (чотирма) опорними пластинами, для затиску заготовки служать різного роду гідравлічні затискні пристрої.

Високі вимоги до паралельності осей отворів під колінчастий і розподільний вали до опорних площин і жорсткий допуск на міжцентрову відстань між ними забезпечуються одночасним розточуванням цих поверхонь на багатошпіндельних агрегатних верстатах, для отримання необхідної шорсткості отворів під вкладиші корінних підшипників $R_a = 0,63$ мкм застосовується їх розкочування роликками або хонінгоування. Технічний контроль при обробці блоку здійснюється після виконання певних груп операцій механічної обробки. Контролю піддаються вибірково кожен 10, 20, 25 або 30-й блок або виконується суцільний контроль (кожного блоку) відповідно до даних карти технічного контролю.

Нижче наводяться як приклад основні технічні вимоги до виготовлення блок-картера двигуна СМД-14. Заготовка блоку є відливка з сірого чавуну марки СЧ18-36 з товщиною стінок 7-8 мм. Ливарні ухили складають 1-2°, а ливарні радіуси 3-5 мм. Припуск на обробку основних поверхонь складає 3-5 мм. Відливка піддається штучному старінню для зняття внутрішніх напруг.

Основні технічні вимоги до блоку циліндрів зводяться до наступного. Неплощинність верхньої площини (під головку блоку) – не більш 0,05 мм. Неплощинність нижньої площини (під картер) – не більш 0,1 мм. Непаралельність верхньої і нижньої площин – не більш 0,1 мм. Непаралельність поверхні під головку блоку і загальної осі отворів під корінні підшипники – не більш 0,05 мм. Непаралельність загальної осі підшипників розподільного валу і осі отворів під корінні підшипники – не більш 0,05 мм на всій довжині.

Неперпендикулярність осей отворів під гільзи циліндрів відносно загальної осі отворів корінних підшипників – не більш 0,07 мм на довжині 300 мм. Точність виготовлення отворів під корінні підшипники – по 6 квалітету, шорсткість $R_a = 0,63$ мкм, точність виготовлення отворів під розподільний вал – по 8 квалітету. Радіальне биття проміжних опор корінних підшипників відносно двох крайніх – не більш 0,03 мм, різниця радіального биття сусідніх опор при цьому повинна бути не більш 0,02 мм. Відхилення від правильної геометричної форми отворів під вкладиші корінних підшипників – не більш 0,015 мм. Неспівістність отворів під розподільний вал – не більш 0,015 мм.

13.7.2. ВИГОТОВЛЕННЯ ГОЛОВОК ЦИЛІНДРІВ

Головки циліндрів – складні формою корпусні деталі, але вимагаючи меншого об'єму механічної обробки, ніж блоки циліндрів. Вони виготовляються з сірого або легованого чавуну, а також з алюмінієвих сплавів. Конструкції головок розрізняються за формою камер згорання, розташуванню клапанів, форсунок і свічок запалення, причому конструкції тракторних головок значно складніші, ніж головок блоків автомобільних карбюраторних двигунів. Усередині головки є водяна сорочка, яка після відливання і в процесі механічної обробки повинна піддаватися гідравлічним випробуванням. Характерним для головок циліндрів є наявність великого числа отворів під шпильки кріплення головки, під направляючі втулки клапанів, наявність сидел клапанів, високі вимоги до площинності і прямолінійності привалочної площини під блок циліндрів.

Головки циліндрів карбюраторних (автомобільних) двигунів звичайно мають камери згорання, які не піддаються механічній обробці. При розробці технологічного процесу механічної обробки таких головок, поверхні камер згорання використовуються на першій операції як технологічна установча база. При обробці головок циліндрів

тракторних двигунів як перша база служить необроблена поверхня привалочної площини. Надалі, використовуючи верхню площину як установчу базу, виконують обробку нижньої привалочної площини і двох установчих технологічних отворів на ній.

Вся подальша обробка головок циліндрів здійснюється на цих технологічних базах. Заготовкою є відливка з модифікованого чавуну СЧ21-40 з товщиною ребер і стінок від 5 до 9 мм, ливарні радіуси – 3–5 мм. Відливка піддається штучному старінню для зняття внутрішніх напруг і гідравлічному випробуванню під тиском 0,4 МПа протягом 3 хв. У випадку якщо виконувалася гаряча заварка тріщин, свищів, виконується повторна перевірка. Припуск на обробку площин – 4 мм на сторону.

Найвідповідальнішими поверхнями в головці є привалочна площина і верхня площина, поверхні сідел клапанів, отвору під направляючі втулки і посадочні місця під форсунки. На привалочній площині прорізаються три термокомпенсаційні прорізи. Основні технічні вимоги до точності обробки полягають в наступному. Неплощинність привалочної нижньої площини — не більш 0,1 мм на всій довжині до і після фрезерування термокомпенсаційних прорізів. Перевірка непощинності виконується після притиснення головки до перевірконої плити за допомогою восьми гайок. Шорсткість привалочної площини $R_a=2,5$ мкм, а верхньої і бічних поверхонь $R_z=20$ мкм. Непаралельність верхньої і привалочної площин – не більш 0,1 мм на всій довжині. Биття фаски сидла клапана відносно розгорненого отвору запресованої направляючої втулки не перевищує 0,05 мм.

Обробка ведеться в основному на автоматичних лініях з використанням спеціальних фрезерних і свердильних багатопіндельних верстатів. На перших операціях виконується чорнова і чистова обробки всіх площин. Після виготовлення на четвертій операції двох установчих отворів діаметром 14 мм вони разом з привалочною площиною використовуються як постійна установча база на більшості подальших операцій.

Після обробки площин і виготовлення кріпильних отворів виконується чорнове і чистове зенкування отворів під форсунки, сферичних отворів під вставки камери згорання, під направляючі втулки клапанів і сідел клапанів. Для обробки ступінчастих отворів з одночасним зняттям фасок використовується комбінований і ступінчастий інструмент.

На рис. 13.37 показані різні випадки використання такого інструменту з напрямом його по кондукторних втулках. Сферичні от-

вори і сідла клапанів додатково розгортаються. Після завершення механічної обробки головка циліндрів піддається гідравлічному випробуванню під тиском 0,4 МПа протягом 3 хв 10%-ним водним розчином хлористого амонія. На окремих стадіях обробки головки циліндрів виконуються контрольні операції по перевірці розмірів, площинності, паралельності і інших технічних вимог.

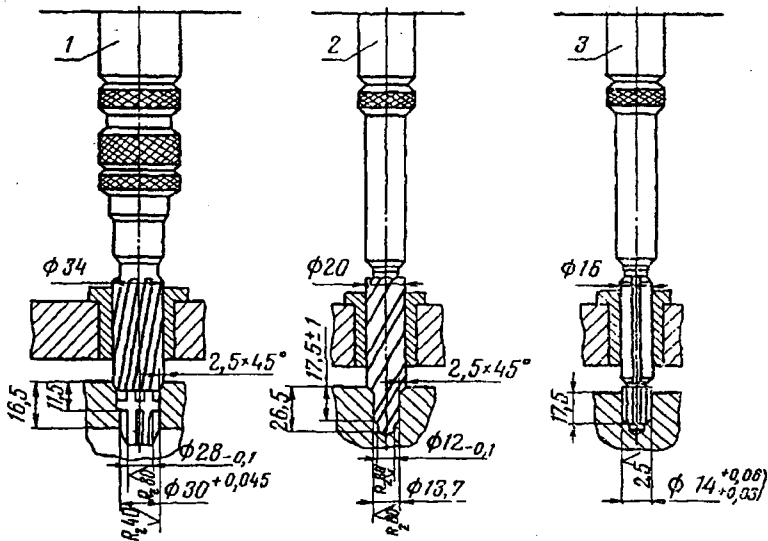


Рис. 13.37. Обробка отворів головки циліндрів двигуна СМД-14 комбінованим інструментом: 1 - зенкування; 2 - свердління; 3 - розгортання.

13.7.3. ВИГОТОВЛЕННЯ ГІЛЬЗ ЦИЛІНДРІВ

Гільзи циліндрів є відповідальними деталями шатунно-поршневої групи двигуна. Розрізняють сухі і мокрі гільзи. Сухі (короткі) гільзи з матеріалу підвищеної зносостійкості встановлюються у верхній частині циліндра двигуна і прилягають всією своєю зовнішньою точно обробленою поверхнею до циліндра блоку двигуна. Їх запресовують в циліндри блоку або в мокрі гільзи, потім дзеркало циліндра остаточно обробляють спільно з гільзою. Сухі гільзи застосовуються в основному в блоках двотактних двигунів. Мокрі гільзи сполучаються з блоком лише по посадочних поясочках і по торцю буртів, а

зовнішня поверхня між поясочками може залишатися необробленою.

Блоки тракторних двигунів, як правило, мають мокрі гільзи. Гільзи виготовляються з сірих чавунів марок МСЧ 28–48, СЧ 21–40, а також із спеціальних чавунів з легуючими добавками. Підвищення зносостійкості дзеркала циліндра у ряді випадків досягається пористим хромуванням його поверхні шаром завтовшки 0,05–0,1 мм. Для підвищення зносостійкості автотракторних гільз поверхня дзеркала гільзи піддається гарту струмами високої частоти до твердості HRC 40–50 на глибину не менше 1,5 мм.

Заготовки гільз виготовляються литвом в земляні оболонкові форми або відцентровим литвом. Припуски на механічну обробку складають 1,5–2,5 мм на сторону. Відливки очищаються від піску і землі, що пригоріла, і піддаються відпалу.

Основний об'єм робіт по обробці гільз доводиться на токарні і рзоточувальні операції. При обробці необхідно враховувати, що гільза є тонкостінним циліндром, що легко деформується під дією зусиль затиску і сил різання.

Основні технічні вимоги до механічної обробки полягають в наступному. Точність виготовлення отвору тракторних гільз забезпечується по 7–8 квалітету.

Для отримання точного сполучення з поршнем гільзи в межах допуску сортуються на групи з жорсткішим допуском в межах 10–20 мкм. Допустиме відхилення форми отвору на всій довжині гільзи повинне бути в межах допуску групи (10–20 мкм). Допуски на діаметри зовнішніх поверхонь (посадочні поясочки) звичайно призначаються по 6 квалітету точності (посадки 7). Биття посадочних поясочків відносно внутрішньої поверхні повинне бути не більш 0,1 мм, а їх шорсткість $R_z = 10–20$ мкм. Шорсткість дзеркала циліндра повинна бути $R_a = 0,32$ мкм (у гільзах автомобільних двигунів вона не перевищує $R_a = 0,16$ мкм).

У обробленому вигляді гільза повинна бути піддана гідравлічному випробуванню під тиском 0,4 МПа протягом 2 хв.

Для отримання поверхні з низькою шорсткістю на завершальних операціях обробки гільзи вводиться шліфування поясочків і бурту і багатократне хонінгування дзеркала циліндра (чорнове, напівчистове, чистове і тонке).

Як приклад на рис. 13.38 показана гільза двигуна ЯМЗ-238НБ, а в табл. 13.5 приведений перелік технологічних операцій механічної обробки.

Таблиця 13.5. Технологічні операції механічної обробки гільзи циліндрів двигуна ЯМЗ-238НБ

Номер операції	Найменування операції і її зміст	Верстат (тип, модель)
1	Токарна. Чорнове обточування зовнішньої поверхні гільзи по копіру, підрізування бурту з обох торців гільзи	Токарний гідрокопіювальний з багаторізцевими супортами 1722
2	Розточувальна. Чорнове розточування отвору гільзи	Вертикально-розточувальний чотирьохшпіндельний РА-209
3	Токарна. Напівчистове обточування поясоків бурту	Токарний багаторізцевий напівавтомат 1А730
4	Розточувальна. Чистове розточування отвору гільзи	Вертикально-розточувальний чотирьохшпіндельний РП-209
5	Термічна обробка. Гарт струмами високої частоти	Установка для гарту струмами високої частоти
6	Токарна. Обточування поясоків, проточування канавок і зняття фасок	Токарний багаторізцевий напівавтомат 1А730
7	Гідравлічне випробування. Випробування водою під тиском 0,4 МПа протягом 2 хв	Гідравлічний стенд
8	Хонінгувальна. Чорнове хонінгування дзеркала циліндра	Вертикальний хонінгувальний чотирьохшпіндельний
9	Хонінгувальна. Напівчистове хонінгування дзеркала	Вертикальний хонінгувальний чотирьохшпіндельний
10	Токарна. Чистове обточування поясоків і бурту	Оздоблювально-обточувальний двошпіндельний 2А715
11	Токарна. Чистове підрізування торців бурту	Оздоблювально-обточувальний чотирьохшпіндельний 2705
12	Хонінгувальна. Чистове хонінгування дзеркала циліндра	Вертикальний хонінгувальний чотирьохшпіндельний.

Відмітною особливістю тут є те, що першою операцією служить токарна обробка зовнішньої поверхні гільз. Заготовка встановлюється на оправку з розтискними кулачками і обробляється в центрах на ба-

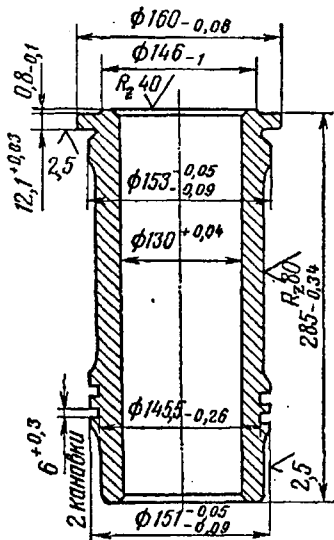


Рис. 13.38. Гільза циліндра двигуна ЯМЗ-238НБ.

ку не повинні створювати помітних деформацій гільзи. З цією метою в таких пристосуваннях центрування гільзи відбувається по поясочках, а затиск по торцю.

Для контролю гільз циліндрів застосовуються пневматичні і індикаторні пристосування. Контролюються діаметри і форма отвору і поясочків, товщина бурту, торцеве і радіальне биття. На спеціальних пристроях виконується автоматичний контроль внутрішнього діаметру гільз і їх сортування на розмірні групи. Автоматично відповідною фарбою виконується і маркіровка групи.

13.7.4. ВИГОТОВЛЕННЯ КОЛІНЧАСТИХ ВАЛІВ ТРАКТОРНОГО ДВИГУНА

Колінчастий вал тракторного двигуна звичайно має три або п'ять корінних шийок і дві або чотири шатунні шийки. Діаметр корінних шийок від 70 до 105 мм при довжині від 46 до 56 мм, діаметр шатунних шийок від 65 до 88 мм при довжині від 40 до 82 мм. Радіус кривошипа складає, як правило, 60–70 мм. Довжина колінчастих валів знаходиться в межах від 450 до 865 мм. Вали виготовляються штампуванням із сталей марок 45, 45Х, 45Г2, 50Г або відливанням з висо-

комічного чавуну твердістю HB 200–255, модифікованого магнієм. Використовується також для відливання валів ковкий перлитовий чавун. У зв'язку з меншою міцністю чавуну в порівнянні з міцністю стали, литі вали (звичайно порожнисті) мають збільшені діаметри корінних і шатунних шийок, збільшені радіуси галтелей і велику товщину щок. Припуски на обробку сталевих штампованих валів складають 4–6 мм на сторону. Після штампування сталеві вали піддаються відпалу і нормалізації. Маса заготовок колінчастих валів тракторних двигунів складає 25–95 кг.

На колінчастих валах обробляються корінні і шатунні шийки, поверхні торців щок, галтелі в місцях переходу шийок до щок, посадочні місця під маховик, шестерню розподілу і сальник, різьбові отвори, змащувальні канали і інші отвори. Найбільший об'єм обробки доводиться на токарні і шліфувальні роботи, при виконанні яких технологічними базами є центрові отвори на торцях валу. Шийки сталевих валів піддаються поверхневому гарту струмами високої частоти до твердості HRC 50–60 на глибину 3–5 мм. Оброблений вал повинен бути статично і динамічно збалансований. Вали перевіряються магнітним дефектоскопом, після чого розмагнічуються.

Технічні вимоги до механічної обробки полягають в наступному. Обробка корінних і шатунних шийок виконується по 5-му квалітету точності з шорсткістю $R_a=0,32$ мкм. Шийки можуть виготовлятися по двох номінальних діаметрах, що розрізняються на 0,25 мм. Галтелі обробляються з шорсткістю $R_a=0,63$ мкм і можуть піддаватися поліруванню або поверхнево-пластичній деформації шляхом обкатки роликками або кульками. Допустимі відхилення форми шийок: некруглість до 0,015 мм, нециліндрічність – не більш 0,03 мм на довжині 100 мм. Радіальне биття корінних шийок відносно крайніх корінних – не більш 0,03–0,05 мм (для різних шийок).

Технологічний процес обробки колінчастих валів складається з наступних основних етапів:

- 1) обробка технологічних баз: фрезерування торців і свердління центрових отворів, фрезерування місць на щоках для кутової орієнтації валу при обробці шатунних шийок;
- 2) обточування корінних шийок на кінцях валу;
- 3) чорнове шліфування корінних шийок;
- 4) чорнове і чистове обточування шатунних шийок;
- 5) чорнове шліфування шатунних шийок;
- 6) обробка порожнин в шийках, маслопровідних каналів і ін-

ших отворів;

- 7) термічна обробка шийок;
- 8) чистове шліфування корінних і шатунних шийок;
- 9) обробка отворів в кінцях валу, фрезерування шпонкових пазів;
- 10) балансування;
- 11) фінішна обробка шийок;
- 12) магнітна дефектоскопія.

Обробка торців і центрових отворів виконується за одну операцію на фрезерно-центруючих верстатах. Технологічними базами при цьому служать дві крайні корінні шийки, закріплювані в самоцентруючих призматичних губках пристосування. У осьовому напрямі вал фіксується по одній з щок. Після виготовлення центрових отворів на щоках фрезеруються бобишки. Для обробки використовуються подовжньо-фрезерні верстати.

Чорнова токарна обробка корневих шийок виконується з установкою деталі в центрах на спеціальних токарних багаторізцевих напівавтоматах. Для цієї обробки використовуються твердосплавні широкі і фасонні різці, що працюють методом урізування.

При обробці довгих багатоопорних колінчастих валів (автомобільних двигунів) можуть застосовуватися інші схеми обробки. Наприклад, спочатку обточується і шліфується середня корінна шийка, а потім обробка ведеться на спеціальному токарному багаторізцевому напівавтоматі з центральним приводом при використуванні попередньо обробленої шийки в якості додаткової центральної опори, а щоки – для передачі заготівці обертання. Обточування корінних шийок коротких двох- і трьохопорних валів може виконуватися на гідрокопіювальних токарних напівавтоматах.

Шатунні шийки обточуються попарно навколо їх загальної осі з використанням центровісшувачев. Технологічними базами служать корінні шийки і платики на щоках, забезпечуючі кутову орієнтацію шатунних шийок. У масовому виробництві, де застосовуються спеціальні верстати (двохпозиційні типу 1Б841), одночасно обточуються всі шатунні шийки при обертанні валу навколо осі корінних шийок. При цьому різці виконують поступальну ходу, копіюючи траєкторію руху шатунної шийки (рис. 13.39). У кожному з супортів закріплюються з одного боку шийки один широкий різець, з другого боку – два фасонні різці (для обточування галтелей і підрізування торців щок).

Прогресивним методом чорнкової обробки шатунних шийок є

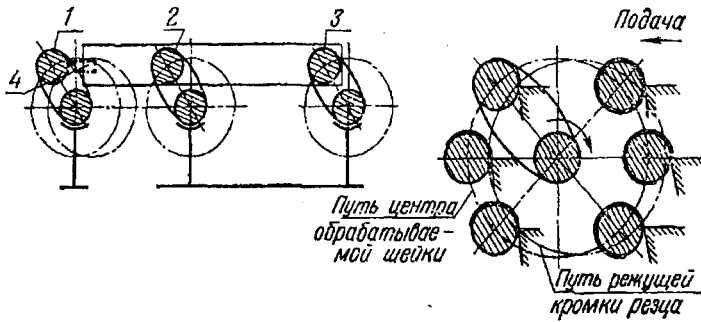


Рис. 13.39. Схема одночасного обточування всіх шатунних шийок колінчастого валу: 1 – оброблювана шийка; 2 і 3 – кривошипи супорта; 4 – різець.

ротаційне фрезерування твердосплавними дисковими фрезами великого діаметру (рис. 13.40). Обробка шийки виконується за один оборот заготовки, повільне обертання якої створює кругову подачу.

Корінні шийки шліфуються одночасно на шліфувальних напівавтоматах в центрах із застосуванням люнетів. Перед чистовим шліфуванням виконується правка колінчастого валу і шліфування сідел центрових отворів. Шатунні шийки шліфуються звичайно по черзі із зсувом осі корінних шийок на розмір радіусу кривошипа. Так само, як і при обточуванні, повинна бути забезпечена кутова орієнтація валу. Чистове шліфування корінних і шатунних шийок виконується після їх поверхневого гарту струмами високої частоти.

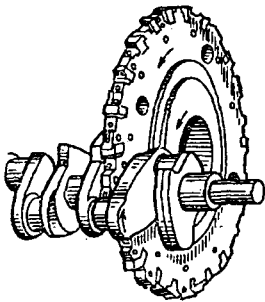


Рис. 13.40. Ротаційне фрезерування шатунних шийок колінчастого валу.

Свердлення глибоких отворів для отримання змащувальних каналів – складна операція, що вимагає своєчасного видалення стружки і відповідних режимів обробки. Ця операція виконується на спеціальних багатопіндельних свердильних верстатах з автоматичним циклом обробки, для періодичного видалення стружки і попередження поломки свердел автоматично здійснюється багатократний вивід свердла з оброблюваного отвору. Після виконання цієї операції необхідна ретельна промивка масляних каналів для повного видалення залишків стружки.

До фінішних операцій відносяться суперфінішування і полірування шийок. Ці методи обробки дозволяють одержати поверхню з

шорсткістю $R_a = 0,32$ мкм. Геометричні параметри шийок повинні бути забезпечені чистовим шліфуванням.

Для підвищення втомної міцності валів галтелі шийок піддаються поверхневій пластичній деформації.

Відповідно до технічних вимог вал повинен бути статично і динамічно збалансований. У статично урівноваженого колінчастого валу центр тяжкості системи валу лежить на осі обертання. У динамічно збалансованого валу сума моментів відцентрових сил мас, що обертаються відносно осі валу, рівна нулю.

При балансуванні початкова динамічна неуврівноваженість в

0,1–0,3 Н·м для валів дизельних двигунів доводиться до 0,003–0,007 Н·м і для карбюраторних (високооборотних) до 0,0012–0,003 Н·м. Балансування виконується на спеціальних верстатах балансувань. Принцип дії одного з верстатів для динамічного балансування показаний на рис. 13.41.

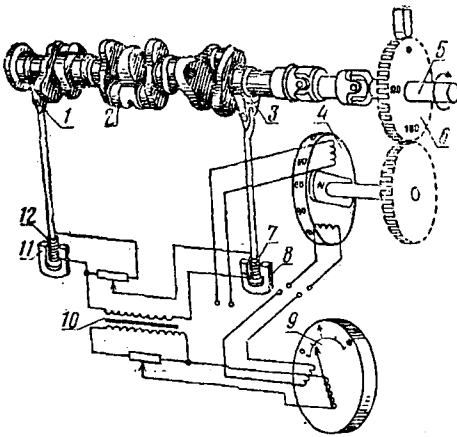


Рис. 13.41. Принципова схема верстата для динамічного балансування колінчастих валів: 1 і 3 – опори; 2 – балансуємий колінчастий вал; 4 – генератор; 5 – приводний вал; 6 – зубчате колесо; 7 і 12 – котушки; 8 і 11 – магніти; 9 – прилад для виміру дисбалансу; 10 – підсилювач струму.

Урівноваження досягається шляхом свердління в щоках або противагах отворів діаметром 25–28 мм і глибиною до 45 мм, фрезеруванням щок або противаг. Сучасні верстати балансувань автоматизовані. Шкали приладів указують всі дані, необхідні для балансування:

глибину свердління, вагу неуврівноваженої маси і т.д., деякі верстати забезпечені свердильними головками.

Верстат балансування, схема якого показана на рис. 13.41, має наступний принцип дії. Колінчастий вал 2, встановлений на опори 1 і 3, приводиться в обертання за допомогою приводного валу 5. Якщо колінчастий вал неуврівноважений, опори 1 і 3 перемістяться під дією сил дисбалансу і викликатимуть переміщення котушок 7 і 12 в постійних магнітах 8 і 11. Електричний струм, що виникає при цьому в коту-

шках, посилюється за допомогою підсилювача 10 і передається на прилад 9, показуючий дисбаланс валу. За допомогою генератора 4 визначається площина розташування неврівноважених мас колінчастого валу.

Контроль валу полягає в перевірці діаметрів корінних і шатунних шийок, а також на кінцях валу; биття шийок і торців. Перевіряються довжини шийок, їх лінійне і кутове розташування, радіус кривошипа і інші розміри і параметри. Оглядом контролюють відсутність подряпин, задирок, наявність операційних клем і т.д.

13.7.5. ВИГОТОВЛЕННЯ РОЗПОДІЛЬНИХ ВАЛІВ

Розподільний вал, що характеризується відносно великою довжиною і малою жорсткістю, має 3–4 опорні циліндрові шийки, кулачки складної форми і інші конструктивні елементи, що вимагають точної обробки. У карбюраторних двигунах розподільний вал забезпечений ексцентриком для приводу паливного насоса і косозубою шестернею для приводу розподільника запалення. На передньому кінці розподільного валу знаходиться шийка або фланець, на які насаджуються шестерня приводу валу. Для кутової орієнтації кулачків на передньому торці виготовляється точний установчий отвір.

Довжина розподільних валів звичайно знаходиться в межах 450–860 мм при діаметрі шийок 38–60 мм. Розподільні вали виготовляються штампуванням із сталей марок 45, 40Г, 50Г і інших. Застосовуються іноді вали з високоміцного чавуну, відлиті в оболонкові форми. Штамповані заготовки сталевих валів піддаються нормалізації і відпалу.

Опорні шийки і кулачки після попередньої обробки піддаються поверхневому гарту струмами високої частоти до твердості HRC 54–62 на глибину 2–5 мм. Глибина загартованого шару на вершині кулачків доходить до 10 мм. Припуски на механічну обробку валів знаходяться в межах 1,5–2 мм на сторону.

До обробки розподільних валів пред'являються наступні технічні вимоги. Опорні шийки валів дизельних двигунів виготовляються по 6-му квалітету точності, шорсткість шийок і кулачків – $R_a = 0,63$ мкм. Некруглість і нециліндрічність шийок – не більш 0,02 мм.

Кутове відхилення профілю кулачків відносно осі установчого отвору $\pm 1^\circ$. Биття середньої опорної шийки відносно крайніх – не більш 0,03–0,05 мм.

Технологічний процес обробки розподільних валів дизельного двигуна складається з наступних етапів:

- 1) обробка торців і центрових отворів;
- 2) чорнове і чистове обточування шийок, підрізування торців кулачків і шийок;
- 3) чорнове шліфування шийок;
- 4) свердління, зенкування і розгортання установчого отвору для кутової орієнтації кулачків, свердлення і розгортання центрального отвору, свердління і нарізування різьби в інших отворах;
- 5) фрезерування масляної канавки;
- 6) обточування кулачків;
- 7) чорнове шліфування кулачків;
- 8) термічна обробка;
- 9) чистове шліфування шийок;
- 10) чистове шліфування кулачків.

Крім вказаних робіт, в процесі виготовлення валу виконуються операції технічного контролю, правки і миття. На розподільних валах автомобільних двигунів додатково обробляються зуби шестерні приводу розподільника запалення, свердляться масляні канали і виконується фінішна обробка шийок і кулачків.

Обробка торців і центрових отворів на валах ведеться на двосторонніх фрезерно-центруючих верстатах. Обточування шийок і підрізування торців виконуються на токарних багаторіздевих напівавтоматах з одностороннім, двостороннім (обертання за обидва кінці валу) або центральним (обертання за середню шийку) приводом. У двох останніх випадках значно зменшується скручування валу при обробці.

Унаслідок малої жорсткості розподільних валів і можливості їх прогинання від сил різання, обробка шийок і кулачків виконується із застосуванням люнетів. Для цього середня шийка валу чотирициліндрового двигуна або дві середні шийки валу багатоциліндрового двигуна після зацентрування заготовки обробляються начорно і начисто під люнет. Шийки валів шліфуються на круглошліфовальних верстатах в центрах.

Кулачки мають складний фасонний профіль, і їх обробка вимагає застосування копіювальних верстатів. Токарна обробка кулачків виконується на копіювально-токарних напівавтоматах. Для отримання необхідного профілю кулачка при його обточуванні різець, встановлений в різцеутримувачі, повинен відповідним чином зміщуватися відносно осі обертання валу в поперечному напрямі. Щоб забезпечити сприятливі умови різання (створення необхідних кутів різання), різець повинен також повертатися залежно від кута підйому лінії кулачка в даній точці. Обидва ці рухи на верстаті створюються шляхом використання від-

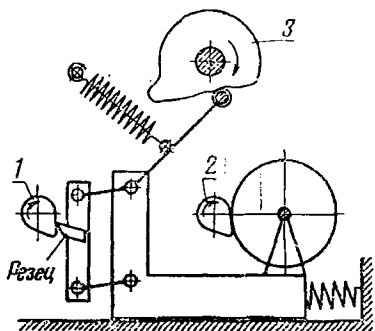


Рис. 13.42. Принципова схема обточування кулачка розподільного валу на токарно-копіювальному верстаті: 1 – заготовка; 2 – копіювальний вал; 3 – копір.

но забезпечити необхідне кутове положення заготовки відносно копіювального валу верстата. Для цієї мети використовується установчий отвір в передньому торці, оброблений на попередніх операціях з урахуванням розташування кулачків.

Один з кулачків служить установчою базою. Шліфування профілю кулачків виконується на копіювально-шліфувальних напівавтоматах, забезпечених дисковими копірами.

На рис. 13.43 показана схема верстата для шліфування кулачків розподільного валу. Вал встановлюється в центри бабок, змонтованих на люльці 7, яка може гойдатися навколо осі 8.

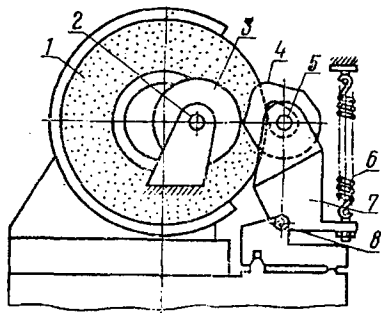


Рис. 13.43. Схема верстата для шліфування кулачків розподільного валу: 1 – шліфувальний круг; 2 – вісь; 3 – ролик; 4 – копір; 5 – шпіндель; 6 – пружина; 7 – люлька; 8 – вісь.

повідних механізмів з кулачками.

На рис. 13.42 показана принципова схема обточування кулачка на токарно-копіювальному верстаті. Оброблювана заготовка, копіювальний вал і копір обертаються синхронно. Копіювальний вал створює радіальне переміщення різця відповідно до профілю кулачка, а копір повертає різець, зберігаючи постійним кут різання. Подовжня подача забезпечується переміщенням заготовки відносно своєї осі. Для запобігання вигину валів використовуються підтримуючі лонети.

При обробці кулачків необхідно забезпечити необхідне кутове положення заготовки відносно копіювального валу верстата. Для цієї мети використовується установчий отвір в передньому торці, оброблений на попередніх операціях з урахуванням розташування кулачків. Один з кулачків служить установчою базою. Шліфування профілю кулачків виконується на копіювально-шліфувальних напівавтоматах, забезпечених дисковими копірами. На рис. 13.43 показана схема верстата для шліфування кулачків розподільного валу. Вал встановлюється в центри бабок, змонтованих на люльці 7, яка може гойдатися навколо осі 8. Пружина 6 постійно прагне повернути люльку проти годинникової стрілки. На шпінделі 5 передньої бабки, жорстко пов'язаним з розподільним валом, нерухомо закріплюється копір 4, що упирається під дією пружини 6 в ролик 3. Ролик вільно обертається навколо нерухомої осі 2. При обертанні розподільного валу (разом з шпінделем передньої бабки) копір ковзає по ролику і відповідно до свого профілю відводить люльку з бабками і розпо-

дільним валом. В результаті одночасної дії копіра 4 і пружини 6 люлька гойдається навколо осі 8, наближаючи і віддаляючи розподільний вал від шліфувального круга 1. Профілі впускного і випускного кулачків різні, тому кожний з них повинен оброблятися по своєму копіру.

Шліфування виконується широким кругом методом урізування. У масовому виробництві для шліфування кулачків застосовуються спеціальні багатокамневі напівавтомати типа ХШ-170. Для забезпечення високої точності обробки перед чистовими операціями фаски центрових отворів правляться на центрошліфувальних верстатах. При обробці валів автомобільних двигунів додатково вводяться такі фінішні операції, як суперфінішування шийок або полірування шийок і кулачків, що забезпечують шорсткість поверхні $R_a=0,32$ мкм.

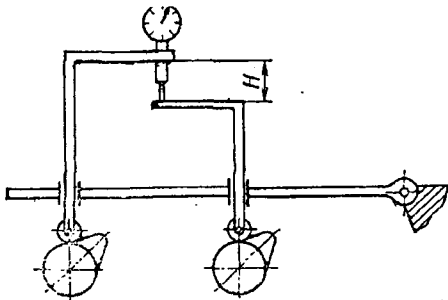


Рис. 13.44. Принципова схема приладу для контролю профілю кулачка.

При контролі розподільних валів перевіряються їх основні геометричні розміри, відхилення форми, биття поверхонь, кутове розташування і профіль кулачків. Контроль виготовлення кулачків виконується по еталонному розподільному валу за допомогою компаратора (рис. 13.44). Вали, що перевіряються і еталонний, обертаються синхронно. При відхиленнях кутового розташування або профілю кулачків створюється різниця в переміщеннях вимірювальних стержнів, яка фіксується індикаторною голівкою.

При однаковому профілі і збігу кутових положень кулачків, що перевіряються і еталонного, відстань H залишається постійною.

У зв'язку з малою жорсткістю розподільні вали піддаються правці на різних стадіях обробки: перед механічною обробкою, перед чорновим шліфуванням шийок, перед чорновим шліфуванням кулачків і після термічної обробки.

ТЕХНОЛОГІЯ СКЛАДАННЯ

14.1. ЗНАЧЕННЯ СКЛАДАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ У МАШИНОБУДУВАННІ

Процес складання є заключним етапом виготовлення машини, який впливає на її експлуатаційні властивості. Забезпечення високих експлуатаційних якостей машини залежить не тільки від створення вдалої конструкції, але також від якості виготовлення деталей і високоякісного проведення всіх етапів складання (тобто складання і регулювання окремих складальних одиниць і загального складання й випробувань виробу, який виготовляється, у цілому). Це пов'язано з тим, що в процесі складання з різних причин можуть виникнути похибки взаємного розташування деталей, які істотно знижують якості виробу. Причинами виникнення таких похибок можуть бути:

1. Похибки орієнтації деталей, що складаються, порушення правильної послідовності затягування різьбових з'єднань.
2. Утворення задирів при запресовуванні дотичних поверхонь деталей.
3. Попадання бруду і стружки між з'єднуваними поверхнями і ін.

Складання може здійснюватися простим з'єднанням деталей, їхнім запресовуванням, згвинчуванням, зварюванням, пайкою, клепанням і т.д. За обсягом виконання складальних робіт організаційні форми складання підрозділяються на загальне і вузлове. Об'єктом загального складання є виріб, а об'єктом вузлового складання - складальна одиниця.

В одиничному і дрібносерійному виробництвах переважно застосовується загальне складання і лише мала частка складальних операцій виконується над окремими складальними одиницями.

Із збільшенням серійності виробництва зростає обсяг поділу виробу на окремі складальні одиниці. В умовах масового і багатосерійного виробництва обсяг вузлового складання стає значним і навіть

перевершує обсяг загального складання. Згідно організації складальних операцій процес складання підрозділяється на попереднє і проміжне складання.

Попереднє складання супроводжується наступним розбиранням. Воно проводиться з метою визначення в зібраному вигляді розміру замикаючої ланки, що компенсує всі похибки ланок розмірного ланцюга.

Наприклад, регулювання зазорів у конічних роликотідшипниках здійснюється за допомогою прокладки, що встановлюється між корпусом і кришкою (рис. 14.1). Для визначення товщини прокладки здійснюють попереднє складання. Кришка за допомогою болтів притискає зовнішнє кільце підшипника із силою необхідною для повного вибору зазорів у підшипниках. Після цього проводиться вимірювання зазору між кришкою і корпусом Δ .

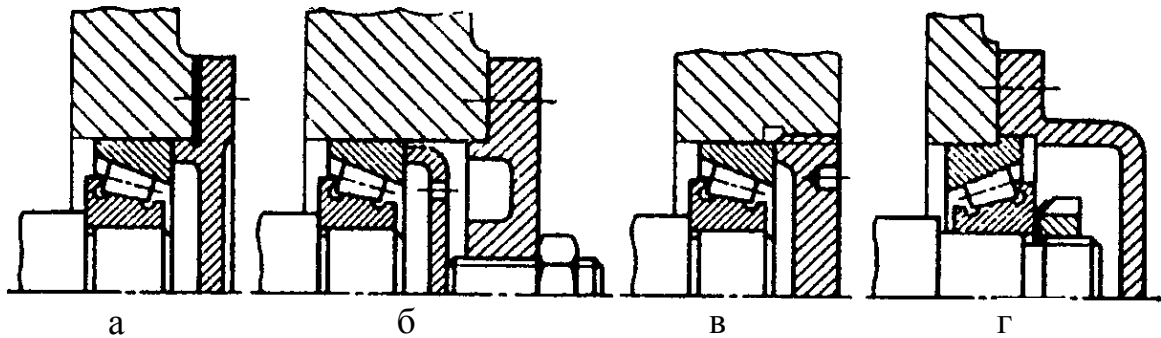


Рис. 14.1. Способи регулювання зазору в конічних роликотідшипниках: а – з допомогою прокладки; б – регулювальним гвинтом; в і г – регулювальною гайкою.

Визначається товщина прокладки, яку необхідно підкласти під кришку

$$\delta = \Delta + C,$$

де C - осьове переміщення кільця, що забезпечує необхідний радіальний зазор e і зазор по лінії тиску λ (рис. 14.2); $e = 2c \cdot \operatorname{tg} \beta$; $\lambda = e \cdot \cos \beta$.

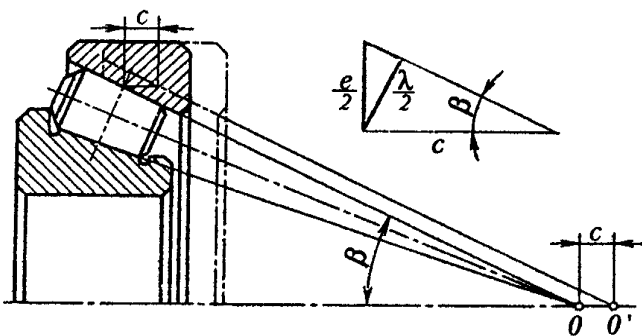


Рис. 14.2. Схема регулювання радіального зазора конічного роликотідшипника.

Прокладки виготовляють з каліброваного металу. Після встановлення прокладки між корпусом і кришкою здійснюється остаточне складання вузла підшипника.

Проміжне складання здійснюється для виконання спільної обробки. Наприклад, складання корпусу редуктора з кришкою для наступної спільної обробки отворів під підшипники чи складання шатуна з кришкою для наступної спільної обробки отвору під шатунні шийки колінчастого вала і т.д.

За методом утворення з'єднання складання підрозділяється:

- на слюсарне складання, тобто складання виробу чи його вузлів за допомогою слюсарно-складальних операцій;
- монтаж, тобто встановлення виробу на місце його постійної роботи;
- електромонтаж, тобто монтаж електроустаткування та його складових частин, що мають струмоведучі елементи;
- зварювання, пайку, клепання і склеювання.

Слід зазначити, що найбільш перспективним методом нероз'ємного з'єднання є склеювання. При склеюванні відсутня деформація з'єднаних деталей, не потрібне нагрівання. Так з'єднання стійкі проти впливу гасу, бензину, олії, води, кислот і лугів.

Порівняльні дані міцності з'єднання на зсув приведені нижче:

- пресова посадка втулки - 1570 Н;
- склеювання карбонільним клеєм втулки з валом, з'єднаних по ковзній посадці - 4540 Н.

14.2. ОРГАНІЗАЦІЙНІ ФОРМИ СКЛАДАННЯ В МАШИНОБУДУВАННІ

За формою організації складання може бути стаціонарним і рухомим.

У першому випадку виріб збирається на стаціонарному стенді, до якого подаються всі необхідні деталі і вузли для складання. В другому випадку виріб у процесі складання переміщується від одного робочого місця до іншого. При цьому на кожному робочому місці виконується постійно та сама операція одним робітником чи бригадою складальників. Вибір організаційної форми складання визначається типом виробництва. Стаціонарне - в одиничному і дрібносерійному виробництвах, рухоме - у багатосерійному і масовому виробництвах.

Стаціонарне складання може виконуватися концентрованим і диференційованим методами. У першому випадку все складання машини з окремих деталей і вузлів здійснюється від початку до кінця однією бригадою. Процес складання не розчленовується на окремі

операції, на яких можлива спеціалізація робіт. Метод складання вимагає високої кваліфікації всіх складальників. Метод має низьку продуктивність, застосовується в одиничному виробництві.

У серійному і масовому виробництві застосовується диференційований метод складання, який характерний тим, що складальний процес розбивається на ряд окремих операцій, кожна з яких виконується окремою спеціалізованою групою робітників.

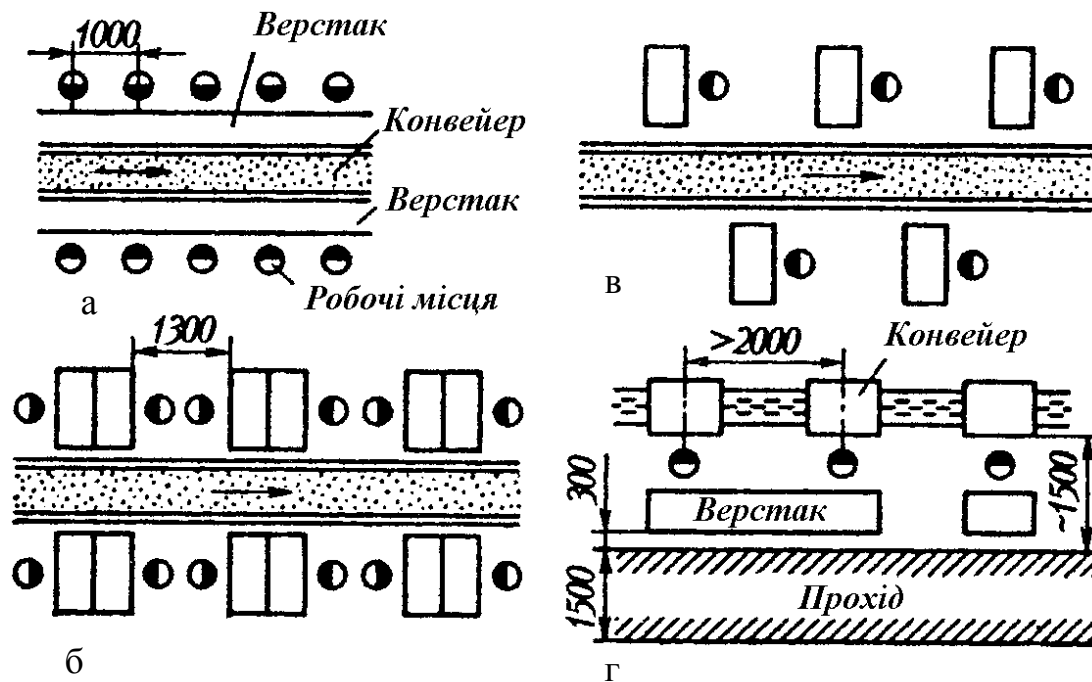


Рис. 14.3. Схема розміщення верстаків на ділянках складання: а – вузький довгий верстак шириною 0,4-0,6 м; б, в – індивідуальні робочі столи розміром 0,6-1 м; г – привідний конвеєр з візками.

При випуску виробів великими партіями застосовують поточковий метод стаціонарного чи рухомого складання. Стаціонарне поточкове складання застосовується для складання громіздких виробів, переміщення яких утруднене. Виріб встановлюється на спеціальний стенд і до нього по черзі підходять бригади робітників, що виконують строго визначену операцію. Після завершення операції бригада слюсарів-складальників переходить до наступного стенду і там виконує ту ж саму операцію.

При рухомому поточковому складанні виріб знаходиться на конвеєрі і пересувається безупинно з деякими зупинками через визначені проміжки часу.

На рис. 14.3 показані схеми стрічкових конвеєрів з різними варіантами розташування верстатів на ділянках складання.

Конвеєри являють собою плоску тканиногумову стрічку шири-

ною 200 - 800 мм. Робоча частина стрічки ковзає по гладкому дерев'яному чи металевому столі. Швидкість руху стрічки 0,02 - 0,05 м/с.

Процес складання розбивається на таку кількість операцій, щоб тривалість кожної з них була рівною чи кратною такту випуску виробу на даній потоковій лінії. Потокове складання може бути організоване з вільним чи примусовим переміщенням об'єкта. У першому випадку робітник передає виріб, який складається, на сусідню операцію в міру виконання власної роботи, а в другому - при роботі з примусово регульованим ритмом. Момент передачі виконаної роботи на наступну операцію визначається сигналом (світловим чи звуковим) чи швидкістю безупинно чи періодично рухомого конвейєра.

Міжопераційне переміщення виробу, який складається, при поточковому складанні здійснюється: вручну або за допомогою візків, похилого лотка чи рольганга, за допомогою розподільного конвейєра.

Потокове складання скорочує тривалість виробничого циклу, зменшує міжопераційні заділи деталей і зменшує трудомісткість складання на 35 - 50%.

Головною умовою організації потокового складання є забезпечення взаємозамінності вузлів, що збираються, і окремих деталей. Приганяльні роботи повинні виконуватися за межами потоку, тобто на операціях попереднього складання. При цьому деталі і вузли повинні подаватися на потокове складання в кінцево скомплектованому і проконтрольованому вигляді.

Відповідальним і складним питанням організації потокового складання є проблема операційного контролю якості складання й усунення виявлених при контролі дефектів без порушення встановленого ритму складання.

Конструкція виробу, що складається на потоці, повинна бути відпрацьована на технологічність. Потокове складання є рентабельним при досить великому обсязі випуску виробів.

Приганяльні операції при складанні виробів часто виносяться з загального потоку на спеціальне робоче місце. У цьому випадку рольганг обладнують відвідними ділянками. Виріб передають на ці ділянки за допомогою поворотних чи піднімальних секцій.

Загальний вид рольганга і план ділянки складання на рольгангу представлений на рис. 14.4.

Горизонтальний рольганг встановлюється в складальному цеху на висоті $H = 0,6 \div 0,8$ м від підлоги з нахилом $2 - 4^\circ$ вбік руху вантажу. Радіус заокруглення підковоподібного рольганга не менше $2,5 \pm$

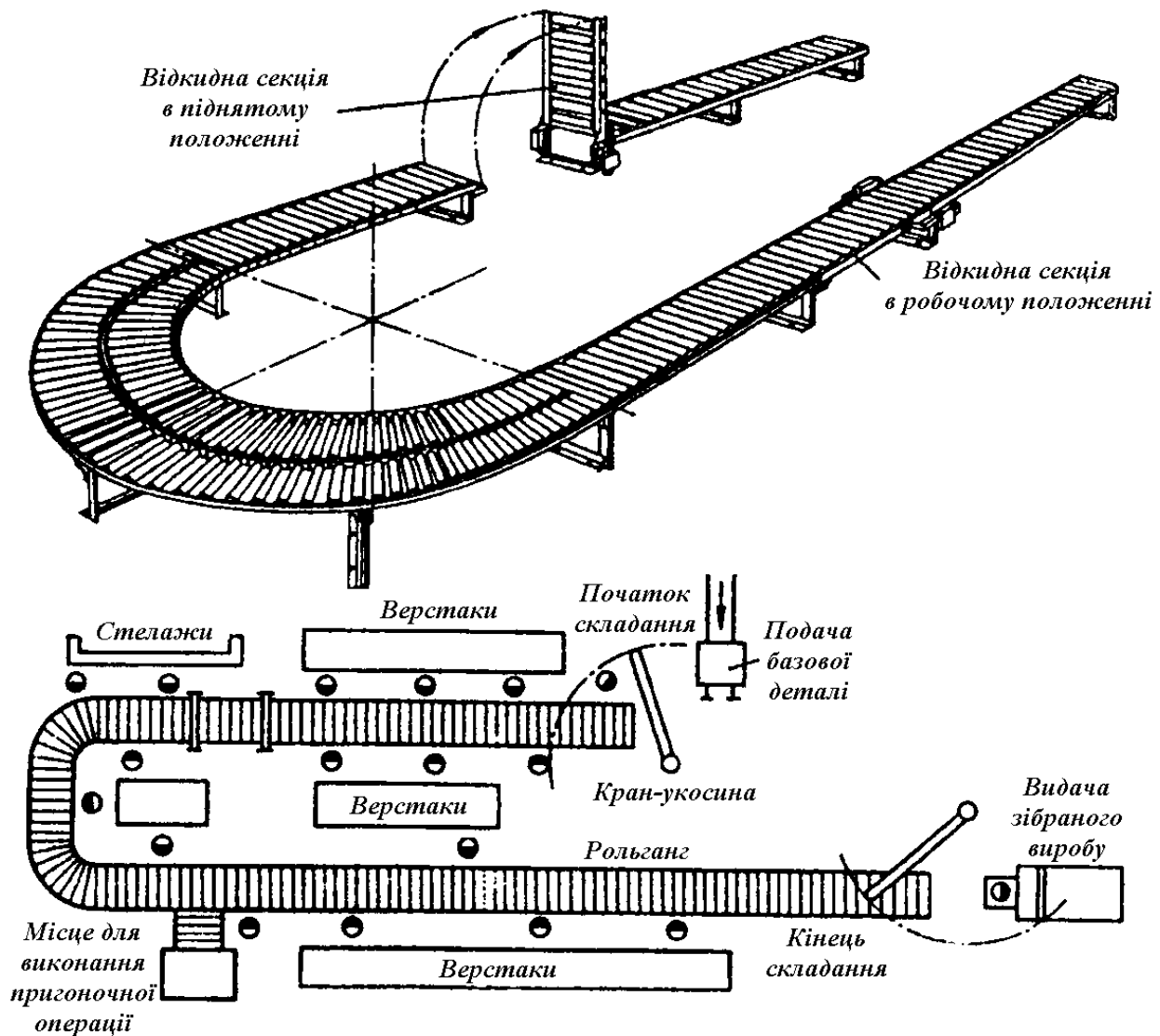


Рис. 14.4. Загальний вигляд рольганга і план ділянки складання на рольгангу.

$3,5 B$, де B - ширина рольганга (200 - 1200 мм). У місці проходу рольганг має відкидну секцію.

14.3. МЕТОДИ СКЛАДАННЯ В МАШИНОБУДУВАННІ

У процесі складання забезпечується необхідна точність спряжень елементів і точність взаємного розташування різних поверхонь деталей. Ця точність, що визначає якість одержуваних з'єднань, досягається різними методами складання.

В даний час на машинобудівних заводах широке застосування одержали наступні методи складання: складання за методом повної чи неповної взаємозамінності, груповий метод або метод селективно-

го складання, метод компенсаторів і метод пригонки.

Метод повної взаємозамінності. Метод полягає в тому, що всі деталі чи вузли при їхньому складанні в машину не вимагають якої-небудь пригонки по місцю і заміна будь-якої деталі не змінює характер роботи машини. Використовують цей метод у малоланкових розмірних ланцюгах, наприклад, у ланцюзі: діаметр отвору – зазор – діаметр вала чи ширина шпонкового паза – зазор – ширина шпонки.

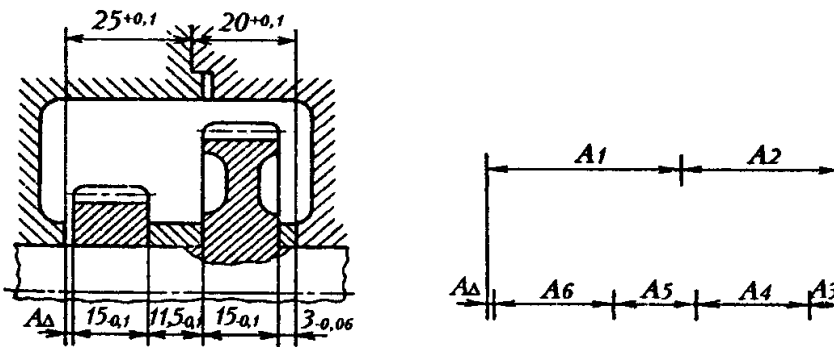


Рис. 14.5. Зовнішній вигляд редктора і розмірний ланцюг.

забезпеченням гарантованого зазору між торцем корпусу й однією із шестірен (рис. 14.5).

У цьому випадку допуск замикаючої ланки $T\Delta$ повинний бути рівним сумі допусків складових ланок A_i :

$$T\Delta = \sum_{i=1}^{n-1} TA_i. \quad (14.1)$$

Застосування методу повної взаємозамінності в багатоланкових розмірних ланцюгах пов'язано з високою вартістю виготовлення деталей, тому що деталі, що надходять на складання, повинні виготовлятися з високою точністю. Для розрахунку поля допуску замикаючої ланки застосовують два методи розрахунку:

1. На максимум і мінімум.
2. На основі теорії ймовірності.

Проведемо аналіз точності складання за методом повної взаємозамінності на конкретному прикладі (рис. 14.5). Рівняння розмірного ланцюга має вигляд

$$A_1 + A_2 - A_3 - A_4 - A_5 - A_6 - A_\Delta = 0.$$

Звідки

$$A_\Delta = A_1 + A_2 - A_3 - A_4 - A_5 - A_6.$$

Граничні значення замикаючої ланки визначаються з виразів

$$A_{\Delta max} = A_{1 max} + A_{2 max} - A_{3 min} - A_{4 min} - A_{5 min} - A_{6 min},$$

$$A_{\Delta min} = A_{1 min} + A_{2 min} - A_{3 max} - A_{4 max} - A_{5 max} - A_{6 max}.$$

Різниця граничних значень

$$A_{\Delta max} - A_{\Delta min} = (A_{1 max} - A_{1 min}) + (A_{2 max} - A_{2 min}) + (A_{3 max} - A_{3 min}) + (A_{4 max} - A_{4 min}) + (A_{5 max} - A_{5 min}) + (A_{6 max} - A_{6 min}),$$

звідки

$$T_{\Delta} = TA_1 + TA_2 + TA_3 + TA_4 + TA_5 + TA_6. \quad (14.2)$$

З виразу (14.2) випливає, що при складанні деталей за методом повної взаємозамінності допуск замикаючої ланки дорівнює сумі допусків усіх складових ланок.

$$T_{\Delta} = 0,1 + 0,1 + 0,1 + 0,1 + 0,1 + 0,06 = 0,56 \text{ мм.}$$

Однак ймовірність появи граничних розмірів деталей, що входять як ланки в розмірний ланцюг, мізерно мала і результати розрахунків виявляються сильно завищеними в порівнянні з дійсними значеннями, що виходять при складанні виробів. Справа в тому, що процес комплектування деталей для складання, ймовірний за своєї природою і геометричні розміри елементів, що входять у розмірний ланцюг, мають випадковий характер.

На відміну від розрахунку на максимум і мінімум при ймовірному методі варто оперувати не з номінальними значеннями розмірів, а із середніми значеннями розмірів і розсіюванням їхніх відхилень. Отже, є досить підстав вважати, що в складальному розмірному ланцюзі розподіл розмірів складових ланок підкоряється закону нормального розподілу.

Маючи на увазі, що при складанні розсіювання розміру замикаючої ланки A_{Δ} підкоряється закону Гауса, можна вважати, що не менше ніж у 99,73% складальних одиниць будуть знаходитися в межах, обмежених допуском T_{Δ} , рівним $\pm 3\sigma_{\Delta}$. Отже, відсоток ризику чи рівноймовірного виходу замикаючої ланки за границі поля допуску T_{Δ} складе не більше 0,27%.

Тому ймовірним методом розраховуються ті розмірні ланцюги, у яких економічно доцільно (за умовами виробництва) призначати більш широкі допуски на складові ланки. Але при цьому в технічних вимогах на складання повинні бути зазначенні обґрунтований відсоток ризику і технологічні методи, що виключають випуск виробу з відхиленнями замикаючої ланки від заданого значення. На підставі теореми про підсумовування випадкових величин координата середини поля допуску замикаючої ланки $A_{0\Delta}$ знаходиться шляхом алгебраїчного підсумо-

вугання координат середин полів розсіювання Δ_{oi} ,

$$\Delta_{o\Delta} = \sum_{i=1}^{n-1} \xi_i \Delta_{oi}, \quad (14.3)$$

де $\Delta_{oi} = A_{icp} - A_i$; $A_{icp} = \frac{1}{2}(A_{imax} + A_{imin})$.

Коефіцієнт ξ називається передатним відношенням для ланок збільшуючих (+1), для зменшуючих (-1).

Величина допуску замикаючої ланки відповідно до теореми про підсумовування випадкових величин визначається шляхом квадратичного підсумовування. Коли закони розсіювання близькі закону Гауса

$$T'_\Delta = \sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} \xi_i^2 (TA_i)^2}. \quad (14.4)$$

Штрихами позначаються розрахункові, очікувані значення допусків (у відмінності від заданих). У загальному випадку, коли закони розсіювання відрізняються від закону Гауса і поля розсіювання не збігаються з полями допусків складових ланок, допуск замикаючої ланки визначається формулою

$$T'_\Delta = t \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} \xi_i^2 \lambda_i^2 (TA_i)^2}, \quad (14.5)$$

де t - коефіцієнт, що характеризує відсоток виходу розрахункових відхилень за межі допуску.

Для розсіювання за законом Гауса і рівноймовірному виходу за обидві границі поля допуску, він буде мати наступні значення:

Відсоток ризику	32	10	4,5	1,00	0,27	0,1	0,01
Коефіцієнт t	1,00	1,65	2,00	2,57	3,00	2,29	3,89

Коефіцієнт відносного розсіювання λ , характеризує закон розсіювання випадкової величини. Він приймається рівним:

$\lambda_i = \frac{1}{9}$ - якщо закон розсіювання близький до закону Гаусса;

$\lambda_i = \frac{1}{6}$ - якщо закон розсіювання близький до закону трикутника;

$\lambda_i = \frac{1}{3}$ - якщо закон розсіювання невідомий.

При симетричному розподілі відхилень допуск замикаючої лан-

ки (рис. 14.5) буде

$$T'_\Delta = t \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} \xi_i^2 \lambda_i^2 (TA_i)^2} =$$
$$= 3 \cdot \sqrt{\frac{1}{9} [(0,1)^2 + (0,1)^2 + (0,1)^2 + (0,1)^2 + (0,1)^2 + (0,06)^2]} = 0,23.$$

Номинальне значення зазору (рис. 14.5)

$$A_\Delta = A_1 + A_2 - (A_3 + A_4 + A_5 + A_6) = 0,5 \text{ мм.}$$

Таким чином, граничні значення зазору A_Δ при розрахунку за першим методом розрахунку визначаються як

$$A_{\Delta max} = 25,1 + 20,1 - (14,9 + 11,4 + 14,9 + 2,94) = 1,06 \text{ мм,}$$

$$A_{\Delta min} = 25 + 20 - (15 + 11,5 + 15 + 3) = 0,5 \text{ мм.}$$

Граничні значення зазору A_Δ при розрахунку за другим методом визначаються як

$$A_{0 max} = 0,5 + 0,115 = 0,615 \text{ мм,}$$

$$A_{0 min} = 0,5 - 0,115 = 0,385 \text{ мм.}$$

Варто помітити, що значення зазору, отримані за першим методом розрахунку, практично ніколи не будуть зустрічатися при складанні редуктора.

Метод повної взаємозамінності має ряд переваг:

1. Метод має малу трудомісткість і вимагає залучення робітників низькою кваліфікації.
2. Дозволяє здійснювати механізацію й автоматизацію складальних операцій, розширює можливість кооперування між заводами.
3. Полегшує проведення ремонтних робіт, тому що не вимагає пригонки по місцю.

Повна взаємозамінність деталей машин, що складаються, є одним з найбільш сприятливих умов для здійснення автоматизації складальних процесів.

Метод неповної взаємозамінності. Даний метод застосовується в тих випадках, коли відсутні умови для здійснення повної взаємозамінності, тобто коли допуск замикаючої ланки менше суми допусків складових ланок

$$T\Delta < \sum_{i=1}^{n-1} A_i.$$

Метод неповної взаємозамінності полягає в тому, що допуски на деталі (складові ланки розмірного ланцюга) розширюють до

економічно прийнятних значень для даного виробництва. Внаслідок цього деякий відсоток виробів, зібраних (як і в умовах повної взаємозамінності) без вибору, буде мати значення допуску замикаючої ланки, що перевищують задані. Проте цей метод складання може виявитися практично доцільним, якщо відсоток отриманих некондиційних виробів (відсоток ризику) буде порівняно невеликий і економічний ефект дозволить окупити витрати на перебирання і виправлення некондиційних виробів.

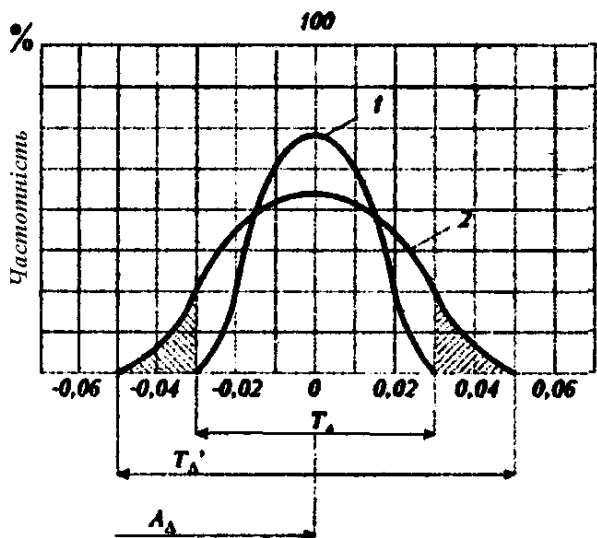


Рис. 14.6. Криві нормального розподілу розмірів замикаючого ланцюга.

Сутність методу можна проілюструвати на наступному прикладі. У багатоланковому механізмі потрібно забезпечити допуск замикаючої ланки $T_{\Delta} = \pm 0,03$ мм (рис. 14.6, крива 1).

У даних виробничих умовах неможливо обробити деталі з допусками T_{A_i} , що забезпечують допуск замикаючої ланки $T_{\Delta} = \pm 0,03$ мм. Тому прийняте рішення збільшити допуски на розміри деталей до економічно прийнятних граничних значень. За цих умов

допуск замикаючої ланки $T_{\Delta'}$ буде дорівнювати $\pm 0,05$ мм.

На рис. 14.6 заштриховані зони, що виходять за межі допуску T_{Δ} , характеризують відсоток ризику (відсоток некондиційних складальних одиниць).

У табл. 14.1 приведені значення коефіцієнта взаємозамінності $\eta = T_{\Delta} / T_{\Delta'}$, і відсотки браку (ризик), де T_{Δ} - заданий допуск замикаючої ланки; $T_{\Delta'}$ - прийнятий допуск замикаючої ланки, отриманий після збільшення допусків на складові розміри деталей T_{A_i} .

Таблиця 14.1

Коефіцієнт η	1	0,9	0,86	0,78	0,68	0,63	0,58	0,53	0,33
Відсоток ризику	0,27	0,6	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0	33,0

Для нашого прикладу, де $\eta=0,6$, відсоток ризику складе близько 7%. Таким чином, обумовлене економічними і технічними розуміннями збільшення допусків на деталі привело до збільшення допуску (поля розсіювання) замикаючої ланки на 40% проти заданого технічними

умовами. У результаті в 7% виробів допуск замикаючої ланки $T\Delta'$ вийде за межі припустимого допуску замикаючої ланки $\pm 0,03$ мм.

Груповий метод. Груповий метод може бути попарний і безпосередньо груповий. Він застосовується за умови, коли сума допусків складових ланок більше допуску замикаючої ланки

$$T\Delta > \sum_{i=1}^{n-1} A_i.$$

Одержання бракованих виробів виключається тут завдяки проведенню складання не з будь-яких, випадково обраних деталей, а спеціально підібраних.

При попарному методі складальник безпосередньо на робочому місці шляхом обмірювання підбирає з'єднувані деталі одну до одної, домагаючись одержання заданого значення замикаючої ланки. Більш широке застосування, особливо при значних масштабах виробництва, знаходить метод групової взаємозамінності, який полягає в тому, що

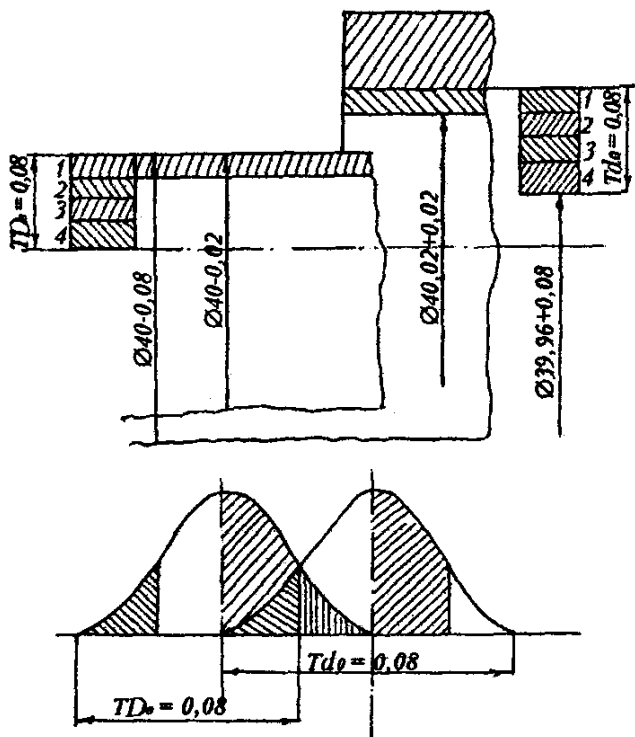


Рис. 14.7. Схема селективного складання з'єднань вала і втулки при однакових законах розсіювання розмірів вала і втулки.

з'єднувані деталі попередньо розсортовують на групи в більш вузьких межах допуску, а потім складальні одиниці збираються з деталей відповідних груп, чим і забезпечується висока точність з'єднання. Число груп m вибирають таким чином, щоб при з'єднанні деталей кожної групи був забезпечений необхідний допуск посадки $T\Delta$ (зазору, натягу), тобто щоб витримувалось співвідношення

$$TD_{e_m} + Td_{o_m} = T\Delta,$$

де TD_{e_m} і Td_{o_m} - відповідно допуски на розміри діаметрів сполучного вала і отвору в межах групи (рис. 14.7).

Але так як

$$TD_{e_m} = \frac{TD_e}{m} \quad \text{і} \quad Td_{o_m} = \frac{Td_o}{m},$$

де TD_e і Td_o - відповідно економічно прийнятні допуски на виготов-

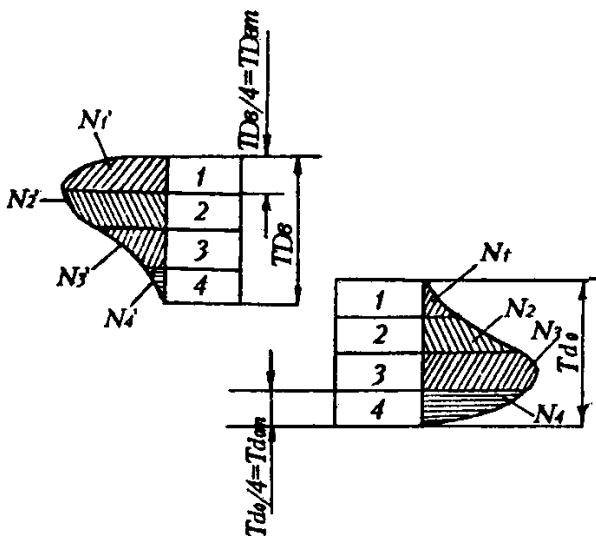


Рис. 14.8. Схема групового підбору деталей, що мають різні закони розсіювання розмірів.

У групах N_1, N_2, N_3, N_4 не відповідають числам охоплюваних деталей N'_1, N'_2, N'_3, N'_4 .

У результаті велика частина деталей буде не використана. Наприклад, у групі 1 число охоплюваних деталей N'_1 пропорційне площі. Число сполучених охоплюючих деталей N_1 першої групи також пропорційне площі. Із співставлення площ видно, що число охоплюваних деталей N'_1 приблизно в 4 рази більше числа охоплюючих деталей N_1 . Отже, велика частина охоплюваних деталей першої групи не буде використана.

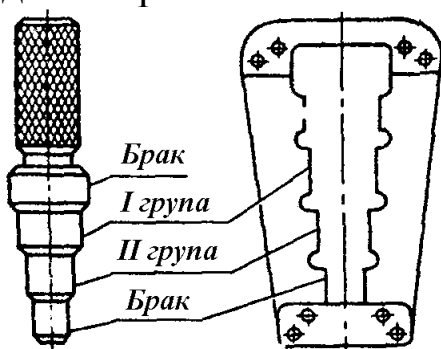


Рис. 14.9. Калібри для розсортовування деталей на дві групи.

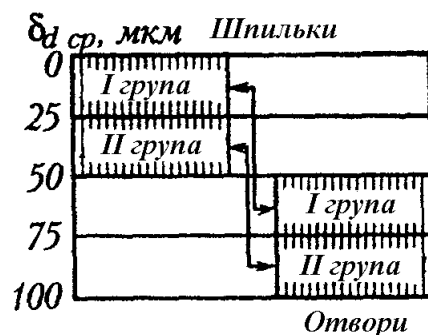


Рис. 14.10. Схема розсортовування шпильок і різбових гнізд за середнім діаметром різби.

Незважаючи на зазначений недолік, складання методом підбору залишається одним з найбільш розповсюджених методів, особливо при складанні малоланцюгових вузлів високої точності. Деталі сортуються автоматами чи вручну з застосуванням калібрів чи універ-

лення вала й отвору, то співвідношення запишеться:

$$\frac{TD_e + Td_0}{m} = T\Delta,$$

звідки

$$m = \frac{TD_e + Td_0}{T\Delta}.$$

Якщо при розрахунках виходить дробове число, то його варто округлити до найближчого цілого числа. Ефективність даного методу знижується при розходженні законів розсіювання обох з'єднаних деталей. З рис. 14.8 видно, що число охоплюючих дета-

сальних вимірювальних інструментів. Калібри для розсортування деталей на дві групи показані на рис. 14.9. Характерним прикладом служить підбір деталей при складанні різьбових з'єднань.

Наприклад, сталеві шпильки з різьбою М8, призначені для вкручування в алюмінієвий корпус, мають схему розсортування, приведену на рис. 14.10. Цей принцип з успіхом використовується в машинобудуванні для підбору деталей за масою і статичним моментом для забезпечення зрівноваженості деталей, що обертаються з великими круговими швидкостями, наприклад, диск у турбіні газотурбінних двигунів. Лопатки газової турбіни виготовляються з допуском за масою 10 - 12 г. При складанні ротора лопатки турбіни в комплекті підбираються з допуском 2 - 3 г. Більш того, для лопаток, встановлюваних діаметрально протилежно, допуск береться ще жорсткіше – порядку 0,2-0,75 г.

Метод компенсації чи регулювання. Метод регулювання полягає в тому, що необхідна точність замикаючої ланки досягається шляхом зміни величини заздалегідь обраної компенсуючої ланки.

На рис. 14.11 показана схема досягнення точності замикаючої ланки з використанням рухомого компенсатора.

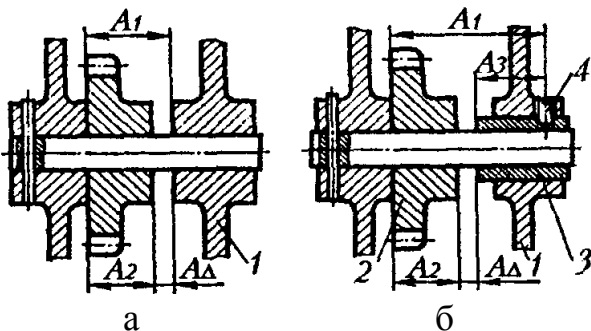


Рис. 14.11. Схема для досягнення точності замикаючої ланки методом регулювання з використанням рухливого компенсатора.

Роль рухомого компенсатора виконує втулка 3, яку після складання всіх деталей переміщують у повздовжньому напрямку доти, поки не буде досягнута необхідна точність зазору A_{Δ} . Положення втулки фіксується за допомогою стопорного гвинта 4. Величину замикаючої ланки можна визначити з рівності (рис. 14.11, б) $A_{\Delta} = A_1 - A_2 - A_3$.

На рис. 14.11, а показане досягнення необхідної точності між торцем корпусу і торцем маточини зубчастого колеса. Необхідну точність замикаючої ланки можна забезпечити за рахунок зміни розміру однієї з деталей (рис. 14.12). Величина компенсатора A_{5k} повинна перекрити різницю між сумою прийнятих допусків на складові ланки і допуском заданої замикаючої ланки A_{Δ}

$$A_k = \sum_{i=1}^{n-1} TA_i - TA_{\Delta},$$

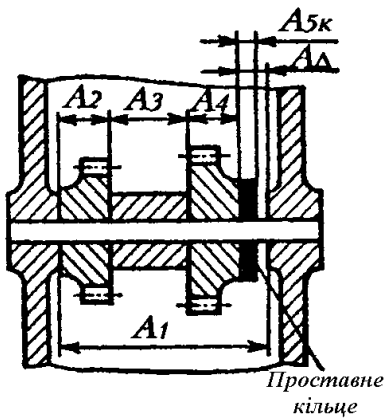


Рис. 14.12. Схема досягнення точності методом регулювання з використанням нерухомого компенсатора.

де TA_i - величина розширених допусків; n - загальна кількість ланок розмірного ланцюга, включаючи і замикаючу ланку; TA_{Δ} - допуск зазору.

Дане рівняння визначає границю найменшого поля, у межах якого повинна бути забезпечена можливість зміни компенсаційного розміру.

Розглянемо приклад. Позначимо числовими значеннями складові розмірного ланцюга з допусками

$$\begin{aligned} A_1 &= 100^{+0,23}; & A_2 &= 35_{-0,17}; \\ A_3 &= 42_{-0,17}; & A_4 &= 20_{-0,12}; \\ A_{\Delta} &= 0,3_{-0,2}; & A_k &= 3_{-0,06}. \end{aligned}$$

Тоді найбільша величина компенсації складе

$$\delta_k = (0,23 + 0,17 + 0,17 + 0,12 = 0,06) - 0,2 = 0,55 \text{ мм.}$$

При нерухомих компенсаторах розрахунки необхідної кількості розмірів визначаються за формулою

$$n = \frac{\delta_k}{TA_{\Delta}} + 1 = \frac{0,55}{0,2} + 1 \approx 4.$$

Тоді розміри компенсаторів, необхідні для забезпечення встановленого зазору A_{Δ} визначаються наступними величинами

$$\begin{aligned} A_{5k_1} &= 3,14_{-0,06}; & A_{5k_2} &= 3,28_{-0,06}; \\ A_{5k_3} &= 3,42_{-0,06}; & A_{5k_4} &= 3,56_{-0,06}. \end{aligned}$$

Метод складання з індивідуальною пригонкою деталей по місцю. Складання з пригонкою деталей по місцю полягає в тому, що встановлена межа точності замикаючої ланки в розмірному ланцюзі досягається зміною величини однієї з заздалегідь намічених ланок шляхом зняття додаткового шару матеріалу. Власне кажучи, складання з індивідуальним припасуванням деталі по місцю є методом неповної взаємозамінності з пригонкою деталей у тих випадках, коли розмір замикаючої ланки лежить за межами допустимих відхилень. Щоб зробити пригонку за рахунок обраної ланки, необхідно: забезпечити на компенсуючій ланці шар припуску на пригонку, достатній для компенсації величини перевищення допустимої похибки замикаючої ланки; витримати при обробці деталей, що входять у розмірний ланцюг,

встановлені економічно прийнятні величини допусків.

До недоліків методу складання з пригонкою по місцю відносяться: потреба в робітниках високої кваліфікації; велика трудомісткість; труднощі нормування пригоночних робіт; процеси припасування вимагають додаткового очищення і промивання зібраних вузлів і механізмів. Одним з різновидів методу компенсації похибок є складання з'єднань із застосуванням пластмасових компенсаторів.

Сутність процесу полягає в наступному: при складанні машини в зазори, що утворилися чи спеціально створені між з'єднуваними деталями, після їхньої взаємної вивірки нагнітається пластмаса в грузлому-текучому стані. Остання, вибираючи зазори, компенсує всі похибки механічної обробки і складання і після затвердіння перетворюється в компенсатор усіх похибок. Варто відмітити, що точність замикаючої ланки тут залежить від точності вивірки.

Метод складання з пластмасовими компенсаторами є економічним, тому що дозволяє скорочувати обсяг трудомістких ручних пригоночних робіт. Точність компенсації визначається залежністю

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_y + \Delta_c + \Delta_{\alpha} + \Delta_{\sigma},$$

де Δ_y – похибка, пов'язана з усадкою матеріалу компенсатора; Δ_c – похибка, пов'язана із зміною розміру компенсатора під дією активних середовищ (вологи, мастильних матеріалів, сонячної радіації і т.д.); Δ_{α} – похибки, викликані відмінністю коефіцієнтів термічного розширення матеріалу пластмаси і з'єднуваних деталей; Δ_{σ} – похибка, пов'язана з деформацією прошарку під дією сил.

У цілому, як показує заводський досвід, сумарна похибка Δ_{Σ} не перевищує 1,5 – 3% від величини номінального розміру компенсатора. При зміні величини зазору під компенсатор 2 – 5 мм сумарна похибка знаходиться в межах 0,03 – 0,12 мм.

Із застосуванням пластмасових компенсаторів збільшується поверхня зіткнення, тому що всі макро- і мікронерівності деталей стикаються з пластмасою. У результаті збільшується твердість стику. З наявністю пластмасового прошарку знижуються вібрації і рівень шуму.

До пластмас висувуються наступні вимоги:

1. Вони повинні мати високу рідкотекучість.
2. Мінімальний час полімеризації.
3. Малу усадку і зберігати стабільність властивостей у процесі експлуатації машини.
4. Володіти достатньою міцністю і твердістю.

5. Мати низьку вартість і допускати безпечне використання по токсичності в умовах складальних цехів.

Цим вимогам відповідають пластмаси холодного отвердіння на основі епоксидних, поліефірних і акрилових смол. Найбільш технологічною є пластмаса АСТ-Т (ТУ 79-1648-90).

Основні технічні властивості пластмаси АСТ-Т:

- температура полімеризації $20 \div 25^{\circ}\text{C}$;
- час полімеризації $20 \div 30$ хв;
- коефіцієнт термічного розширення на 1 град $(5 \div 8) \cdot 10^5$ см;
- усадка в % $0,3 \div 0,6\%$;
- границя текучості при стиску $750 - 800$ кг/см².

Технологічний процес:

1. Підготовка з'єднуваних поверхонь (промивання, знежирення).
2. Установка і вивірка деталей і вузлів.
3. По контуру і навколо отворів прокладають гумові шнури, що перешкоджають витіканню пластмаси.
4. Заповнення зазору пластмасою.
5. Забезпечення умов полімеризації пластмаси.
6. Закріплення деталей і вузлів після отвердіння пластмаси.
7. Контроль якості.

14.4. СТРУКТУРА І ЗМІСТ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ СКЛАДАННЯ

Технологічний процес складання являє собою частину виробничого процесу, безпосередньо пов'язану з послідовним з'єднанням, взаємною орієнтацією і кріпленням деталей і вузлів машини, що задовольняє пропонованим вимогам.

До складу технологічного процесу складання включаються підготовчі, приганяльні, складальні, регулювальні і контрольні операції, наприклад, перевірка точності взаємного розташування вузлів, які збираються, і деталей і внесення, якщо це необхідно, відповідних виправлень шляхом регулювання, пригонки чи підбору; фіксування положення деталей і вузлів для забезпечення цільового призначення при роботі машини.

Технологічний процес складання включає також операції, пов'язані з перевіркою правильності дії окремих механізмів і вузлів і в цілому всієї машини (по точності, плавності руху, безшумності, надійності функціонування мастильної системи і т.д.). Сюди ж відно-

сяться всі необхідні операції по очищенню, промиванню, фарбуванню й обробці виробу чи складових його складальних одиниць і деталей. У технологічному процесі складання одиницею виробничого планування є складальна операція.

Складальна операція являє собою закінчену частину технологічного процесу складання, виконувану безупинно одним робітником чи групою (бригадою) робітників на одному робочому місці.

Складальна операція включає ряд технологічних переходів.

Перехід складального процесу - це закінчена частина операції складання, виконувана над визначеною ділянкою складального з'єднання (вузла) при використанні тих самих інструментів і пристроїв. Однією з важливих задач розробки технологічного процесу складання є вибір ступеня його диференціації.

Концентрований процес складання застосовується для досвідченого, одиничного і частково дрібносерійного виробництва. У цьому випадку вузлові операції і загальне складання виконуються на одному робочому місці одним робітником чи бригадою складальників.

До недоліків концентрованого складання варто віднести: тривалість календарного циклу операції; труднощі механізації і тим більше автоматизації нерозчленованих операцій і недоцільність залучення вузькоспеціалізованих висококваліфікованих складальників-універсалів.

Диференційований технологічний процес складання застосовується для серійного і масового виробництв. Диференціація дозволяє розчленувати технологічний процес складання на окремі самостійні операції, тривалість яких дорівнює чи кратна встановленому такту складання. Така форма організації процесу складання створює умови для механізації й автоматизації ручних процесів і організації поточного й автоматичного складання.

Розчленовування процесу складання і раціональний розподіл операцій по робочих місцях скорочує трудомісткість складання на 15-20%. Ступінь диференціації залежить не тільки від типу виробництва, але і від конструкції самого виробу, його габаритних розмірів, числа деталей. Однак зайвий ступінь диференціації процесу складання викликає збільшення часу на встановлення і зняття елементів, які складаються, а також підвищує втомлюваність робітників при виконанні дрібних одноманітних операцій. Отже, при проектуванні технологічного процесу складання повинний бути знайдений оптимальний ступінь диференціації.

Технологічний процес складання складається з наступних етапів:

1. У залежності від програми встановлюється такт і ритм випуску виробів.

2. Здійснюється технологічний аналіз складальних і робочих креслень деталей з позиції відпрацювання технологічної конструкції.

3. Проводиться розмірний аналіз конструкцій виробів, які складаються, і встановлюються раціональні методи забезпечення необхідної точності складання.

4. Встановлюється оптимальний ступінь диференціації проєктованого процесу складання.

5. Розробляються схеми загального і вузлового складання виробу.

6. Визначаються найбільш продуктивні способи з'єднання деталей і вузлів, перевірка положення і фіксація складових складальних одиниць виробу. Розробляється зміст технологічних операцій складання і призначаються методи контролю й випробування виробів.

7. Розробляється технологічне оснащення (пристрої, ріжучий і монтажний інструменти й устаткування).

8. Проводиться технічне нормування складальних робіт і розраховуються економічні показники процесу складання.

9. Оформляється технологічна документація процесу складання.

Для розробки технологічного процесу складання необхідно мати наступні вихідні дані:

- 1) програма випуску виробів;
- 2) складальні креслення виробів і вузлів, каталоги і специфікації вхідних деталей;
- 3) технічні умови складання й іспиту виробу;
- 4) робочі креслення деталей;
- 5) обсяг кооперації;
- 6) довідники по технологічному оснащенню.

Після аналізу технічних умов на виготовлення і складання машини приступають до розбивки виробу на складальні одиниці. Складальна одиниця не повинна складатися з надмірно великого числа деталей і з'єднань, але в той же час зайве дроблення машини на складальні одиниці також не раціональне. Трудомісткість складальних одиниць повинна бути приблизно однакова.

Послідовність складання представляється у вигляді технологіч-

ної схеми складання, яка є умовним зображенням порядку комплектування виробів і вузлів при складанні. Схема складання дає наочне представлення про технологічний процес. На цих схемах кожен елемент представляється у виді прямокутника, у якому вказується найменування складального елемента, його шифр і кількість. На схемі процес складання представляється у виді прямої лінії, яка з'єднує прямокутники, які зображують на початку процесу базову деталь, наприкінці процесу складання - готовий виріб (чи складальну одиницю). Вище горизонтальної лінії показуються в порядку послідовності складання прямокутники, що умовно зображують деталі, а нижче - прямокутники, що умовно зображують складальні одиниці. Для кожної складальної одиниці першого і більш високих порядків можуть бути побудовані аналогічні схеми.

На рис. 14.13 показана технологічна схема складання, а на рис. 14.14 - технологічні схеми складання виробу (а) і складальних одиниць першого (б, в) і другого (г) порядків.

Після розробки схем складання встановлюється склад необхідних складальних, регулювальних, пригонювальних, підготовчих і контрольних робіт і визначається зміст технологічних операцій і переходів.

В умовах одиничного виробництва обмежуються розробкою маршрутних технологічних карт і схемами складання. Складання виконується висококваліфікованими робітниками, що самі вибирають прийоми складальних робіт, використовуючи креслення виробу.

У важкому машинобудуванні в одиничному виробництві основним технологічним документом служить загальна схема складання і схема вузлового складання, де вказується: трудомісткість роботи, тип оснащення, цех і т.д.

Для виконання окремих операцій (наприклад, запресовування, випробування і т. д) розробляють типові інструкції.

У серійному виробництві розробляють маршрутно-операційні й операційні технологічні карти і при необхідності технологічні інструкції, комплектувальні карти, відомість оснащення й інші документи.

У багатосерійному і масовому виробництві процес складання розчленовується на вузлове. Частина пригонювальних робіт скорочується за рахунок широкого застосування регулювання розмірів за допомогою різних компенсаторів і застосування селективного складання і методів неповної взаємозамінності.

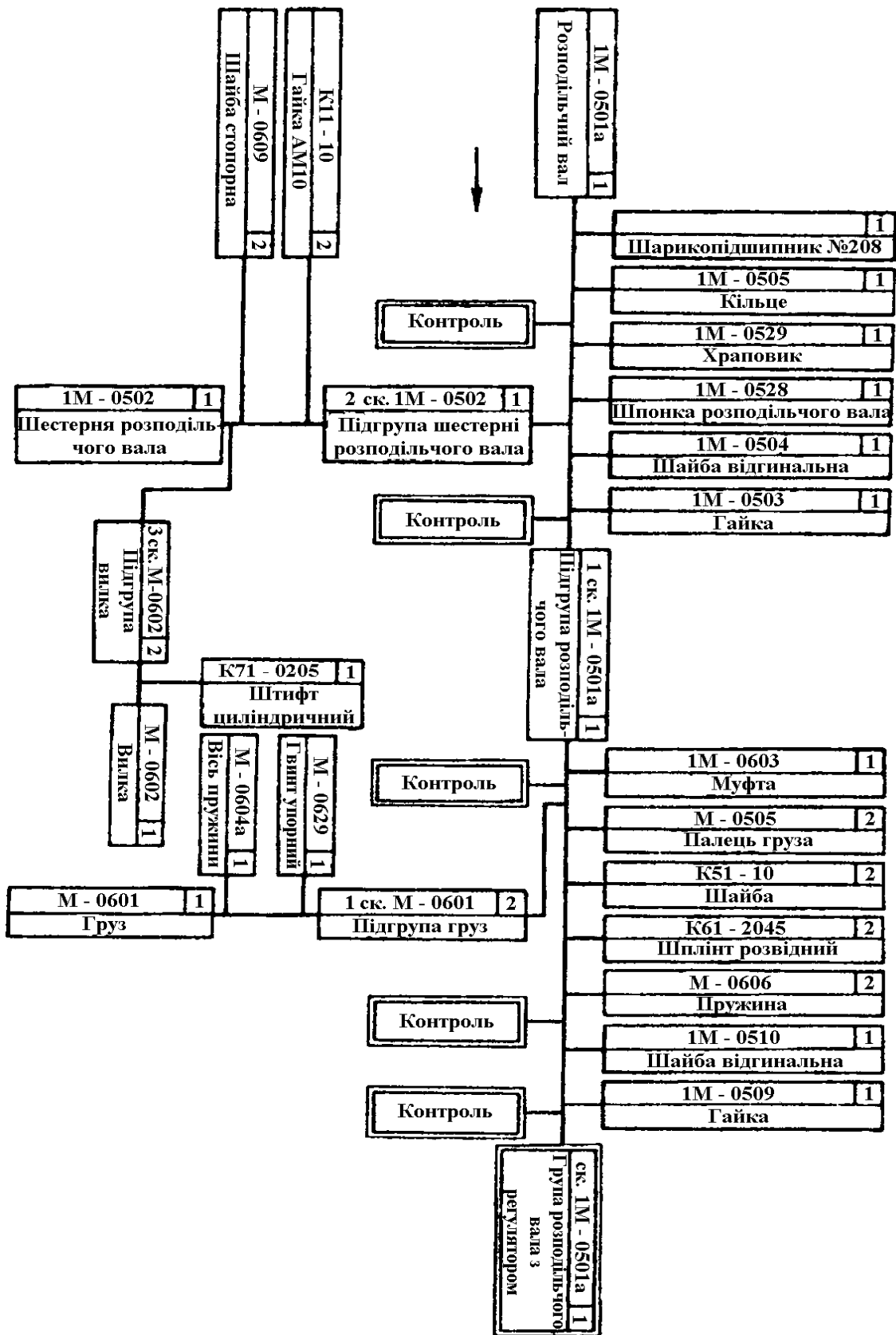


Рис. 14.13. Технологічна схема складання регулятора.

При формуванні технологічної операції в її склад включаються однорідні роботи, що сприяє спеціалізації складальників і підвищенню продуктивності праці. Механізація слюсарно-складальних робіт є

найважливішою проблемою проектування технологічних процесів складання.

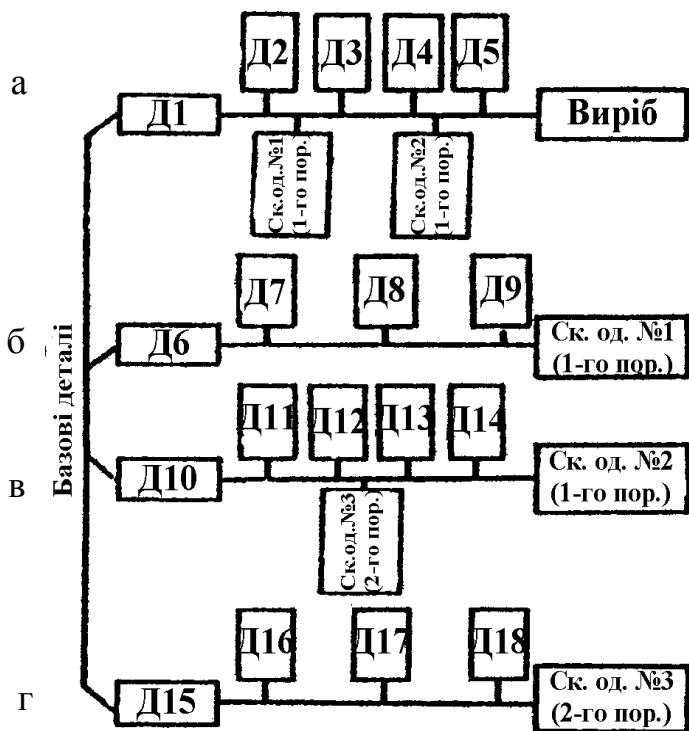


Рис. 14.14. Технологічні схеми складання виробу (а) і складальних одиниць першого (б, в) і другого (г) порядку.

налювання технології складання є розробка нових способів механізації й автоматизації складальних операцій шляхом застосування роботів, різноманітних складальних пристроїв і стендів, а також механізованих складальних інструментів.

14.5. СКЛАДАННЯ ТИПОВИХ СКЛАДАЛЬНИХ ОДИНИЦЬ

14.5.1. СКЛАДАННЯ НЕРУХОМИХ РОЗ'ЄМНИХ З'ЄДНАНЬ

Різьбові з'єднання. Різьбові з'єднання є найбільш розповсюдженим видом з'єднань частин виробів. У сучасному машинобудуванні нараховується до декількох тисяч різьбових з'єднань, серед яких є відповідальні болти і шпильки, які визначають надійність роботи машини в цілому.

Незалежно від виду посадок, нерухомі різьбові з'єднання повинні відповідати наступним основним вимогам:

У різних галузях машинобудування частка складальних робіт складає від 20 до 45% від загальної трудомісткості виготовлення виробу. При цьому частка ручних робіт коливається від 50 до 85%. Наприклад, у важкому машинобудуванні частка ручних робіт складає 80 - 85%, у верстатобудуванні - 75 - 78%, в автомобілебудуванні - 45 - 50%, у тракторному і сільськогосподарському машинобудуванні - 50 - 60% і в електромашинобудуванні - 70 - 75%.

У зв'язку з цим одним з основних напрямків вдосконалення технології складання є розробка нових способів механізації й автоматизації складальних операцій шляхом застосування роботів, різноманітних складальних пристроїв і стендів, а також механізованих складальних інструментів.

1. Стикі деталей, що скріплюються за допомогою різьбового з'єднання, повинні зберігати щільність під дією робочих навантажень.

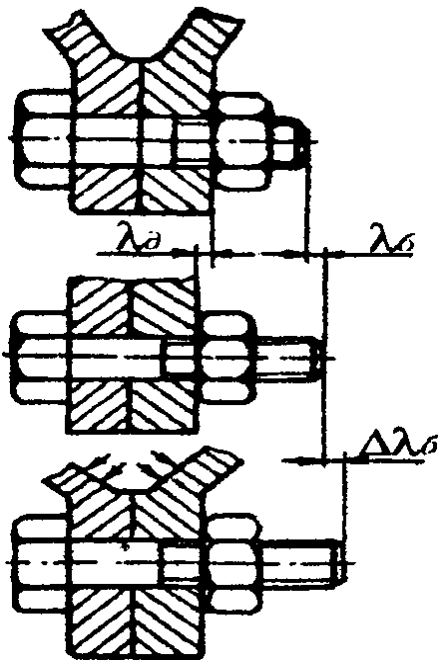
2. Елементи різьбового з'єднання при наявності змінних навантажень повинні мати достатню витривалість.

3. Стикі деталей повинні бути герметичні.

4. Елементи різьбового з'єднання не повинні довільно слабшати.

Виконання цих вимог досягається шляхом проведення конструктивних і технологічних заходів. Найважливішим технологічним заходом є оптимальне затягування різьбового з'єднання при складанні.

Вибір оптимального зусилля затягування. Розглянемо різьбо-



ве з'єднання за стадіями послідовного навантаження (рис. 14.15). При затягуванні гайки створюється сила затягування F_3 . Під дією цієї сили гвинт деформується на величину λ_g , а з'єднувані деталі стискаються на величину λ_d . Напруження при затягуванні не перевищує межі пропорційності, тому залежність зусилля-деформація представляється у вигляді прямих ліній (рис. 14.16). Кути нахилу прямих ліній характеризують жорсткість деталей різьбового з'єднання:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{F_3}{\lambda_g} = K_g; \quad \operatorname{tg} \beta = \frac{F_3}{\lambda_d} = K_d,$$

Рис. 14.15. Різьбові з'єднання в стадіях послідовного навантаження.

де K_g і K_d - жорсткість гвинта і деталі відповідно.

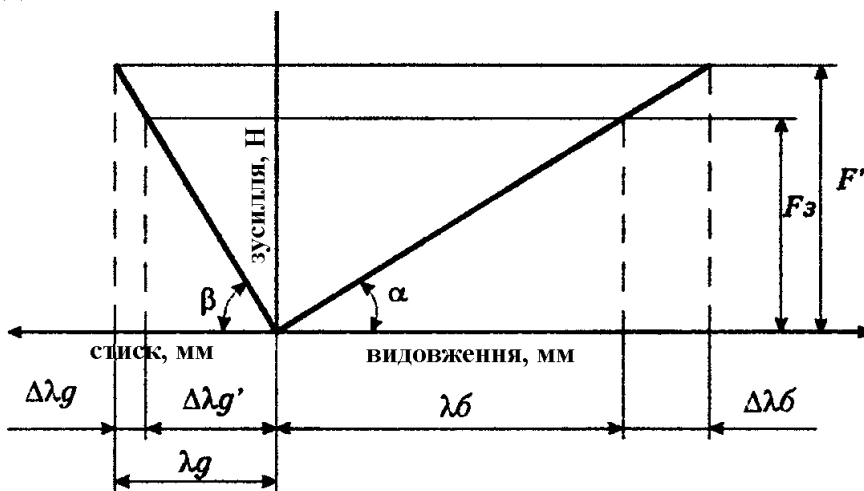
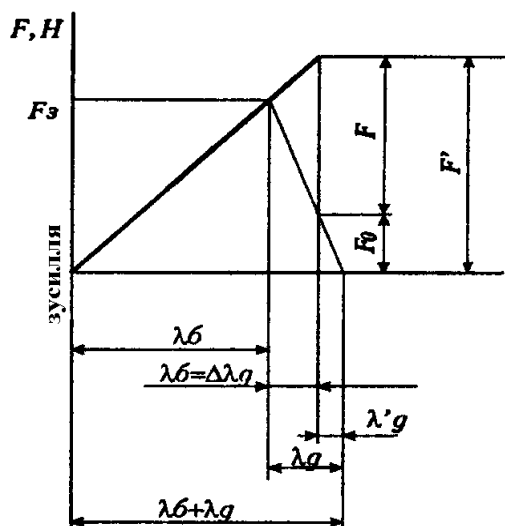


Рис. 14.16. Діаграма деформацій гвинта і корпусу деталі під навантаженням.

Якщо на систему, що знаходиться в пружному-навантаженому стані, буде діяти додаткове навантаження F , (наприклад, сила тиску газів у резервуарі), що розкриває стик, тоді болт одержить додаткове видов-

ження на величину $\Delta\lambda_{\delta}$, а деталі стику стиснуться на ту ж величину і деформація деталі буде рівною λ'_{δ} . У цьому випадку сила, що навантажує болт, збільшиться і буде рівною F' , а сила, що стискає деталі зменшиться і буде рівною F_0 . Співвідношення сил і деформацій показано на рис. 14.17. З малюнка випливає, що деформація

$$\lambda_{\delta} = \lambda'_{\delta} + \Delta\lambda_{\delta}$$



чи

$$\frac{F_3}{K_{\delta}} = \frac{F_0}{K_{\delta}} + \frac{F' - F_3}{K_{\delta}}. \quad (14.6)$$

Підставляючи у вираз (14.6) замість F' суму $(F + F_0)$, одержимо

$$F_3 = F_0 + F \cdot \frac{K_{\delta}}{K_{\delta} + K_{\delta}}. \quad (14.7)$$

Залишкове зусилля приймають звичайно рівним $(0,3 - 0,8)F$ для постійних статичних навантажень і $(1,2 - 2,4)F$ для змінних навантажень.

Руйнування гвинтів відбувається в основному від втомлюючих явищ під дією знакозмінних навантажень. Чим більша амплітуда коливання напружень, тим більша змінна складова F_H , що діє на гвинт (рис. 14.18). Тому треба прагнути зменшити амплітуду складової сили $F_H = F + F_0 - F_3$.

Підставляючи значення F_3 з формули (14.7), одержимо

$$F_H = F \cdot \frac{K_{\delta}}{K_{\delta} + K_{\delta}}. \quad (14.8)$$

З формули (14.8) видно, що із зменшенням жорсткості гвинта K_{δ} і збільшенням жорсткості деталі K_{δ} складова F_H буде зменшуватись. При конструюванні різьбових з'єднань, що працюють в умовах знакозмінних навантажень, прагнуть забезпечити умову "жорсткі деталі - податливі гвинти". Податливість гвинта досягається за рахунок заниження діаметра біля головки. Занижений діаметр шийки на гвинтах є своєрідним демпфером, що поглинає амплітуду сили F_H .

Для підвищення витривалості різьбових з'єднань бажане напруження при затягуванні довести до рівня, близького до $0,9\sigma_{0,2}$. Однак недосконалість методів контролю затягування не дозволяє отримувати найвигідніші напруження у вузьких межах допуску. Тому щоб уникнути пластичних деформацій напруження затягування гвинтів

приймають рівним $\sigma_3 = (0,5 \div 0,7) \cdot \sigma_{0,2}$. Для забезпечення оптимального зусилля затягування необхідно здійснювати контроль.

У машинобудуванні застосовують наступні види контролю

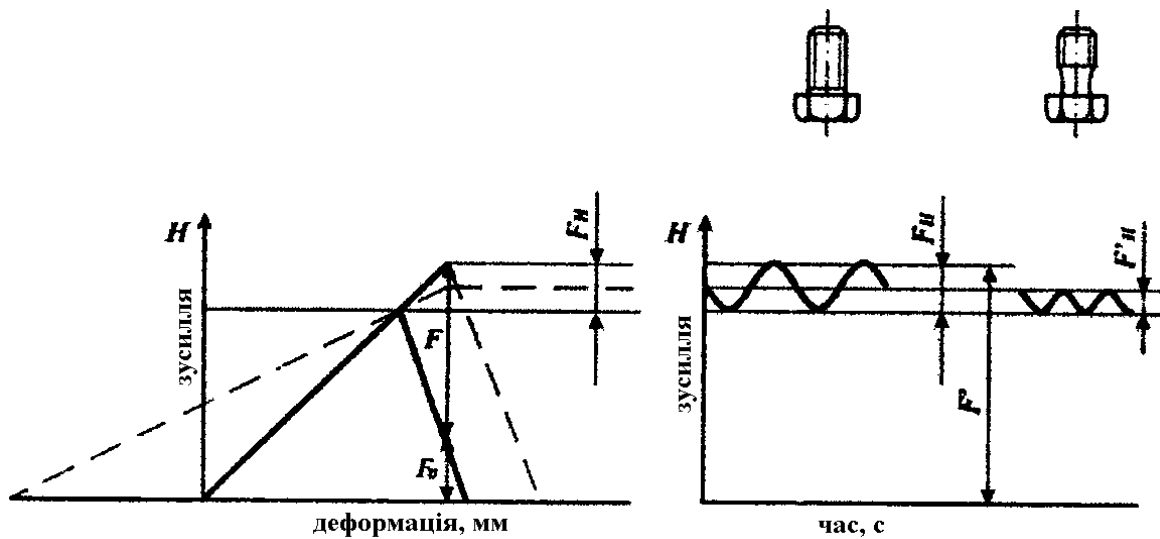


Рис. 14.18. Вплив податливості гвинта на величину амплітуди пульсуючого навантаження.

зусилля затягування: за крутним моментом; за кутом повороту гайки; по подовженню гвинта (шпильки); по деформації тарованої шайби.

Контроль зусилля затягування за крутним моментом здійснюється за допомогою спеціальних динамометричних ключів. Метод затягування за кутом повороту гайки проводиться в наступній послідовності: гайка завертається від руки до упора, а потім ключем повертається на кут

$$\alpha = \frac{F_3}{S} \cdot (K_\sigma + K_\delta) \cdot 360 = \frac{F_3}{S} \cdot \left(\frac{l_\sigma}{F'_\sigma E_\sigma} + \frac{l_\delta}{F'_\delta E_\delta} \right) \cdot 360,$$

де S - крок різьби, мм; l_σ, l_δ - довжина гвинта і товщина фланця деталі, мм; F'_σ, F'_δ - площі перетину гвинта і з'єднаних деталей, мм²; E_σ, E_δ - модулі пружності гвинта і деталі, МПа.

Розрахункова довжина гвинта приймається рівною товщині деталі (рис. 14.19), а для коротких гвинтів $l_\sigma < 5d$ з врахуванням довжини згвинчування $l_\sigma = l_\delta + (0,3 \dots 0,5) \cdot h$, де h - висота гайки. Площа деталі розраховується з врахуванням конуса тиску. Площа замінюється пустотілим циліндром з діаметром $D_y = D + l \cdot \operatorname{tg} \theta$

$$F = \frac{\pi}{4} \cdot (D_y^2 - d_0^2). \quad (14.10)$$

Ключ для затягування гайки за кутом повороту представлений на рис. 14.20.

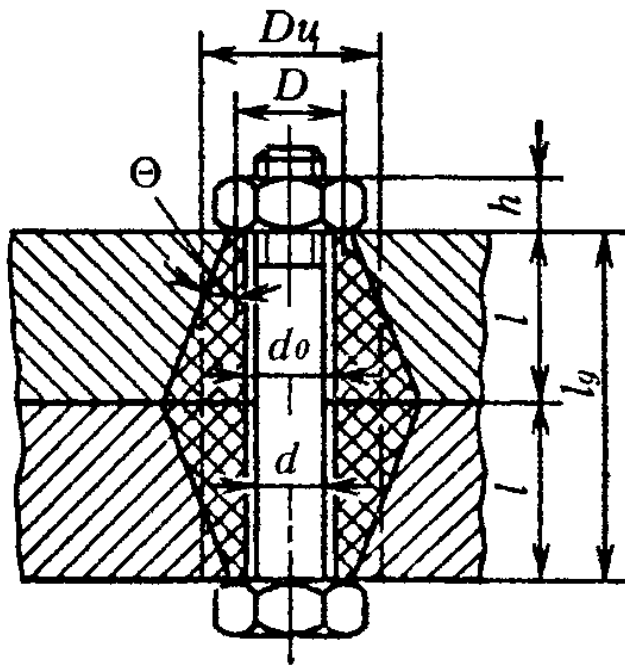


Рис. 14.19. Схема визначення розрахункової площі стику.

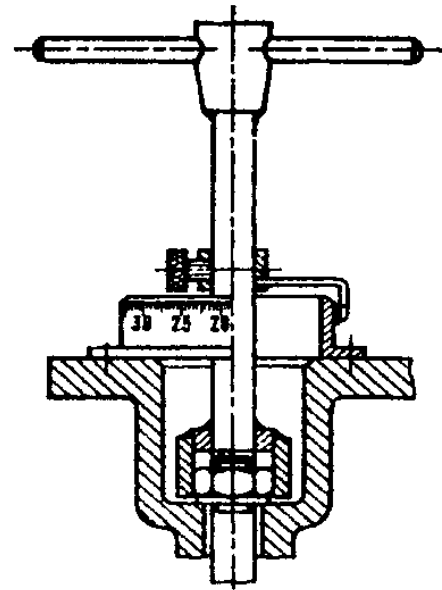


Рис. 14.20. Ключ для затягування за кутом повороту гайки.

Метод контролю зусилля затягування по “видовженню гвинта” заснований на вимірюванні видовження гвинта під дією зусилля затягування. Контроль видовження здійснюється мікрометром (рис. 14.21). Зв’язок між зусиллям затягування і видовженням гвинта, що має однаковий перетин, виражається залежністю

$$\lambda_{\sigma} = F_3 \cdot \frac{l_{\sigma}}{E_0 \cdot F'_{\sigma}} \quad (14.11)$$

Для гвинтів змінного перетину F_{σ} враховується податливість гвинта на окремих і тих ділянках $\frac{l_{\sigma_i}}{E_{\sigma} \cdot F'_{\sigma_i}}$, і для n ділянок загальне

видовження визначається з виразу

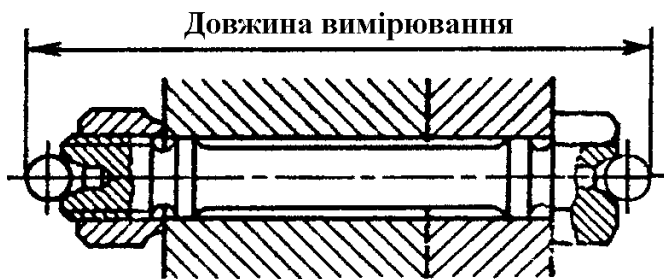


Рис. 14.21. Схема контролю видовження гвинта.

$$\lambda_{\sigma} = F_3 \cdot \sum_{i=1}^n \frac{l_{\sigma_i}}{E_{\sigma} \cdot F'_{\sigma_i}} \quad (14.12)$$

Метод є найбільш точним, його рекомендовано використовувати при затягуванні найбільш відповідальних різьбових з’єднань. Однак через труднощі з контролем видовження в складеній машині чи через відсутність надійних вимірювальних засобів, область застосування методу обмежена.

Контроль зусилля затягування можна здійснювати за величиною деформації тарованої шайби.

Тарована шайба 1 (рис. 14.22) міститься між двома звичайними шайбами. На таровану шайбу з зазором вдягається мірна шайба 2, товщина якої менше тарованої на величину λ_m .

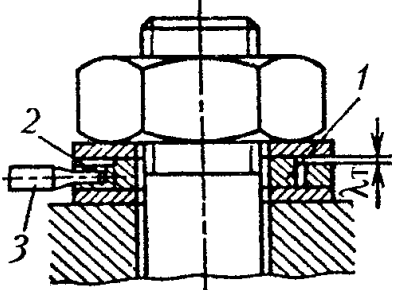


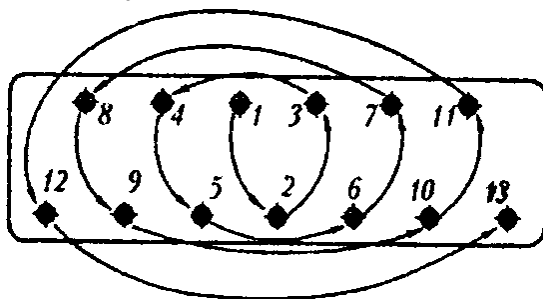
Рис. 14.22. Контроль затягування з допомогою тарованої шайби.

$$\lambda_m = F_3 \cdot \frac{h_{ш}}{E_{ш} \cdot F'_{ш}}, \quad (14.13)$$

де $h_{ш}$ - висота шайби; $F'_{ш} = \pi \cdot \frac{(D_{ш} - d_0)^2}{4}$.

Деформація тарованої шайби на величину λ_m реєструється в ході затягування штифом 3, з'єднаним з допоміжною шайбою. Процес затягування закінчується після припинення можливості повороту допоміжної шайби.

Під впливом знакозмінних навантажень у процесі експлуатації машин затягування різьбових з'єднань може слабшати. На ослаблення напруженого стану в різьбовому з'єднанні впливають: залишкові пластичні деформації гвинта і з'єднаних деталей у результаті короткочасних перевантажень, мимовільне відгвинчування гайок, релаксація напружень у гвинтах в умовах підвищених температур і ін. Щоб уникнути ослаблення затягування необхідно стабілізувати напруження затягування.



I варіант



II варіант

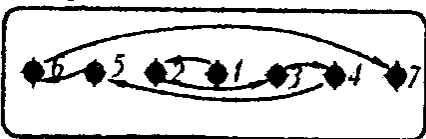


Рис. 14.23. Схема затягування групових різьбових з'єднань.

Стабілізація затягування. Для стабілізації напруження затягування застосовують наступні заходи:

- проводиться попереднє обтиснення деталей під навантаженням, що відповідає заданому значенню F_3 і ретельний пригін стикових поверхонь;
- при затягуванні групових різьбових з'єднань, поряд з дотриманням вимог до одиночних з'єднань, розглянутим вище, дотримується визначена послідовність затягування (рис. 14.23);
- стопоріння різьбових з'єднань

за рахунок створення додаткових сил тертя шляхом осьового чи радіального тиску (стопоріння контргайкою, гвинтом, що само-стопорними гайками);

- взаємна фіксація гайки щодо гвинта, однієї із з'єднаних деталей чи фіксація декількох гайок (гвинтів) (стопоріння шплінтом, пружинними шайбами, шляхом накернювання й ін.).

Стороріння контргайкою. Звичайну контргайку з листового матеріалу (рис. 14.24, а) нагвинчують на гвинт і затягують контргайку до щільного зіткнення її з торцем основної гайки.

Стороріння гвинтом. За допомогою гвинта 1 (рис. 14.24, б) досягається місцеве збільшення кроку різьби, що підвищує тертя в різьбі. Такий же ефект досягається завдяки застосуванню контргайок із завальцьованими пластмасовими пружними вставками (рис. 14.24, в). За допомогою гвинта 4 (рис. 14.24, г) створюються додаткові сили тертя в різьбі. Щоб уникнути псування основної різьби під гвинт розміщують свинцеву чи алюмінієву кульку 3.

Стороріння спеціальними гайками. Стороріння спеціальними гайками засновано на створенні додаткових сил тертя від радіального натягу в різьбі гайок за рахунок пружності верхньої її частини завдяки розрізам (рис. 14.24, д) чи обтисненні пелюсток на еліпс (рис. 14.24, е). Стороріння гайок щодо гвинтів здійснюється також за до-

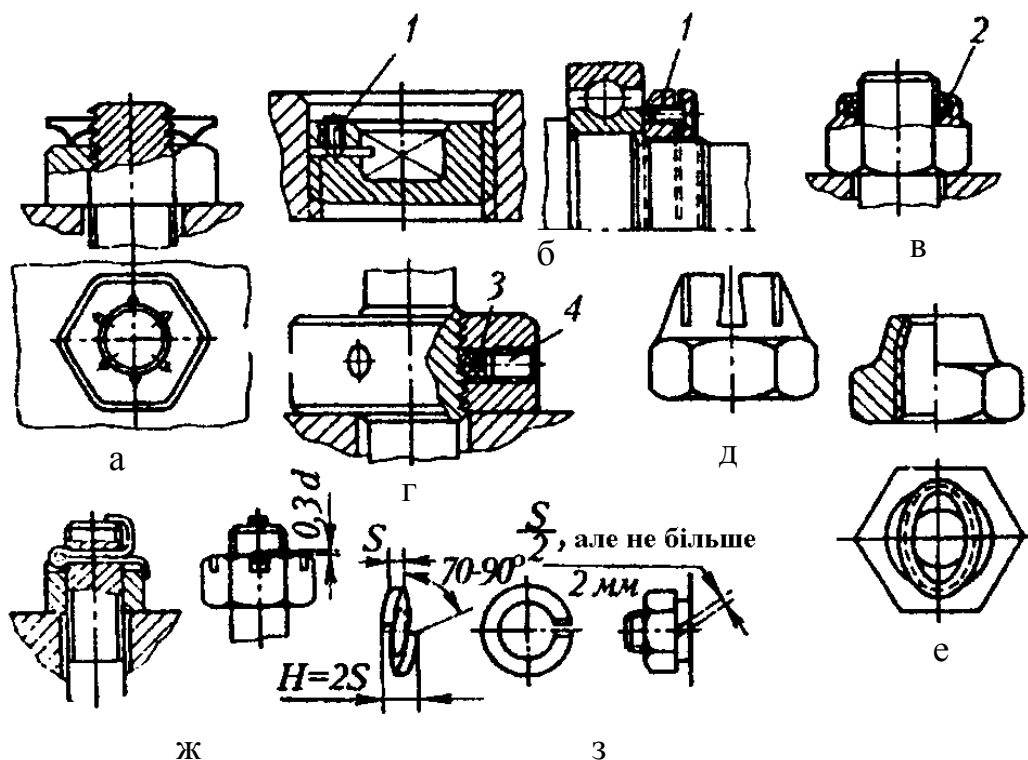


Рис. 14.24. Стороріння різьбових з'єднань: 1 і 4 – стопорні гвинти; 2 – пластмасова пружна вставка; 3 – алюмінієва кулька.

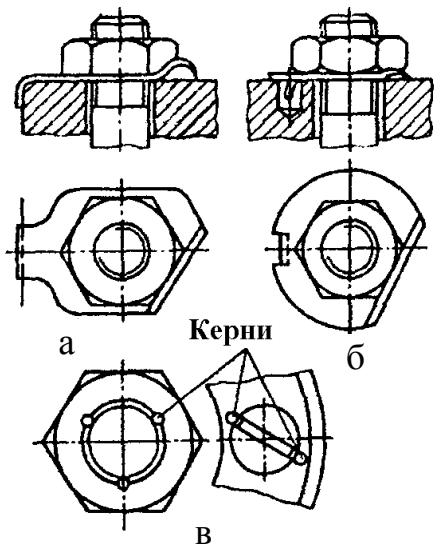


Рис. 14.25. Стопоріння гайки шайбою із зовнішніми виступами (а) і (б) і з допомогою кернера.

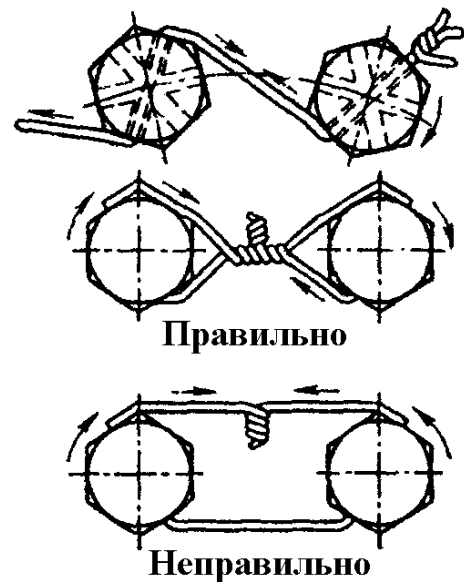


Рис. 14.26. Стопоріння гвинтів дротом.

помогою шплінтів (рис. 14.24, ж), пружних шайб (рис. 14.24, з) і деформованих шайб (рис. 14.25).

Шайба виготовляється з м'якої листової сталі товщиною 1-1,25 мм. Після затягування гайки виступи шайби відгинаються: один виступ на грань гайки, другий - на крайку корпусу.

Перераховані способи стопоріння забезпечують фіксацію тільки гайок. Однак у ряді випадків потрібно робити стопоріння гвинтів.

На рис. 14.26 показані способи стопоріння гвинтів. Отвори в головках просверлюються заздалегідь, до встановлення гвинтів. Дріт в отвори вводиться хрест-навхрест таким чином, щоб натяг від затягування дроту створював момент, що діє в напрямку затягування.

Для запобігання дрібних гвинтових з'єднань від самовідгвинчування застосовують клеючі лаки на пластмасовій основі.

Повздовжньо-пресові з'єднання. З'єднання такого роду (рис. 14.27) порівняно широко поширені в конструкціях машин.

Процес складання полягає в тому, що до однієї з двох деталей прикладається осьова сила (рис. 14.28). Сила запресовування змінюється від нуля до деякого максимального значення.

Охоплювана деталь (вал) має зовнішній діаметр більший, ніж діаметр отвору, тому процес з'єднання відбувається в умовах деформування металу. Фактичний натяг визначається по номінальних розмірах охоплюваної і охопленої деталей без врахування шорсткості поверхні. При запресовуванні, мікронерівності, зминаючись під дією тисків, зменшують фактичну величину натягу. Тому для визначення

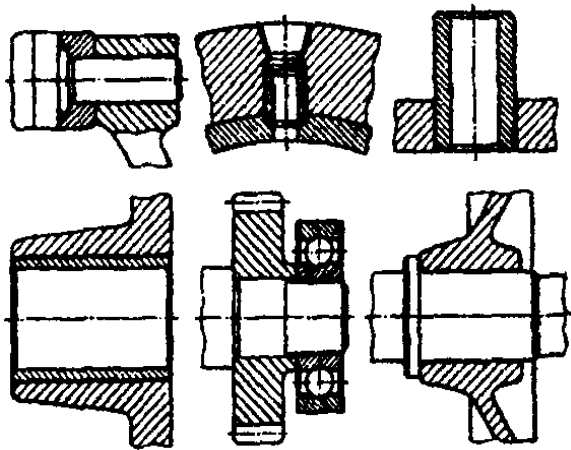


Рис. 14.27. Повздовжньо-пресові з'єднання деталей машин.

натягу з врахуванням мікрогеометрії необхідно знати Rz_B і Rz_O висоти мікронерівностей з'єднуваних поверхонь обох деталей. Якщо номінальний натяг у з'єднанні, як різниця діаметрів охоплюваної і охопленої деталей буде Δd , то розрахунковий натяг

$$\delta = \Delta d - 1,2 \cdot (Rz_1 + Rz_2).$$

При розробці технології складання з'єднань з гарантованим натягом технолог підбирає устаткування, що забезпечує необхідне

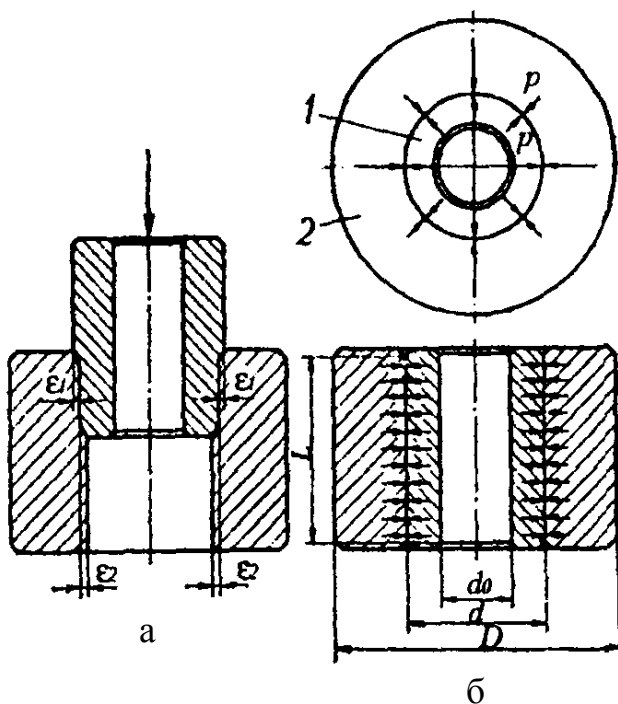


Рис. 14.29. Схема запресовування (а) і схема пресового з'єднання (б): 1 – натяг охоплюваної деталі; 2 – натяг охопленої деталі.

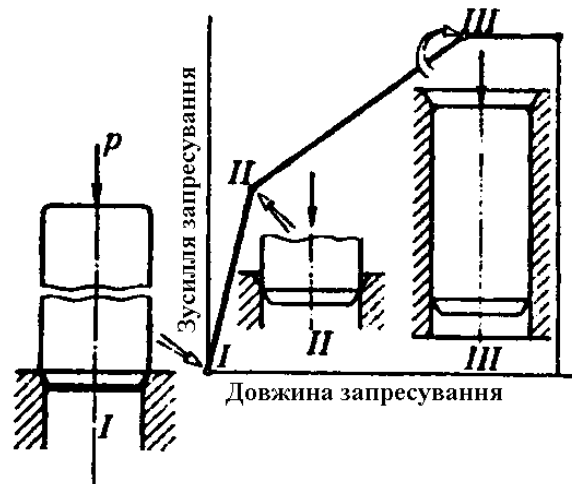


Рис. 14.28. Теоретична діаграма запресовування: I – орієнтація деталі; I-II – наживлення; II-III – запресовування.

зусилля запресовування. Найбільша сила запресовування P визначається формулою

$$P = f_{зан} \pi \cdot \rho \cdot d \cdot L,$$

де $f_{зан}$ - коефіцієнт тертя при запресовуванні; ρ - питомий тиск на поверхні контакту, $\text{кГс}/\text{мм}^2$; d - діаметр охоплюваної деталі, мм; L - довжина запресовування, мм.

Питомий тиск ρ на поверхні контакту визначається за формулою

$$\rho = \frac{1}{d} \cdot \frac{\delta \cdot 10^{-3}}{\left(\frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2} \right)},$$

де δ - розрахунковий натяг, мкм; E_1 і E_2 - модулі пружності ма-

теріалу охоплюваної і охопленої деталей;

$$C_1 = \frac{d^2 + d_0^2}{d^2 - d_0^2} - \mu_1, \quad C_2 = \frac{D^2 + d^2}{D^2 - d^2} + \mu_2.$$

Значення C_1 і C_2 знаходяться з врахуванням величини коефіцієнтів Пуассона μ_1 і μ_2 охоплюваної 2 і охопленої 1 деталей (рис. 14.29).

При запресовуванні застосовують різні мастила (машинні, сурепні чи авіаційні, ртутні й ін.), які охороняють поверхню від задирів, зменшують коефіцієнт тертя і знижують потрібну силу запресовування. Наприклад, при запресовуванні сталевого вала діаметром 60 мм у втулку з натягом 0,02 мм: коефіцієнт тертя без змащення дорівнює 0,39, сила запресовування 10000 кГс, відповідно при змащенні авіаційним мастилом - 0,331 і $\rho=8800$ кГс, при ртутному змащенні - 0,184 і $\rho=4900$ кГс. Застосовуються дисульфідомолібденові мастила MoS_2 , у вигляді порошку, олівців чи пасти. Коефіцієнт тертя із застосуванням цих мастил складає близько 0,1 - 0,05.

При складанні важко навантажених деталей, що вимагають високої міцності з'єднання, застосовують складання з нагріванням охоплюючої деталі чи складання з охолодженням охоплюваної деталі.

Міцність теплових посадок при передачі обертового моменту у 2-3 рази більше міцності звичайних пресових з'єднань. Пояснюється це тим, що при теплових посадках мікронерівності з'єднуваних поверхонь не зминаються, як при холодному запресовуванні, а мовби зчіплюються одна з одною. Температура, до якої слід нагрівати охоплюючу деталь визначається за формулою

$$t_H > \frac{d - d_1}{K_\alpha \cdot d_1},$$

де t - температура нагрівання; $\Delta = d - d_1$ - величина натягу (d - діаметр вала, d_1 - діаметр отвору); K_α - коефіцієнт лінійного розширення матеріалу охоплюючої деталі.

Результати дослідження М. П. Новикова дозволили встановити залежність натягу Δ від діаметра отвору d_1 :

$$\Delta = 0,015 + 0,001 \cdot d_1.$$

Приймаючи зміну натягу Δ згідно зазначеної закономірності, мінімальна температура нагрівання охоплюючої деталі

$$t_H = \frac{0,015}{K_\alpha d_1} + \frac{0,001}{K_\alpha} = \frac{1}{K_\alpha} \cdot \left(\frac{0,015}{d_1} + 0,001 \right).$$

Для сталевих деталей ця залежність може бути спрощена:

$$t_H = \left(\frac{1350}{d_1} + 90 \right).$$

Підрахована за формулами температура нагрівання повинна бути збільшена на 15 - 30%, щоб компенсувати часткове охолодження деталі в процесі її встановлення перед запресовуванням. Однак максимальна температура нагрівання не повинна перевищувати 350 - 370°C.

Температура охолодження t_0 охоплюваної деталі визначається формулою

$$t_0 = \frac{\Delta + \delta}{K_\alpha \cdot d},$$

де Δ - натяг; δ - мінімальний зазор.

14.5.2. СКЛАДАННЯ ВУЗЛІВ З ПІДШИПНИКАМИ КОТІННЯ

Підшипники котіння монтують по двох нерухомих посадках - внутрішнього кільця з валом і зовнішнього з корпусом.

Напресовування підшипника на вал чи встановлення його з натягом в отвір корпусу викликає деформацію кілець.

Якщо обидва кільця підшипника змонтувати з натягом, то внаслідок розширення внутрішнього і стиску зовнішнього кілець, кульки чи ролики можуть бути затиснені. Для підшипників середнього розміру зазор між кульками і кільцями коливається в межах 5- 25 мкм. Кільця підшипника працюють в різних умовах. Зовнішнє кільце знаходиться під дією постійного радіального навантаження, тому невелика ділянка бігової доріжки кільця інтенсивно спрацьовується. Для зменшення цього спрацювання бажано, щоб при складанні зовнішнього кільця з корпусом була обрана посадка, що дозволяє цьому кільцю незначно повертатися.

Підшипники монтують у корпус звичайно після встановлення їх на вал. Кільця підшипників мають малу жорсткість, тому при складанні дуже важливо не допустити перекосу. Тому при встановленні підшипників на вал і корпус торці кілець використовуються як бази. Для надійного сполучення підшипника з валом і корпусом посадочні місця повинні бути оброблені із шорсткістю поверхні $R_a=1,25 \div 0,32$ мкм. Овальність і конусність допускаються не більш 0,5 допуску на

діаметр для підшипників нормальної точності і 0,25 допуску – для підшипників підвищеної точності класів А і С.

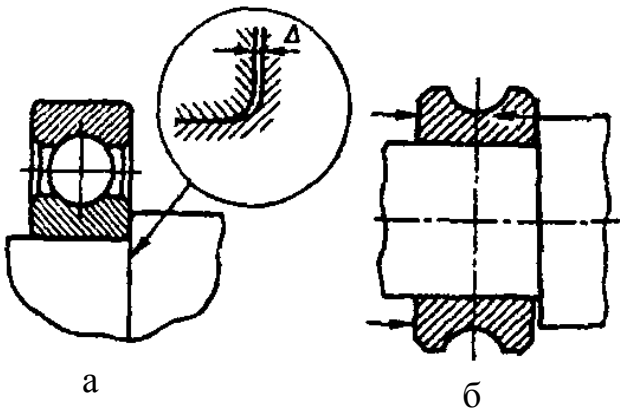


Рис. 14.30. Посадка підшипника на вал до упора в торець.

цього напресовують на вал до упора в торець. Сторона підшипника з заводським клеймом повинна бути зовні. Після запресовування підшипника на вал варто переконатися в тому, що кульки його не затиснені. Зовнішнє кільце повинне обертатися рівномірно, без заїдання. Перевіряється також щільність зіткнення торця кільця з буртиком (рис. 14.30).

При встановленні у вузлі декількох підшипників на валу, один з них фіксується від осьових зсувів на валу й у корпусі. Інші підшипники фіксуються тільки на валу чи тільки в корпусі. Це необхідно для компенсації можливих неточностей складання і виготовлення, а також щоб уникнути заклинювання кульок при температурних деформаціях деталей. Для компенсації температурних деформацій між кришкою і зовнішнім кільцем підшипника передбачається зазор Δ (рис. 14.31). При $L=1000$ мм зазор $\Delta > 1$ мм.

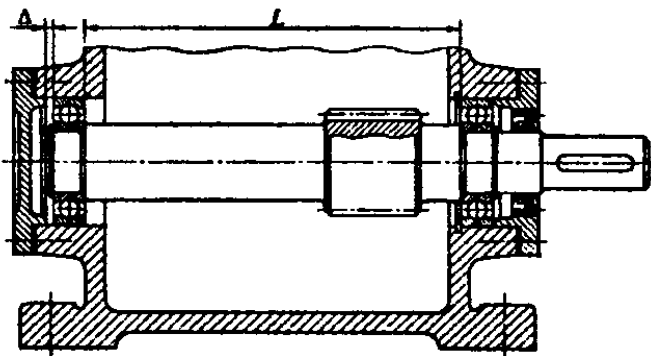


Рис. 14.31. Зазор, який забезпечує можливість осьових переміщень деталей при нагріванні в процесі роботи.

Складання підшипників котіння здійснюють у такий спосіб. Підшипник ретельно промивають у 6%-ному розчині масла з бензином чи в антикорозійних водяних розчинах. Після промивання зовнішнє кільце повинне рівномірно, без найменших заїдань, обертатися. Потім промитий підшипник нагрівають до температури 60 - 100°C в масляній ванні протягом 15-20 хв і після

У спарених підшипниках котіння створюється попередній натяг при тиску на зовнішню опору

$$A_{0\min} = 0,04zd_{ш}^2,$$

де z - число кульок у підшипнику; $d_{ш}$ - діаметр кульок, мм.

Необхідний натяг при тиску $A_{0\min}$ здійснюється за допомогою розпірних втулок 1 і 2 різних

довжин (рис. 14.32). Визначення різниці довжин втулок, що забезпечують необхідний натяг у спарених підшипниках, роблять за допомогою спеціальних пристроїв (рис. 14.33).

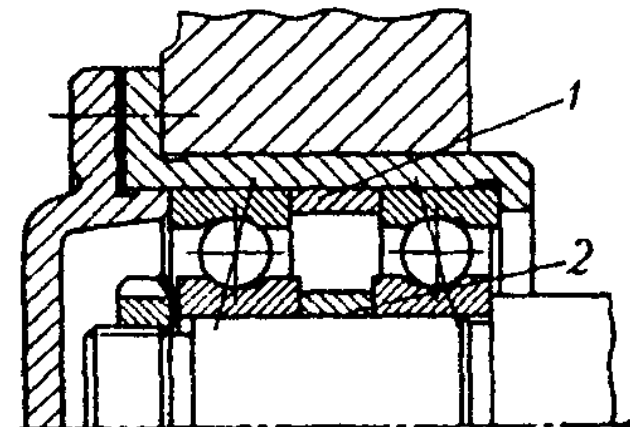


Рис. 14.32. Схема вузла з двома спареними підшипниками

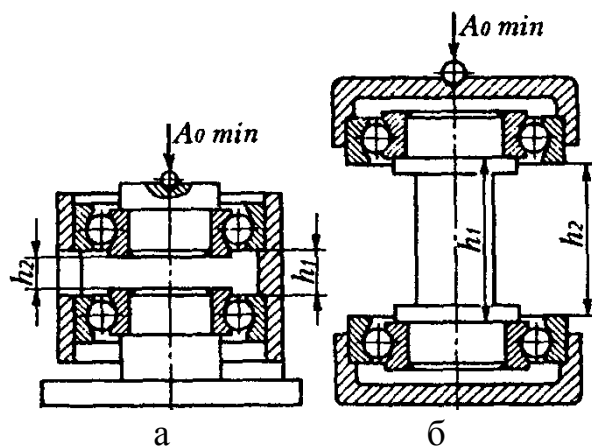


Рис. 14.33. Схема визначення довжин розпірних втулок

Пари таких підшипників встановлюються на оправці і навантажуються на зовнішні чи внутрішні кільця, в залежності від конструкції вузла, силою A_{0min} . Здійснюється вимірювання відстаней між торцями кілець і визначається різниця довжин втулок.

Р О З Д І Л 15

С

СТАНДАРТИЗАЦІЯ І СЕРТИФІКАЦІЯ МАШИНОБУДІВНОЇ ПРОДУКЦІЇ

15.1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Конкурентноздатна продукція машинобудівних заводів повинна бути стандартизована. До неї висуваються вимоги по технологічності, що визначають мінімальні витрати при виготовленні, експлуатації і ремонті; вимоги по точності, взаємозамінності, міцності, твердості, теплостійкості, стійкості проти спрацьовування; вимоги економічного використання сировини, матеріалів, палива, енергії і трудових ресурсів при виробництві машин; вимоги по електробезпечності, радіаційній безпеці, аварійній сигналізації.

У залежності від характеру машинобудівної продукції встановлюється програма випробувань на надійність, вирішується їх періодичність, правила й умови приймання виробів.

Стандартизація широко поширена у всіх промислово розвинутих країнах. Стандарти мають силу закону - вони обов'язкові для всіх підприємств і організацій.

Застосування стандартизації в машинобудуванні пов'язано з особливостями розвитку цієї галузі промисловості. Вона характеризується ускладненням конструкцій машин; зростаючими робочими параметрами (швидкостями, тисками, температурами й ін.); автоматизацією процесів обробки і підвищеними вимогами до їхньої надійності, довговічності, продуктивності, точності й економічності. З іншого боку, високі темпи науково-технічного прогресу приводять до більш швидкого морального старіння техніки, до необхідності її більш частішої змінюваності. Науково-технічний прогрес машинобудування в сучасних умовах характеризується зниженням їхньої металоемності і застосуванням нових технологічних процесів із широким використанням комп'ютерних технологій у кооперації з багатьма заводами. В умовах ринкової економіки продукція машинобудівних за-

водів повинна відповідати рівню кращих вітчизняних і закордонних зразків.

В умовах широко розгалужених господарських зв'язків, спеціалізації і кооперування в машинобудівній промисловості проблема підвищення якості й економічності виробництва машин здобуває міжгалузевий характер. Якість кінцевого виробу залежить від якості матеріалів, заготовок, покупних і одержуваних по кооперації вузлів і деталей. Це викликає необхідність ув'язування вимог до якості на кожній стадії життєвого циклу виробу. Це ув'язування найбільше успішно здійснюється при програмно-цільовому методі планування, розробці і впровадженні стандартів, що дозволяють встановити вимоги до якісного рівня виробів і його складових частин, матеріалів.

Постійно розробляючи і впроваджуючи стандарти і систематично переглядаючи діючі, можна планомірно підвищувати якість продукції. Така керуюча роль стандартизації передбачається планами розвитку народного господарства високорозвинених промислових країн.

Підвищення технічних характеристик, надійності і довговічності машин, приладів і інших виробів передбачається в планах державної стандартизації, а потім реалізується в стандартах. Проведена при цьому уніфікація і стандартизація оптимальних конструкцій машин і їхніх вузлів і деталей, забезпечення повної взаємозамінності створюють умови для подальшої спеціалізації і кооперування в промисловості, для випуску високоякісних виробів і економічності їхнього виробництва.

Іншою причиною, що вимагає стандартизації в машинобудуванні, є широкі наукові й економічні зв'язки між країнами. Без проведення уніфікації і стандартизації об'єктів неможливо забезпечити ефект міжнародної кооперації в промисловості.

У метрологічній службі машинобудівного заводу 70–80% усіх вимірювань складають вимірювання геометричних величин. Підвищення точності характеристик засобів вимірювання геометричних величин диктується потребами машинобудування.

Необхідність створення приладів високої точності пояснюється вимогами, що висуваються до точності деталей, які виготовляються. Підвищення якості продукції, що випускається, неможливо без забезпечення єдності вимірювань.

Закон України від 11 лютого 1998 р. “Про метрологію і метрологічну діяльність” визначає правові основи забезпечення єдності вимірювань.

15.2. ОРГАНИ КЕРУВАННЯ І СЛУЖБИ СТАНДАРТИЗАЦІЇ

З метою встановлення єдиних організаційних форм і методів проведення робіт зі стандартизації на всіх рівнях керування народним господарством розроблена Державна система стандартизації (ДСС).

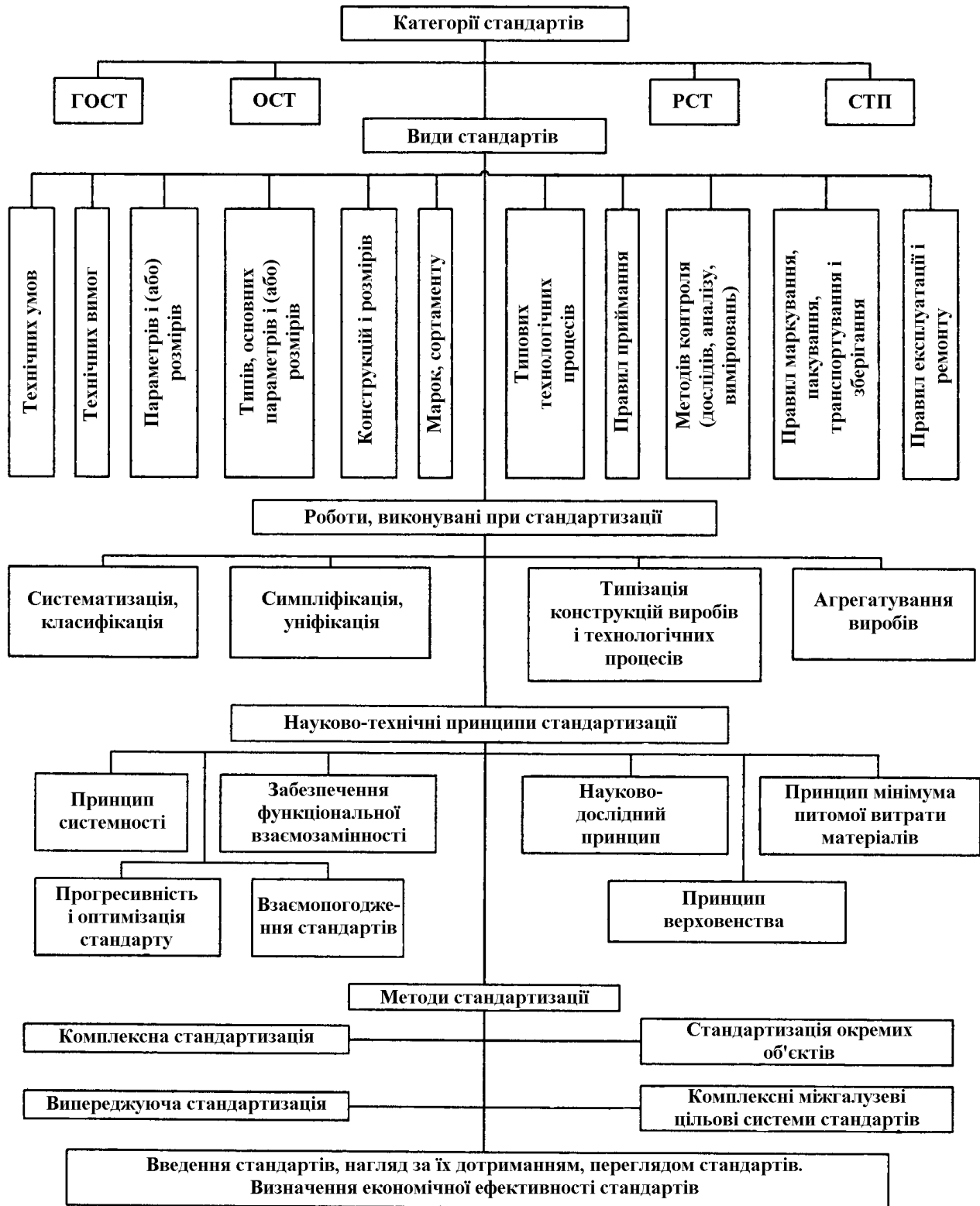


Рис. 15.1. Структура органів і служб стандартизації.

Державна система стандартизації встановлює структуру органів і служб стандартизації, їхні основні задачі, права й обов'язки (рис. 15.1). Система служб стандартизації побудована на основі керування народним господарством. Вона органічно з'єднує в єдине ціле усі ланки народного господарства, погоджує плани робіт із стандартизації з перспективними планами розвитку всіх галузей промисловості.

Центральним органом державного керування стандартизацією в країні є Державний комітет України по стандартах метрології і сертифікації (Держстандарт України), що проводить єдину технічну політику в області стандартизації, метрології, якості і сертифікації в країні, спрямовану на вдосконалювання виробництва і керування, поліпшення якості продукції і зміцнення обороноздатності країни.

Основними нормативно-технічними документами, що встановлюють єдину організаційно-методологічну основу проведення робіт зі стандартизації, є комплекс стандартів (ДСТУ 1), що визначає єдиний порядок планування, розробки, оформлення, затвердження, реєстрації, видання, звертання і впровадження всіх категорій стандартів, а також нагляду за їх впровадженням і дотриманням.

Головна мета ДСС - за допомогою стандартів, що встановлюють показники, норми і вимоги, що відповідають передовому рівню вітчизняної і закордонної науки, техніки і виробництва, сприяти створенню конкурентоздатної високоякісної продукції.

Недотримання вимог стандартів, затримка впровадження нових стандартів приносять великі матеріальні збитки народному господарству. У зв'язку з цим важливе значення має державний нагляд за впровадженням і дотриманням стандартів і технічних умов. Державний нагляд за дотриманням стандартів повинен проводитися на стадіях розробки (проектування), виробництва, випробування, збереження, транспортування і ремонту продукції. Нагляд за впровадженням і дотриманням стандартів є одним з напрямків нагляду за якістю продукції, яка випускається.

15.3. МЕТОДИ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ В СТАНДАРТИЗАЦІЇ ПРОДУКЦІЇ

Основними методами, що використовуються в роботах по стандартизації продукції, є: класифікація, селекція й уніфікація.

Класифікація продукції полягає в її систематизації і групуванні за найбільш істотними ознаками, таким, як геометрична форма і роз-

міри, матеріали і конструктивно-технологічні рішення.

Селекція продукції являє собою добір найбільш ефективних видів продукції, що задовольняють потреби людей і володіють оптимальними способами виробництва (відтворення). Іншою стороною селекції є скорочення різновиду продукції до кількості технічно й економічно доцільного для задоволення потреб людей без проведення додаткових проектно-конструкторських робіт.

Уніфікація продукції складається в раціональному скороченні числа типів і параметричних (типорозмірних) рядів продукції однакового чи близького цільового (функціонального) призначення. Вона супроводжується типізацією шляхом комбінації (сполучення) найбільш вдалих конструктивно-технологічних рішень.

15.4. ЗАВОДСЬКА СТАНДАРТИЗАЦІЯ

Роботу зі стандартизації, здійснювану в масштабах підприємства, заводу прийнято називати заводською стандартизацією. Вона впливає на всі сторони діяльності заводу.

Структурна схема розробки заводських стандартів подана в додатку № 16.

Робота зі стандартизації сприяє зниженню собівартості, підвищенню якості продукції, скороченню термінів підготовки виробництва, підвищує рівень взаємозамінності виробів; полегшує матеріально-технічне постачання. Шляхом уніфікації зменшують номенклатуру матеріалів, комплектуючих виробів; спрощують планування виробництва; скорочують обсяг документації.

Для заводів із предметною спеціалізацією форма робіт із стандартизації однакова і не залежить від того, яку продукцію випускає завод, - прилади чи автомобілі. Робота із стандартизації на цих заводах будується за одним принципом.

Заводи з технологічною спеціалізацією (ливарні, ковальські, механічні, складальні й ін.) мають різний зміст і структуру робіт із стандартизації. Наприклад, для складального цеху різко скорочується обсяг робіт із стандартизації об'єктів виробництва, тому що цех одержує готові деталі з механічних цехів, а в ряді випадків вузли і деталі надходять по кооперації з інших заводів. Основними об'єктами стандартизації тут є два технологічних процеси: складання й випробування.

Для заводської стандартизації найбільш доцільний розподіл ви-

робництва на дослідне і серійне. При переході від дослідного виробництва до серійного центр ваги зміщується від стандартизації об'єкта виробництва до стандартизації устаткування, технологічного оснащення, технологічних процесів ін.

На заводах розробляються три види стандартів підприємства:

- **обмежувальний стандарт** - створюється на основі державних чи галузевих стандартів, у яких обмежується застосування на даному заводі зазначених у цих стандартах деяких типів, наприклад, марок матеріалу чи розмірів, з врахуванням потреб даного заводу;
- **доповнюючий стандарт** - розробляється в тих випадках, коли необхідно доповнити державні чи галузеві стандарти;
- **оригінальні стандарти** - розробляються в тих випадках, коли на даний об'єкт відсутні державні, республіканські чи галузеві стандарти.

15.5. СТРУКТУРА І ФУНКЦІЇ СЛУЖБ СТАНДАРТИЗАЦІЇ НА ЗАВОДАХ

На машинобудівних заводах існують різні організаційні системи побудови служб стандартизації: централізована, децентралізована і змішана.

При централізованій системі на заводі створюється відділ стандартизації, що підпорядковується головному інженеру. При даній формі організації усувається паралелізм у роботі, полегшується постачання цехів і відділів заводу стандартами й іншими нормативними матеріалами, скорочується число співробітників, що займаються питаннями стандартизації на заводі.

При децентралізованій системі створюються окремі бюро чи групи стандартизації у відділах головного конструктора, головного технолога, головного металурга і так далі. Ці відділи підпорядковуються начальникам відповідних відділів і ведуть роботу тільки у визначеному напрямку. При цій системі здійснюється більш тісний зв'язок працівників, що займаються стандартизацією, з працівниками відділів і служб. Однак децентралізована система не забезпечує за єдиною методикою роботу із стандартизації, що приводить до дублювання цих робіт.

При змішаній системі на заводі організується невеликий центральний відділ стандартизації, що здійснює загальне методичне керівництво, планування і контроль за діяльністю груп, що входять до

складу різних служб заводу і підлеглих керівництву цих служб. Працівники по стандартизації окремих служб центральному відділу не підпорядковується, що значно знижує роль центрального відділу як керівного і координуючого центра.

Держстандартом розроблене типове положення про відділ стандартизації на заводах. Відповідно до цього положення основним завданням служб по стандартизації є здійснення контролю за впровадженням державних, галузевих, заводських стандартів і технічних умов у виробництво.

Основними елементами контролю є:

- перевірка необхідності розробки спеціальних креслень і їхнє оформлення; контроль застосування стандартних деталей і вузлів;
- перевірка використання уніфікації і конструктивної наступності в розроблювальних конструкціях;
- перевірка комплектності документації;
- перевірка правильності оформлення креслень; перевірка відповідності стандартам правильності простановки, розмірів, посадок, різьб і інших конструктивних елементів.

У технічних документах повинна бути забезпечена однаковість стилю, лаконічність викладу, правильність посилань на літературу і стандарти, правильність термінології і позначень.

Основними функціями служб стандартизації на заводах є:

- систематичний контроль за впровадженням і дотриманням державних, галузевих стандартів, стандартів підприємства і технічних умов;
- розробка і впровадження стандартів підприємств і технічних умов;
- організація і здійснення нормоконтролю технічної документації;
- планування робіт зі стандартизації на підприємстві;
- визначення й облік економічної ефективності заходів в області стандартизації;
- класифікаційний облік і шифровка заводської технічної документації;
- забезпечення всіх служб підприємства необхідною нормативною документацією по стандартизації;
- підготовка висновків по проектах державних і галузевих стандартів;
- організація робіт з уніфікації, типізації об'єктів і засобів вироб-

- ництва, технологічних процесів і технічної документації й ін.;
- організація обліку, збереження, звертання і внесення змін в усі екземпляри стандартів і технічних умов;
 - організація і планування робіт із стандартизації і контролю за їхнім виконанням.

При впровадженні стандартів керуються наступними загальними положеннями:

- впровадження здійснюється з моменту зародження нових конструкцій - у дослідно-конструкторських бюро і відділах, у дослідних цехах заводів;
- одночасно з впровадженням організується облік застосування діючих стандартних виробів і деталей;
- при необхідності розробляються і застосовуються заводські стандарти.

15.6. НОРМАТИВНІ ДОКУМЕНТИ ПО СТАНДАРТИЗАЦІЇ

Державні стандарти України (ДСТУ) містять вимоги, що стосуються забезпечення безпеки машинобудівної продукції для здоров'я людей і гігієни праці, забезпечення вірогідності і єдності вимог при розробці, виготовленні, експлуатації і збереженні машинобудівної продукції. Вимоги державних стандартів підлягають безумовному виконанню на всій території України.

Галузеві стандарти України (ГСТУ) розробляються на продукцію, на яку відсутній державний стандарт України чи при необхідності потрібно встановити нові вимоги, що перевищують чи доповнюють вимоги державних стандартів.

Стандарти науково-технічних і інженерних товариств і союзів України (СГТУ) розширюють результати фундаментальних і прикладних досліджень, отриманих в окремих галузях знань чи у сферах професійних інтересів.

Технічні умови (ТУ) є нормативним документом, що визначає необхідні експлуатаційні умови продукції, що випускається, для якої відсутній державний чи галузевий стандарт.

Стандарт підприємства (СТП) розробляється на продукцію чи на технологічний процес, що реалізуються на конкретному машинобудівному заводі.

Крім зазначених, до категорії нормативних документів по стан-

дартизації варто віднести:

Міждержавні стандарти (ГОСТ).

Регіональні стандарти (ст. СЕВ).

Міжнародні стандарти (ISO).

Республіканські стандарти (РСТУ).

Міжнародні, міждержавні, регіональні і національні стандарти інших країн в Україні застосовують у рамках міжнародних договорів у встановленому Держстандартом України порядку.

Машинобудівна продукція підприємств України чи громадян – суб'єктів підприємницької діяльності не підлягає реалізації по призначенню, якщо вона не відповідає вимогам, передбаченим діючими стандартами чи технічними умовами.

Відповідальність за відповідність нормативних документів вимогам актів діючого законодавства, а також за їхній науково-технічний рівень несуть розроблювачі й організації, що провели їхню експертизу, а також організації, що затвердили ці документи. Таким чином, стандарти є нормативною базою керування якістю продукції і сертифікації.

15.7. НАЦІОНАЛЬНІ СИСТЕМИ СТАНДАРТІВ

У машинобудуванні діють наступні національні системи стандартів:

ЕСКД - єдина система конструкторської документації. Ця система забезпечує взаємний обмін конструкторською документацією між країнами СНД, галузями промисловості й окремими підприємствами, розширює уніфікацію продукції, спрощує їхню номенклатуру, а так само забезпечує єдність графічних зображень, механізацію й автоматизацію розробки документів. Система ЕСКД забезпечує готовність промисловості до організації виробництва будь-якого виробу на будь-якому підприємстві в найкоротший термін.

ЕСТД - єдина система технологічної документації. Ця система встановлює обов'язковий порядок розробки, оформлення і збереження усіх видів технологічної документації на машино- і приладобудівних підприємствах (заводах) країни для виробництва, транспортування, відновлення і ремонту виробів. На основі технологічної документації здійснюють планування, підготовку й організацію виробництва, встановлюють зв'язки між об'єктами і цехами підприємства, а також між виконавцями (конструкторами, технологами, майстрами,

робітниками й ін.).

ЕСТД встановлює єдине правило розробки, оформлення і збереження технологічної документації, сприяє використанню прогресивних способів машинної обробки і полегшує передачу документації на інші підприємства.

ДСВ - державна система забезпечення єдності вимірювань. У сучасній промисловості витрати праці на виконання вимірювання складають у середньому 10% від загальних витрат праці на стадіях виробництва й експлуатації продукції. В окремих галузях промисловості витрати на вимірювання досягають 40 - 50 % від загальних витрат. Вірогідність і точність вимірювань залежить від умов організації метрологічного забезпечення виробництва. Важливими складовими цієї системи є стандарти на засоби вимірювальної техніки, перевірку й атестацію вимірювальних засобів, на методику обробки результатів вимірювань.

ЕСТПВ - єдина система технологічної підготовки виробництва. Ця система містить комплекс міждержавних стандартів і галузевих систем технологічної підготовки виробництва, що забезпечують скорочення термінів підготовки виробництва, освоєння випуску продукції заданої якості, забезпечення чіткої виробничої структури, економії трудових, матеріальних і фінансових ресурсів.

Типізація технологічних процесів є одним з важливих принципів системи технологічної підготовки виробництва і засобів технологічного оснащення на основі їхньої класифікації. Впровадження цього принципу дозволяє в кілька разів скоротити терміни підготовки виробництва нових виробів і обсяг технологічної документації.

Групові технологічні процеси базуються на використанні прогресивних заготовок, передових методів обробки деталей, стандартних засобів технологічного оснащення, прогресивних форм організації виробництва.

СРПВ - система розробки і постановки продукції на виробництво. Ця система визначає порядок проведення робіт з організації виробництва і створенню продукції високої якості. Система охороняє заводи від випуску застарілої, малоефективної, невідпрацьованої продукції, скорочує термін розробки, освоєння і своєчасного відновлення продукції.

Стандарти даної системи регламентують:

- порядок проведення науково-дослідних, експериментально-конструкторських і технологічних робіт;

- вимоги до продукції, яку необхідно розробити, освоїти випуск і підтримувати ці вимоги на всіх стадіях життєвого циклу продукції, а також зняти її з виробництва;
- вимоги до зразків-еталонів товарів і правила їхнього узгодження і затвердження;
- порядок зняття застарілої продукції з врахуванням інтересів споживачів і своєчасної заміни такої продукції більш сучасною.

ССБП - система стандартів безпеки праці. Ця система встановлює єдині правила по безпеці людей у процесі роботи. Введення системи в дію забезпечує значне зниження виробничого травматизму і професійних захворювань.

15.8. ПОРЯДОК ВПРОВАДЖЕННЯ СТАНДАРТІВ І ДЕРЖАВНИЙ НАГЛЯД ЗА ЇХ ДОТРИМАННЯМ

Стандарти вважаються впровадженими на підприємстві якщо їхньою сферою діяльності забезпечується стабільність якості виробленої продукції. Впровадження стандартів здійснюється відповідно до плану основних організаційно-технічних заходів. Цей план передбачає:

- перегляд, внесення змін чи скасування діючих стандартів і розробку нових нормативно-технічних документів;
- заміну технологічних процесів, режимів роботи, підвищення якості виробленої продукції;
- реконструкцію, розширення і будівництво нових виробничих потужностей, організацію спеціалізованих виробництв.

Після завершення роботи з впровадження стандарту оформляється акт, що затверджується керівником підприємства.

Державний нагляд за впровадженням і дотриманням стандартів здійснюється відповідно до Декрету Кабінету Міністрів України “Про державний нагляд за дотриманням стандартів, норм і правил і відповідальність за їхнє порушення”. Об’єктами держнагляду є:

- продукція виробничо-технічного призначення, товари народного споживання й ін., у тому числі продукція, що пройшла сертифікацію;
- на відповідність стандартам, нормам і правилам;
- продукція експорту - на відповідність стандартам чи окремим вимогам, що обумовлені контрактом (договором).

При порушенні вимог стандартів органи держнагляду дають вка-

зівки на усунення виявлених недоліків, забороняють відвантаження замовнику недоброякісної продукції, в окремих випадках порушують питання про залучення до адміністративної чи кримінальної відповідальності громадян, винних у випуску недоброякісної продукції. Одночасно з проведенням держнагляду здійснюється і відомчий нагляд за впровадженням і дотриманням стандартів.

15.9. СЕРТИФІКАЦІЯ ПРОДУКЦІЇ

Сертифікація є найважливішим механізмом керування якістю продукції, вона дає споживачу підтвердження про безпеку, забезпечує контроль за відповідністю екологічної чистоти, а також підвищує її конкурентоздатність.

У сучасному світі відбувається поворот від оцінки якості продукції до оцінки систем керування якістю на підприємствах, що виробляють цю продукцію.

Сертифікація дозволяє оцінити відповідність продукції встановленим вимогам. Контроль параметрів і випробування підтверджують відповідність машинобудівної продукції, що випускається, стандарту ISO серії 9000 і 10000.

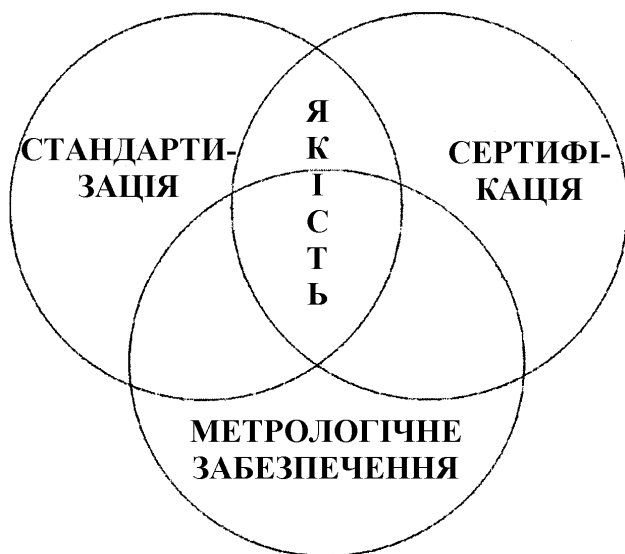


Рис. 15.2. Схема забезпечення якості продукції.

Система забезпечення якості включає: стандартизацію, метрологічне забезпечення і сертифікацію. На рис. 15.2 представлена схема забезпечення якості продукції.

По визначенню ISO 8402-86, якість - сукупність властивостей і характеристик продукції, що додають їй здатність задовольняти встановленим чи пропонуваним потребам, а керування якістю - діяльність визначеного характеру, що використовується для задоволення вимог до якості.

Підтвердженням якості є сертифікат, виданий органом, незалежним ні від виробника, ні від споживача. Сертифікат оформляється на підставі позитивних результатів випробувань за стандартними методиками.

Держстандарт України є центром по організації робіт із здійс-

нення державного контролю і нагляду за дотриманням суб'єктами господарської діяльності обов'язкових вимог з стандартизації, метрології і сертифікації продукції.

Раніше вважалося, що для успіху виробника досить того, щоб продукції було багато і вона була дешевою. У період ринкових відносин виникла конкуренція не цін, а якості, тому що більшість покупців, приймаючи рішення про купівлю продукції, у першу чергу звертають увагу на її якість.

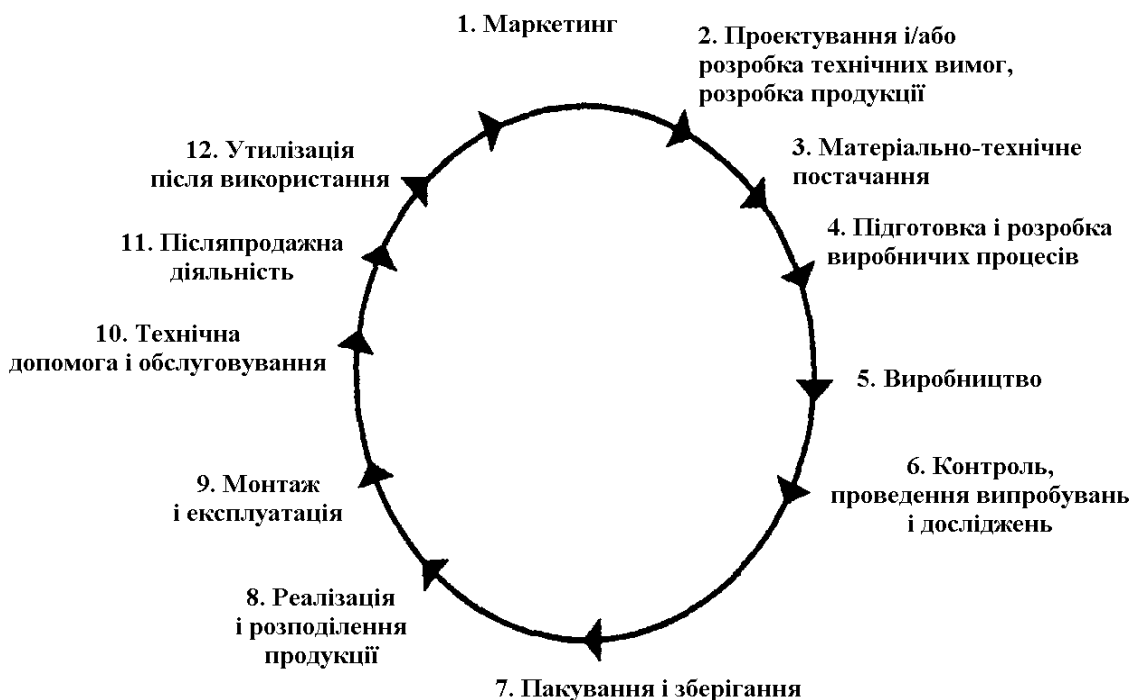


Рис. 15.3. Стадії життєвого циклу продукції.

Конкурентоздатною може стати лише та продукція, що має при інших рівних показниках меншу виробничу вартість (тобто ціну) і високу якість.

З підвищенням якості продукції зростають витрати на її виготовлення. Однак новий підхід до створення продукції високої якості полягає у вишукуванні нових рішень, що забезпечують необхідну якість при мінімальних витратах. Це рішення може бути реалізоване при створенні високих комп'ютерних технологій.

Алгоритм виготовлення і контролю конкурентоздатної продукції представлений у додатку № 17. Проблема якості може бути вирішена тільки на основі чіткої системи постійно діючих заходів. На сучасному етапі прийнята система якості (СЯ), встановлена в міжнародних стандартах - ISO серії 9000.

Відповідно до цієї системи: керування якістю охоплює всі стадії

й етапи життєвого циклу продукції.

Життєвий цикл продукції являє собою сукупність взаємозалежних процесів зміни стану продукції при її створенні і використанні.

Існує шість стадій життєвого циклу продукції: маркетинг - проектування - виробництво - звертання - експлуатація (споживання) - утилізація (рис. 15.3). Окремі стадії поділяються на етапи і процеси.

На етапі маркетингу вивчаються вимоги замовника продукції. На етапі проектування розробляється продукція, що відповідає всім вимогам споживача. На стадії виробництва забезпечується рівень якості, закладений у проекті. При звертанні повинна бути збережена сформована якість у період транспортування, збереження, підготовки до продажу і реалізації.

На стадії експлуатації до керування якістю підключається безпосередньо споживач продукції. Від того, наскільки він буде грамотно використовувати (експлуатувати) продукцію, буде залежати її якість і термін служби. На стадії утилізації необхідно попередити шкідливий вплив використаної продукції на навколишню природу, середовище.

Етапом утилізації не закінчується діяльність підприємства. До цього терміну підприємство починає вивчати передбачувані потреби, уточнювати поточні потреби після маркетингу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Якимов О.В., Новиков Ф.В., Новиков Г.В., Якимов О.О. Високопродуктивне шліфування: Навчальний посібник. – К.: ІСДО, 1996. – 180 с.
2. Якимов О.В., Гусарев В.С., Якимов О.О., Лінчевський П.А. Технологія автоматизованого машинобудування: Підручник. – К.: ІСДО, 1994. – 400 с.
3. Новиков Ф.В., Якимов А.А., Новиков Г.В. и др. Тепловые и механические процессы при резании металлов: Учебное пособие. – Одесса: ОГПУ, 1997. – 179 с.
4. Якимов А.В., Новиков Ф.В., Новиков Г.В., Якимов А.А. Теория и прогрессивные технологии глубинного шлифования: Учебное пособие. – Харьков, 1995. – 102 с.
5. Воронцов А.П., Мурзаков Х.Е. Влияние тепловых деформаций на технологическую надежность токарно-револьверных станков. //Станки и инструменты. – 1982. – №10. – 5 с.
6. Пронников А.С. Надежность машин. – М.: Машиностроение, 1978. – 480 с.
7. Маталин А.А. Технология машиностроения: //Учебник. – Л.: Машиностроение. Ленинград. отд-ние, 1985. – 496 с.
8. Якимов О.В., Новиков Ф.В., Новиков Г.В., Якимов О.О. Алмазна обробка: Учбовий посібник – К.: ІЗМН, 1996. – 168 с.
9. Якимов А.В., Смирнов Л.П., Бояршинов Ю.А. и др. Качество изготовления зубчатых колес. – М.: Машиностроение. –1979. –191с.
10. Якимов А.В., Слабодяник П.Т., Усов А.В. Теплофизика механической обработки: Учебное пособие. – К., Одесса: Лыбидь. – 1991. – 240 с.
11. Балакшин Б.С. Основы технологии машиностроения. – М.: Машиностроение, 1969. – 359 с.
12. Гельгаг Ю.И. Сборник задач и упражнений по технологии машиностроения. – М.: Высшая школа, 1986. – 268 с.
13. Мордвинов В.С., Пантюхова И.В., Подкорытова Р.Г. и др. Расчет технологических размеров и погрешностей установки заготовки: Учебное пособие. – Омск: ОПИ, 1979. – 79 с.
14. Зелинский А.Н. Основы математического моделирования: Учебное пособие. – К.: УМК. ВО, 1991. – 227 с.
15. Мордвинов Б.С. Исследование геометрических структур в применении методов теории графов // Известия вузов, Машиностроение, 1965, № 3.
16. Якимов А.В., Лінчевський П.А., Якимов А.А. Обоснование маршрута обработки и размерный анализ технологических процессов: Учебное пособие. – К.: НМК. ВО, 1993. – 128 с.
17. Якимов А.В., Гусарев В.С., Якимов А.А., Лінчевський П.А. Технологія автоматизованого машиностроения: Учебник. – К.: УСДО, 1993. – 440 с.
18. Маталин А.А. Точность механической обработки и проектирование технологических процессов. – М.: Машиностроение, 1970. – 390 с.

19. Сипайлов В.Л. Тепловые процессы при шлифовании и управление качеством поверхности. – М.: Машиностроение, 1978. – 167 с.
20. Якимов А.В., Новиков Ф.В., Новиков Г.В., Якимов А.А. Качество и производительность абразивно-алмазной обработки: Учебное пособие. – Одесса: ОГПУ, 1999. – 212 с.
21. Карслоу К. и Егер Д. Теплопроводность твердых тел. – М.: Наука, 1964. – 487 с.
22. Резников А.Н. Теплофизика резания. – М., Машиностроение, 1969. – 288 с.
23. Маталин А.А. Технология машиностроения: Учебник. – Л.: Машиностроение, 1985. – 496 с.
24. А. С. № 948647 (СССР). Шлифовальный круг / Прокофьев В.М., Якимов А.В. Оpubл. в БИ №29 от 07.08.82.
25. Рыжов Э.В. Технологические методы повышения износостойкости деталей машин. – К.: Наукова думка, 1984. – 272 с.
26. Якимов А.В. Прерывистое шлифование. – К.: Вища школа, 1986. – 173 с.
27. Серебровский В.Б. Качество поверхности деталей машин. – М. – Свердловск, 1962. – 56 с.
28. Якимов А.В., Ларшин В.П., Якимов А.А. и др. Оптимизация технологических процессов в машиностроении: Учебное пособие. – К., 1995. – 105 с.
29. Рыжов Э.В., Аверченков В.И. Оптимизация технологических процессов механической обработки. – К.: Наукова думка, 1989. – 187 с.
30. Ларшин В.П. Исследование производительности шлифования резьбы ходовых винтов и разработка предпосылок для автоматизации процесса. – Дис. ... канд. техн. Наук, Одесса, 1980. – 230 с.
31. Капустин Н.М. Технология производства гусеничных и колесных машин: Учебное пособие для машиностроительных вузов. – М.: Машиностроение, 1978. – 344 с.
32. Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования. – М.: Машиностроение, 1975. – 176 с.
33. Силин С.С., Хрульков В.А., Лобанов А.В. и др. Глубинное шлифование деталей из труднообрабатываемых материалов. – М.: Машиностроение, 1984. – 64 с.
34. Общемашиностроительные нормативы времени на слесарную обработку и слесарно-сборочные работы по сборке машин. Серийное производство. – М.: Машиностроение, 1968. – 219 с.
35. Пуховский Е.С. Технологические основы гибкого автоматизированного производства: Учебное пособие. – К.: Вища школа, 1989. – 240 с.
36. Гибкие производственные комплексы // Под редакцией Беянина П.Н. и Лещенко В.А. – М.: Машиностроение, 1984. – 384 с.
37. Макаров И.М. Системные принципы создания гибких автоматизированных производств. – М.: Высшая школа, 1986. – 175 с.
38. Справочник технолога №2. // Под редакцией Косиловой А.Г. и Мещерякова Р.К. – М.: Машиностроение, 1986. – 495 с.

39. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов. – М.: Машиностроение, 1975. – 224 с.
40. Сикора Е. Оптимизация процессов обработки резанием с применением вычислительных машин. – М.: Машиностроение. 1983. – 226 с.
41. Кулаков Ю.М., Хрульков В.А., Дунин-Барковский И.В. Предотвращение дефектов при шлифовании. – М.: Машиностроение, 1975. – 144 с.
42. Воробьев Б.М., Бурчаков В.С., Шибиев Е.В. Надежность технологических схем и процессов в угольных шахтах. – М.: Недра, 1975. – 238 с.
43. Крагельский И.В. Трение и износ. – М.: Машгиз, 1962. – 383 с.
44. А.С. №1117194 (СССР) Способ шлифования детали / Свирщев В.И., Степанов Ю.Н.. Заявл. 08.07.83 №361577/25-08, опубл. в БИ, 1984. №37.
45. Свирщев В.И. Способ исключения возникновения остаточных напряжений в поверхностном слое шлифуемых деталей //Совершенствование процессов абразивно-алмазной и упрочняющей обработки в машиностроении. – Пермь: ППИ, 1987. – 123 с.
46. Подзей А.В. Технологические остаточные напряжения. – М.: Машиностроение, 1973. – 216 с.
47. Якимов А.В., Свирщев В.И., Паршаков А.Н., Ларшин В.П. Управление процессом шлифования. – К.: Техника, 1983. – 184 с.
48. Бояршинов Ю.А. Разработка и исследование способов повышения качества поверхностного слоя при шлифовании высокоточных зубчатых колес. - Дис. ... канд. техн. наук, Пермь: ППИ, 1970. – 250 с.
49. Дальский А.М. Технологическое обеспечение надежности высокоточных деталей. – М.: Машиностроение, 1975. – 224 с.
50. Ящерицын П.И., Рыжов Э.В., Аверчиков В.И. Технологическая наследственность в машиностроении. – Минск: Наука и техника, 1977. – 225 с.
51. Гаркунов Д.Н. Триботехника: Учебник для студентов вузов – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение. 1989. –328 с.
52. Бердник В.В., Мамай А.В. Электроабразивное шлифование.– К.: Техника. – 94 с.
53. Бирюков Б.Н. Электрофизический и электрохимический методы размерной обработки. – М.: Машиностроение, 1981. –127 с.
54. Руденко П.А., Шуба М.Н., Огнивец В.А. и др. Отделочные операции в машиностроении: Справочник // Под общ. редакцией П.А. Руденко. – К.: Техника, 1985. – 136 с.
55. Евстегнеев М.И., Подзей А.В., Сулима А.М. Технология производства двигателей летательных аппаратов: Учебник для авиационных вузов. – М.: Машиностроение, 1982. – 260 с.
56. Романовский В.П., Мовшович И.Я., Долгов А.А. Исследование стойкости режущих элементов универсально сборных штампов для вырубки – пробивки //Кузнечно-штамповочное производство, 1970, №6. – С. 16–19.
57. Гриднев В.Н. Превращения при нагреве // Труды ВНИТОМАШ,

- Металловедение и термическая обработка. – М.: Машгиз, 1955.
58. Садовский В.Д. и др. Фазовые и структурные превращения при нагреве стали // Труды ВНИТОМАШ, Metallovedeniye i termicheskaya obrabotka. – М.: Машгиз, 1955. – 305 с.
 59. Костецкий Б.И. Структура и свойства поверхности при шлифовании стали // Труды семинара по качеству поверхности, сб. №5, АН СССР, 1961.
 60. Якимов А.А. Основы теории обеспечения и стабилизации качества поверхностного слоя при прерывистом шлифовании зубчатых колес. – Одесса: ОГПУ, 1997. – 212 с.
 61. Ложкина Л.А. Температурный режим тонкостенных деталей при шлифовании. Абразивно-алмазная обработка. – Пермь, 1983. – С. 17 – 20.
 62. Аксенов В.А., Чесов Ю.С. Моделирование тепловых явлений при механической обработке. Новосибирский электротехнический институт. – Новосибирск, 1990. – 68 с.
 63. Федюкин К.В. Термоциклическая обработка сталей и чугунов. – Л., 1977. – 124 с.
 64. Сагарадзе В.С. Повышение надежности цементируемых деталей. – М.: Машиностроение, 1975. – 114 с.
 65. Генкин М.Д., Рыжов М.А., Рыжов Н.М. Повышение надежности тяжело-нагруженных зубчатых колес. – М.: Машиностроение, 1981. – 232 с.
 66. Ларшин В.П., Лиценко Н.В. Особенности разработки технологических процессов для условий малолюдного и безлюдного производства. Проблемы теории и практики технологии машиностроения механической и физико-технической обработки: Материалы конференции. – Харьков, 2000. – С. 21 – 25.
 67. Дьяченко П.Е., Якобсон М.О. Качество поверхности при обработке металлов резанием. – М.: Машгиз, 1951. – 220 с.
 68. Торлин В.Н., Баталин А.С. Финишные операции в гибком автоматизированном производстве. – К.: Техника, 1987. – 208 с.
 69. Островский В.И. Теоретические основы процесса шлифования. – Л.: Изд-во Ленинград. ун-та, 1981. – 144 с.
 70. Королев А.В. Исследование процессов образования поверхностей инструмента и детали при абразивной обработке. – Саратов: Изд. Сарат. ун-та, 1975. – 202 с.
 71. Капанец Э.Ф., Кузьмич К.К. и др. Точность обработки при шлифовании. – Наука и техника, 1987. – 152 с.
 72. Колуэлл. Эффективность высокочастотной вибрации // T a A ME. – 1956. 78. – №4. – С. 837 – 844.
 73. Колуэлл. Влияние высокочастотных вибраций на процесс шлифования // T a A ME. – 1955. 87. – №2243. – С. 1131 – 1136.
 74. Старков В.Н. Обработка резанием. Управление стабильностью и качеством в автоматизированном производстве. – М.: Машиностроение, 1989. – 296 с.
 75. Маслов Е.Н. Теория шлифования металлов. – М.: Машиностроение, 1974. – 320 с.

76. Розенберг А.М., Еремин А.Н. Элементы теории резания металлов. – М.: Машгиз, 1966. – 423 с.
77. Островский В.И. Усовершенствование абразивного инструмента для шлифования труднообрабатываемых материалов.– Л., 1973.– 80 с.
78. Свирщев В.И. Технологические основы и обеспечение динамической стабилизации процессов шлифования. – Автореф. дис. ... докт. техн. наук, Пермь. 1996. – 38 с.
79. Кузнецов В.Д. Физика твердого тела.– Томск: Полиграфиздат, 1947.– Т.4.
80. Кудинов В.К. Динамика станков. – М.: Машиностроение, 1967. – 357 с.
81. Кучма Л.К. Вибрации при обработке на фрезерных станках и методы их гашения. – М.: Изд-во АН СССР, 1959. – 122 с.
82. Сридхар, Хок, Лонг. К вопросу об автоколебаниях в металлорежущих станках // Конструирование и технология машиностроения. Тр. американск. Общ-ва инженеров-механиков. – М.: Мир. – 1973. №2 – С. 141 – 146.
83. Патент США №3707956. Способ и устройство для фасонной правки периферии шлифовального круга. /Генри Ф. Свенсон. – Опубл. в бюллетене “Изобретения за рубежом”. 1973. №1.
84. Кузьмин П.А. Малые колебания и устойчивость движения. – М.: Наука, 1973. – 208 с.
85. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле. – М.: Физматгиз, 1959. – 439 с.
86. Силин С.С. Расчет температурных полей при действии движущихся источников тепла // Инженерно-физический журнал.– 1963. –№12.
87. Стефаненков П.Н. Исследование и разработка способа нанесения регулярного рельефа на поверхность шлифовального круга при правке за счет возбуждения автоколебаний правящего инструмента. – Автореф. дис. ... канд. техн. наук, Одесса, – 1982.
88. Гусарев В.С. Энергетическая эффективность технологических процессов // Авиационно-космическая техника и технология. – Харьков: ГАКУ им. Жуковского, 2000, вып. 14. – С. 40 – 44.
89. Гусарев В.С. Технологическая энергоэкономика // Вестник инженерной академии Украины.– К., 2001.– С. 352 – 356.
90. Фадеев В.А. Научный подход к выбору оптимальных способов и условий финишной обработки агрегатов авиационной техники // Авиационно-космическая техника и технология. – Харьков: ГАКУ им. Жуковского, 2000, вып. 14. – С. 37 – 40.
91. Якимов А.В., Новиков Ф.В. Теоретическое обоснование условий повышения эффективности технологии машиностроения // Вісник інженерної академії України. – К., 2000. – С.13 – 16.
92. Гусев А.А., Ковальчук Е.Р., Колесов И.М. и др. Технология машиностроения : Учебник для машиностроительных специальностей вузов. – М.: Машиностроение, 1986. – 480 с.

ДОДАТКИ

Додаток 1

$$\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt$$

t	$\Phi(t)$	t	$\Phi(t)$	t	$\Phi(t)$	t	$\Phi(t)$	t	$\Phi(t)$
0,00	0,0000	0,26	0,1026	0,52	0,1985	1,05	0,3531	2,60	0,4953
0,01	0,0040	0,27	0,1064	0,54	0,2054	1,10	0,3643	2,70	0,4965
0,02	0,0080	0,28	0,1103	0,56	0,2123	1,15	0,3749	2,80	0,4974
0,03	0,0120	0,29	0,1141	0,58	0,2190	1,20	0,3849	2,90	0,4981
0,04	0,0160	0,30	0,1179	0,60	0,2257	1,25	0,3944	3,00	0,49865
0,05	0,0199								
		0,31	0,1217	0,62	0,2324	1,30	0,4032	3,20	0,49931
0,06	0,0239	0,32	0,1255	0,64	0,2389	1,35	0,4115	3,40	0,49966
0,07	0,0279	0,33	0,1293	0,66	0,2454	1,40	0,4192	3,60	0,499841
0,08	0,0319	0,34	0,1331	0,68	0,2517	1,45	0,4265	3,80	0,499928
0,09	0,0359	0,35	0,1368	0,70	0,2580	1,50	0,4332	4,00	0,499968
0,10	0,0398								
		0,36	0,1406	0,72	0,2642	1,55	0,4394	4,50	0,499997
0,11	0,0438	0,37	0,1443	0,74	0,2703	1,60	0,4452	5,00	0,49999999
0,12	0,0478	0,38	0,1480	0,76	0,2764	1,65	0,4505		
0,13	0,0517	0,39	0,1517	0,78	0,2823	1,70	0,4554		
0,14	0,0557	0,40	0,1554	0,80	0,2881	1,75	0,4599		
0,15	0,0596								
		0,41	0,1591	0,82	0,2939	1,80	0,4641		
0,16	0,0636	0,42	0,1628	0,84	0,2995	1,85	0,4678		
0,17	0,0675	0,43	0,1654	0,86	0,3051	1,90	0,4713		
0,18	0,0714	0,44	0,1700	0,88	0,3106	1,95	0,4744		
0,19	0,0753	0,45	0,1736	0,90	0,3159	2,00	0,4772		
0,20	0,0793								
		0,46	0,1762	0,92	0,3212	2,10	0,4821		
0,21	0,0832	0,47	0,1808	0,94	0,3264	2,20	0,4861		
0,22	0,0871	0,48	0,1844	0,96	0,3315	2,30	0,4893		
0,23	0,0910	0,49	0,1879	0,98	0,3365	2,40	0,4918		
0,24	0,0948	0,50	0,1915	1,00	0,3413	2,50	0,4938		
0,25	0,0987								

Додаток 2

Мінімальні припуски на чорнове обточування, розточування і фрезерування заготовок, отриманих гарячим штампуванням, мм

Діаметр заготовки	Припуск на розмір при довжині				
	до 120	понад 120 до 260	понад 260 до 500	понад 500 до 800	понад 800 до 1250
До 50	1,7	2,0	2,4	2,8	3,2
Понад 50 до 120	2,0	2,2	2,6	2,9	3,3
“ ” 120 до 160	2,2	2,4	2,7	3,0	3,4
“ “ 260 до 500	2,5	2,7	2,8	3,1	3,5

Примітки:

1. Для штамповок з алюмінієвих, магнієвих і мідних сплавів, а також для чорнового прокату підвищеної точності припуски множать на 0,8.
2. Припуски на всі поверхні штампування приймаються з врахуванням максимальних габаритних розмірів.
3. При закріпленні заготовки в патроні довжина дорівнює подвоєній відстані від найбільш вилученого торця до кулачків патрона.

Додаток 3

Мінімальні припуски на чорнове обточування і розточування поверхонь у виливках, мм

Максимальний габаритний розмір виливка	Лиття заготовки у піщані форми	Лиття заготовок у кокіль і оболонкові форми
	Діаметр, мм	
До 50	2,2	1,4
Понад 50 до 120	2,6	1,6
“ ” 120 до 260	3,3	1,8
“ ” 120 до 260	4,1	2,0
“ ” 120 до 260		

Примітка. Припуски на всі поверхні виливка вибирають з врахуванням максимального розміру (діаметра чи довжини).

Додаток 4

Мінімальні припуски на чистове обточування, фрезерування після чорнового чи каліброваного прокату, мм

Діаметр чи товщина, мм	Довжина деталей							
	до 120	>.120 до 260	>.260 до 500	>.500 до 800	до 120	>.120 до 260	>.260 до 500	>.500 до 800
	термічно необроблених				термічно оброблених			
До 50	0,5	0,6	0,8	1,0	0,8	1,0	1,2	1,4
Св. 50 до 120	0,6	0,7	0,9	1,1	0,85	1,1	1,2	1,5
“ ” 120 до 500	0,7	0,8	1,0	1,2	0,9	1,1	1,3	1,6

**Мінімальні припуски на зовнішнє шліфування деталей
(у центрах і безцентрове), мм**

Діаметр чи товщина, мм	Розрахункова довжина деталей							
	до 120	>.120 до 260	>.260 до 500	>.500 до 800	до 120	>.120 до 260	>.260 до 500	>.500 до 800
	термічно необроблених				термічно оброблених			
До 18	0,15	0,18	0,25	–	0,18	0,22	0,3	–
Св. 18 до 50	0,18	0,22	0,28	0,35	0,2	0,28	0,35	0,5
“ ” 50 до 120	0,2	0,25	0,3	0,4	0,25	0,35	0,4	0,55
“ ” 120 до 500	0,25	0,3	0,35	0,45	0,3	0,4	0,5	0,65

Примітки:

1. До термічно оброблених відносять деталі, що пройшли термічну обробку після чистового обточування.
2. Якщо шліфування проводиться за дві операції, то на попереднє шліфування приділяється 2/3 припуску, а на остаточне - 1/3.
3. При обробці в центрах розрахункова довжина дорівнює довжині деталі. При обробці в патроні розрахункова довжина дорівнює подвоєній відстані від торця до кінця оброблюваної ділянки вала.

**Мінімальні припуски на чистове розточування, зенкерування
і розгортання отворів**

Діаметр отвору, мм	Чистове розточування, зенкерування	Розгортання
До 10	–	0,12
Понад 10 до 30	0,5	0,16
“ ” 30 до 50	0,6	0,2
“ ” 50 до 120	0,9	–
“ ” 120 до 500	1,2	–

Примітка. Якщо розгортання здійснюється на двох переходах чи операціях, то на попереднє розгортання приділяється 2/3 припуску, на остаточне - 1/3.

Мінімальні припуски на шліфування отворів після чистового розточування, мм

Діаметр, мм	Термічно необроблені й оброблені жорсткі деталі	Термічно оброблені нежорсткі деталі
До 50	0,2	0,25
Понад 50 до 120	0,25	0,35
“ ” 120 до 260	0,35	0,5
“ ” 260 до 500	0,4	0,7

Примітка. Термічно обробленими вважаються деталі, що пройшли термічну обробку після чистового розточування і перед операцією шліфування.

Мінімальні припуски на протягання отворів, мм

Діаметр, мм	Отвори підготовлені	
	по 9 – 11-му квалітету точності (після чистового розточування)	по 12-му квалітету точності
До 30	0,35	0,45
Понад 30 до 50	0,40	0,55
“ ” 50 до 80	0,50	0,7

Мінімальні припуски на тонке (алмазне) розточування, мм

Діаметр отворів, мм	Попереднє тонке однократне розточування по 9 – 10-му квалітету точності				Остаточне розточування – усі матеріали
	Легкі сплави	Бабіт	Бронза чавун	Сталь	
До 50	0,2	0,25	0,15	0,12	0,05
Понад 50 до 500	0,3	0,35	0,25	0,15	0,08

**Мінімальні припуски на чорнове підрізання торців, фрезерування
і стругання площин**

Максимальний габаритний розмір	Сталь, отримана гарячим штампуванням	Лиття в піщані форми	Кольорові і титанові сплави, отримані штампуванням	Лиття в кокіль, оболонкові форми
До 50	0,9	1,1	0,7	0,6
Понад 50 до 120	1,0	1,1	0,8	0,7
“ ” 120 до 260	1,2	1,3	0,9	0,8
“ ” 260 до 500	1,5	1,6	1,1	1,0

**Мінімальні припуски на чистове підрізання торців
і на чистове фрезерування площин**

Діаметр чи ширина А	Припуск
До 50	0,3
Понад 50 до 120	0,4
“ ” 120 до 260	0,55
“ ” 260 до 500	0,7

**Мінімальні припуски на шліфування і тонке фрезерування торців
і площин після чистового підрізання і фрезерування (по варіантах)**

Довжина обробки, мм	Шліфування і фрезерування термічно необроблених деталей	Шліфування термооброблених деталей	Попереднє шліфування до термообробки	Кінцеве шліфування після термообробки	Шліфування після термообробки	
					попереднє	кінцеве
До 30	0,10	0,15	0,10	0,07	0,07	0,05
Понад 30 до 120	0,15	0,20	0,15	0,15	0,15	0,07
“ ” 120 до 260	0,20	0,30	0,20	0,25	0,20	0,10
“ ” 260 до 500	0,30	0,45	0,30	0,35	0,30	0,15

**Мінімальні припуски на обробку зубчастого вінця
прямозубих зубчастих кілець**

Модуль	Чистове фрезерування, довбання, стругання	Шліфування	Шевінгування
До 2	0,25	0,2	0,05
Понад 2 до 3	0,4	0,25	0,07
“ ” 3 до 5	0,5	0,3	0,10
“ ” 5 до 7	0,6	0,35	0,12
“ ” 7 до 10	0,7	0,4	0,15

Допуски на діаметри валів і отворів, а також лінійні розміри

Номінальні розміри	Квалітет точності								
	6-й	7-й	9-й	10-й	11-й	12-й	14-й	15-й	16-й
Понад 1 до 3	0,01	0,014	0,02	0,04	0,06	0,12	0,25	0,40	0,6
« « 3 « « 6	0,013	0,018	0,025	0,048	0,08	0,16	0,3	0,48	0,75
« « 6 « « 10	0,016	0,022	0,03	0,058	0,10	0,20	0,36	0,58	0,9
« « 10 « « 18	0,019	0,027	0,035	0,070	0,12	0,24	0,43	0,70	1,1
« « 18 « « 30	0,023	0,033	0,045	0,088	0,14	0,28	0,52	0,84	1,3
« « 30 « « 50	0,027	0,039	0,050	0,10	0,17	0,34	0,62	1,00	1,6
« « 50 « « 80	0,030	0,046	0,060	0,12	0,20	0,40	0,74	1,20	1,9
« « 80 « « 120	0,035	0,054	0,070	0,14	0,23	0,46	0,87	1,40	2,2
« « 120 « « 180	0,040	0,063	0,08	0,16	0,26	0,53	1,00	1,60	2,5
« « 180 « « 260	0,045	0,073	0,09	0,185	0,30	0,60	1,15	1,90	2,9
« « 260 « « 360	0,050	0,084	0,100	0,215	0,34	0,68	1,35	2,20	3,3
« « 360 « « 500	0,060	0,095	0,120	0,250	0,38	0,76	1,55	2,50	3,8
« « 500 « « 630	0,07	0,110	0,140	0,280	0,45	0,90	1,80	2,8	4,5
« « 630 « « 800	0,08	0,120	0,150	0,30	0,50	1,00	2,00	3,0	5,0
« « 800 « « 1000	0,09	0,130	0,170	0,35	0,55	1,10	2,20	3,5	5,5

Значення функції $ierfc(x)$

x	$ierfc(x)$	x	$ierfc(x)$	x	$ierfc(x)$
0,0	0,5642	0,28	0,3278	0,62	0,1482
0,01	0,5542	0,29	0,3210	0,64	0,1407
0,02	0,5444	0,30	0,3142	0,66	0,1335
0,03	0,5350	0,31	0,3075	0,68	0,1265
0,04	0,5251	0,32	0,3010	0,70	0,1201
0,05	0,5156	0,33	0,2945	0,72	0,1138
0,06	0,5062	0,34	0,2882	0,74	0,1077
0,07	0,4969	0,35	0,2819	0,76	0,1020
0,08	0,4878	0,36	0,2758	0,78	0,0965
0,09	0,4787	0,37	0,2722	0,80	0,0912
0,10	0,4698	0,38	0,2637	0,82	0,0861
0,11	0,4610	0,39	0,2579	0,84	0,0813
0,12	0,4523	0,40	0,2521	0,86	0,0767
0,13	0,4437	0,41	0,2465	0,88	0,0724
0,14	0,4352	0,42	0,2409	0,90	0,0682
0,15	0,4268	0,43	0,2354	0,92	0,0642
0,16	0,4186	0,44	0,2300	0,94	0,0605
0,17	0,4104	0,45	0,2247	0,96	0,0569
0,18	0,4024	0,46	0,2195	0,98	0,0535
0,19	0,3944	0,47	0,2144	1,0	0,0503
0,20	0,3866	0,48	0,2094	1,1	0,0365
0,21	0,3789	0,49	0,2045	1,2	0,0260
0,22	0,3713	0,50	0,1996	1,3	0,0183
0,23	0,3638	0,52	0,1902	1,4	0,0127
0,24	0,3564	0,54	0,1811	1,5	0,0086
0,25	0,3491	0,56	0,1724	1,7	0,0038
0,26	0,3419	0,58	0,1640	1,9	0,0016
0,27	0,3348	0,60	0,1559	2,0	0,0010

Умовні позначення величин у формулах найвірогіднішого машинного часу

α – коефіцієнт, що враховує час зворотного (холостого) ходу;

B – ширина заготовки, мм;

D, d – діаметри заготовок (отворів), мм;

d_{ϕ} – діаметр фрези, мм;

F_{Σ} – сумарна площа оброблюваної поверхні, мм²;

f – коефіцієнт, що враховує число проходів без поперечної подачі;

h – припуск на обробку, мм;

i – кількість проходів;

i_1, i_2, i_3 – кількість проходів – відповідно чорнових, напівчистових, чистових;

K – коефіцієнт, що характеризує найвірогідніші умови обробки;

l – довжина заготовки, ступені, довжина ходу, протяжки, мм;

$l_{обр}$ – довжина робочого ходу при обробці, мм;

m – модуль зубчатого колеса, мм;

n – число оборотів, число подвійних ходів в хвилину;

$n_{ш}$ – число оборотів шевера в хвилину;

p – число проходів без поперечної подачі;

S – подовжня подача, мм/об; при струганні, мм/подв.хід ;

S_1, S_2, S_3 – подачі при чорновому, напівчистовому і чистовому шліфуванні, мм/подв.хід;

S_z – подача на зуб фрези, мм;

S_m – хвилинна подача, мм/хв;

$S_{тан}$ – тангенціальна подача, мм/об;

S_p – радіальна подача, мм/подв.хід;

$S_{м.о.х.}$ – хвилинна подача зворотного ходу, мм/хв;

$S_{кр}$ – кругова подача, мм/подв.хід;

T_m – найвірогідніший машинний час обробки, хв;

t – поперечна подача (глибина різання), мм/прохід;

τ – час обробки одного зуба, хв;

τ_1 – час на перемикання і розподіл, хв;

τ_2 – час на поворот заготовки на один зуб, хв;

V – швидкість різання, м/хв;

V_3 – окружна швидкість обертання заготовки, м/хв;

$V_{ст}$ – швидкість переміщення столу, м/хв;

$V_{р.х.}$ – швидкість робочого ходу, м/хв;

ω – число одночасно оброблюваних заготовок ;

z – число зубів зубчатого колеса, шліцьового валу, зірочки;

z_{ϕ} – число зубів фрези;

$z_{ш}$ – число зубів шевера;

$d_{в.к.}$ – діаметр провідного круга, мм;

$n_{в.к.}$ – число оборотів в хвилину провідного круга;

S_v – вертикальна подача;

g – число заходів фрези.

Формули найвірогіднішого машинного часу обробки окремих поверхонь по переходах

Перехід	Теоретична формула машинного часу	Значення коефіцієнту K	Найбільш вірогідні значення величин	Розрахункова формула найбільш вірогідного машинного часу
1	2	3	4	5
<i>Розрізання металу</i>				
Розрізання дисковою пилою	$T_m = \frac{l}{S_m} + \frac{l}{S_{м.о.х.}}$	$K = \frac{1}{S_m} + \frac{1}{S_{м.о.х.}}$ $K_1 = \frac{1}{S_m}$ $K_2 = \frac{1}{S_{м.о.х.}}$	$S_m = 91,7$ мм/хв; $S_{м.о.х.} = 5000$ мм/хв; $K_1 = 0,0109$; $K_2 = 0,0002$	$T_m = 0,011l$
Розрізання ножівкою	$T_m = \frac{l}{S}$	$K = \frac{1}{S}$	$S = 11,4$ мм/хв; $K = 0,0877$	$T_m = 0,0877l$
Відрізання різцем	$T_m = \frac{\pi D^2}{2000 \cdot VS}$	$K = \frac{\pi}{2000VS}$	$V = 40$ м/хв; $S = 0,1$ мм/об; $K = 0,000393$	$T_m = 0,000393D^2$
<i>Підрізування торця (за один прохід)</i>				
Чорнове підрізування торця (кільця)	$T_m = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{2000 \cdot VS}$	$K = \frac{\pi}{4000VS}$	$V = 70$ м/хв; $S = 0,5$ мм/об; $K = 0,0000224$	$T_m = 0,0000224 \times (D^2 - d^2)$
Чистове підрізування торця (кільця)			$V = 174,6$ м/хв; $S = 0,41$ мм/об; $K = 0,000011$	$T_m = 0,000011 \times (D^2 - d^2)$
Чорнове підрізування торця (суцільного круга)	$T_m = \frac{\pi D^2}{4000 \cdot VS}$		$V = 105$ м/хв; $S = 0,4$ мм/об; $K = 0,000075$	$T_m = 0,0000224D^2$
Чистове підрізування торця (суцільного круга)			$V = 120$ м/хв; $S = 0,15$ мм/об; $K = 0,000175$	$T_m = 0,000011D^2$

Продовження

1	2	3	4	5
Обробка тіл обертання				
<i>Обточування тіл обертання (D = 20 ÷ 100 мм – одного ступеня за один прохід)</i>				
Обточування чорнове	$T_M = \frac{\pi D l}{1000 V S}$	$K = \frac{\pi}{1000 V S}$	V=105 м/хв; S=0,4 мм/об; K=0,000075	$T_M = 0,000075 D l$
Обточування чистове			V=120 м/хв; S=0,15 мм/об; K=0,000175	
<i>Шліфування зовнішніє кругле з подовжньою подачею</i>				
Шліфування попереднє	$T_M = \frac{\pi D l h}{1000 V S t} \cdot f$	$K = \frac{\pi h}{1000 V S t} \cdot f$	h=0,25 мм; V=24 м/хв; t=0,024 мм/подв.хід; S=14 мм/об; f=1,2; K=0,00012	$T_M = 0,00012 D l$
Шліфування чистове			h=0,1 мм; V=30 м/хв; t=0,008 мм/подв.хід; S=10 мм/об; f=1,4; K=0,000184	$T_M = 0,000184 D l$
Шліфування тонке			h=0,025 мм; V=20 м/хв; t=0,003 мм/подв.хід; S=8 мм/об; f=2,0; K=0,000327	$T_M = 0,000327 D l$
<i>Шліфування зовнішніє безцентрове з подовжньою подачею (D = 20 ÷ 60 мм)</i>				
Шліфування попереднє	$T_M = \frac{l}{S_M} \cdot ia;$ $S_M = \pi d_{вк} n_{вк} \sin \alpha$	$K = \frac{1}{S_M} \cdot ia$	S _M =1070 мм/хв; a=1,5; i=3; K=0,00422	$T_M = 0,00422 l$
Шліфування чистове			S _M =866 мм/хв; a=1,5; i=4; K=0,00693	$T_M = 0,00693 l$

Продовження

1	2	3	4	5
<i>Шліфування зовнішніє кругле урізуванням</i>				
Шліфування попереднє	$T_M = \frac{\pi D h}{1000 V_3 t} \cdot f$	$K = \frac{\pi h}{1000 V_3 t} \cdot f$	$V_3 = 19$ м/хв; $h = 0,35$ мм; $t = 0,02$ мм/об; $f = 1,25$; $K = 0,00362$	$T_M =$ $0,00362D$
Шліфування чистове			$V_3 = 35$ м/хв; $h = 0,15$ мм; $t = 0,0025$ мм/об; $f = 1,25$; $K = 0,0068$	$T_M =$ $0,0068D$
Шліфування тонке			$V_3 = 35$ м/хв; $h = 0,1$ мм; $t = 0,0017$ мм/об; $f = 1,5$; $K = 0,0079$	$T_M =$ $0,0079D$
<i>Обробка змінюючим інструментом</i>				
Обробка роликком або кулькою після чистового точіння	$T_M = \frac{\pi D l}{1000 V S}$	$K = \frac{\pi}{1000 V S}$	$V = 100$ м/хв; $S = 0,3$ мм/об; $K = 0,0001$	$T_M =$ $0,0001Dl$
<i>Обробка отворів</i>				
Свердління отворів діаметром до 20 мм	$T_M = \frac{\pi D l}{1000 V S}$	$K = \frac{\pi}{1000 V S}$	$V = 22,4$ м/хв; $S = 0,25$ мм/об; $K = 0,00056$	$T_M =$ $0,00056Dl$
Розсвердлення отворів діаметром 20–70 мм			$V = 29,7$ м/хв; $S = 0,25$ мм/об; $K = 0,000423$	$T_M =$ $0,000423Dl$
Зенкерування			$V = 15$ м/хв; $S = 1,0$ мм/об; $K = 0,00021$	$T_M =$ $0,00021Dl$
Розгортання чорнове			$V = 12$ м/хв; $S = 0,6$ мм/об; $K = 0,000436$	$T_M =$ $0,000436Dl$
Розгортання чистове			$V = 6$ м/хв; $S = 0,6$ мм/об; $K = 0,000876$	$T_M =$ $0,000876Dl$
Розточування чорнове			$V = 63,4$ м/хв; $S = 0,36$ мм/об; $K = 0,000134$	$T_M =$ $0,000134Dl$
Розточування чистове			$V = 50$ м/хв; $S = 0,35$ мм/об; $K = 0,00018$	$T_M =$ $0,00018Dl$

Продовження

1	2	3	4	5
<i>Шліфування внутрішнє</i>				
Шліфування попереднє	$T_M = \frac{2\pi Dlh}{1000VSf} \cdot f$	$K = \frac{2\pi h}{1000VSf} \cdot f$	$V=27$ м/хв; $t=0,004$ мм/ подв.хід; $S=12$ мм/об; $h=0,2$ мм; $f=1,4$; $K=0,00146$	$T_M = 0,000146Dl$
Шліфування чистове			$V=36$ м/хв; $t=0,009$ мм/ подв.хід; $S=10$ мм/об; $h=0,2$ мм; $f=1,5$; $K=0,000583$	$T_M = 0,000583Dl$
<i>Протягування внутрішніх поверхонь</i>				
Протягування рядкове	$T_M = \frac{la}{1000V}$	$K = \frac{a}{1000V}$	$V=7$ м/хв; $a=2$; $K=0,000286$	$T_M = 0,000286l$
Протягування чистове			$V=4$ м/хв; $a=2$; $K=0,0005$	$T_M = 0,0005l$
Протягування ущільнюючими протяжками багатозубими (типу дорнів)			$V=5$ м/хв; $a=2$; $K=0,0004$	$T_M = 0,0004l$
Прошивка чистова			$V=3$ м/хв; $K=0,00033$	$T_M = 0,00033l$
Прошивка тонка			$V=2$ м/хв; $K=0,0005$	$T_M = 0,0005l$
<i>Обробка внутрішніх поверхонь зміцнюючим інструментом</i>				
Калібрування після розточування (дорном і т.п.)	$T_M = \frac{l}{S_M}$	$K = \frac{1}{S_M}$	$S_M=2000$ мм/хв; $K=0,0005$	$T_M = 0,0005l$
<i>Доведення</i>				
Полірування	$T_M = KF_{\Sigma}^*$	Значення режимів обробки узяті за нормативними матеріалами	$K=0,00016$	$T_M = 0,00016F_{\Sigma}$
Хонінгування середнє	$T_M = Kh^{**}$		$K=0,126$	$T_M = 0,126h$
Хонінгування тонке	$T_M = Kh^{**}$		$K=0,121$	$T_M = 0,121h$

Продовження

1	2	3	4	5
Суперфінішування	$T_M = KD$	Значення режимів обробки узяті за нормативними матеріалами	$K=0,0238$	$T_M = 0,0238D$
Суперфінішування двократне			$K=0,051$	$T_M = 0,051D$
Механічне притирання деталей з незагартованої сталі	$T_M = KF_{\Sigma}^*$		$K=0,00024$	$T_M = 0,00024F_{\Sigma}$
Механічне притирання деталей із загартованої сталі			$K=0,000225$	$T_M = 0,000225F_{\Sigma}$
Обробка плоских поверхонь				
<i>Фрезерування торцевою фрезою</i>				
Фрезерування чорнове	$T_M = \frac{l}{S_M}$	$K = \frac{1}{S_M}$	$S_M=170$ мм/хв; $K=0,0059$	$T_M = 0,0059l$
Фрезерування чистове			$S_M=208$ мм/хв; $K=0,00482$	$T_M = 0,00482l$
Фрезерування тонке			$S_M=351$ мм/хв; $K=0,00286$	$T_M = 0,00286l$
<i>Фрезерування циліндровою фрезою</i>				
Фрезерування чорнове	$T_M = \frac{l}{S_M}$	$K = \frac{1}{S_M}$	$S_M=150$ мм/хв; $K=0,00666$	$T_M = 0,00666l$
Фрезерування чистове			$S_M=285$ мм/хв; $K=0,00352$	$T_M = 0,00352l$
Фрезерування тонке			$S_M=600$ мм/хв; $K=0,00166$	$T_M = 0,00166l$
Підрізування бобишок торцевим зенкером або ножем	$T_M = \frac{\pi D l}{1000 V S}$	$K = \frac{\pi}{1000 V S}$	$V=15$ м/хв; $S=0,3$ мм/об; $K=0,0007$	$T_M = 0,0007 D l$
<i>Стругання або довбання</i>				
Стругання чорнове	$T_M = \frac{Bla}{1000 V_{p.x.} S}$	$K = \frac{a}{1000 V_{p.x.} S}$	$a=1,43$; $S=1,5$ мм/ подв.хід; $V_{p.x.}=22$ м/хв; $K=0,0000434$	$T_M = 0,0000434 B l$
Стругання чистове			$a=1,43$; $S=16$ мм/ подв.хід; $V_{p.x.}=26$ м/хв; $K=0,0000034$	$T_M = 0,0000034 B l$

Продовження

1	2	3	4	5
<i>Шліфування плоске торцем круга (стіл із зворотно-поступальним рухом)</i>				
Шліфування попередне			$V_{cm}=12$ м/хв; $h=0,3$ мм; $t=0,02$ мм/ по- дв.хід; $f=1,2$; $K=0,0015$	$T_M =$ 0,0015/
Шліфування чистове	$T_M = \frac{h f}{1000 V_{cm} t}$	$K = \frac{h f}{1000 V_{cm} t}$	$V_{cm}=12$ м/хв; $h=0,1$ мм; $t=0,009$ мм/ подв.хід; $f=1,4$; $K=0,0013$	$T_M =$ 0,0013/
Шліфування тонке			$V_{cm}=8$ м/хв; $h=$ 0,04 мм; $t=0,005$ мм/ подв.хід; $f=1,5$; $K=0,0015$	$T_M =$ 0,0015/
<i>Протягування зовнішніх плоских поверхонь</i>				
Протягування рядкове	$T_M = \frac{la}{1000V}$	$K = \frac{a}{1000V}$	$V=7$ м/хв; $a=2$; $K=0,000286$	$T_M =$ 0,000286/
Протягування чистове			$V=4$ м/хв; $a=2$; $K=0,0005$	$T_M =$ 0,0005/
<i>Доведення плоских поверхонь</i>				
Полірування $B \times l = F_\Sigma$ від 30x30 до 200x200	$T_M = K F_\Sigma$	Значення режимів обробки узяті за нормативними матеріалами	$K=0,00016$	$T_M =$ 0,00016 F_Σ
Механічне притирання деталей з незагартованої сталі			$K=0,00024$	$T_M =$ 0,00024 F_Σ
Механічне притирання деталей із загартованої сталі			$K=0,000225$	$T_M =$ 0,000225 F_Σ
<i>Обробка гвинтових поверхонь</i>				
Нарізування різьби мітчиком, плашкою і гвинторізню головою, що не розкривається, на верстаті	$T_M = \frac{\pi D l a}{1000 V S}$	$K = \frac{\pi a}{1000 V S}$	$V=9,1$ м/хв; $S=2$ мм; $a=1,85$; $K=0,000319$	$T_M =$ 0,000319 Dl

Продовження

1	2	3	4	5
Нарізування різьби різенарізальною головкою, що саморозкривається, на верстаті	$T_M = \frac{\pi D l}{1000 V S}$	$K = \frac{\pi}{1000 V S}$	$V=14$ м/хв; $S=2$ мм; $K=0,000112$	$T_M = 0,000112 D l$
Фрезерування різьби багатонитковою фрезою (зовнішні різьблення)	$T_M = \frac{1,2 \pi^2 d_\phi}{1000 V S_z z_\phi}$	$K = \frac{1,2 \pi^2 d_\phi}{1000 V S_z z_\phi}$	$d_\phi=65$ мм; $S_z=0,05$ мм/зуб; $V=33,3$ м/хв; $z_\phi=14$; $K=0,033$	$T_M = 0,033 D$
Накатка різьби роликами і плашкою	$T_M = K D$	$K=0,032$	$K=0,0032$	$T_M = 0,0032 D$
Нарізування різьби різцем чорнове (різьба однозахідна)	$T_M = \frac{\pi D l i a}{1000 V S}$	$K = \frac{\pi i a}{1000 V S}$	$V=40$ м/хв; $a=1,85$; $i=1,9$; S ; $K=0,000278$	$T_M = 0,000278 D l$
Нарізування різьби різцем чистове (різьба однозахідна)			$V=76,8$ м/хв; $a=1,85$; $i=1,2$; S ; $K=0,000091$	$T_M = 0,000091 D l$
Шліфування різьби чистове (різьба однозахідна)	$T_M = \frac{\pi D l}{1000 V S} \times \left(\frac{h}{t} + p \right) a$	$K = \frac{\pi a}{1000 V S} \times \left(\frac{h}{t} + p \right)$	$h=0,85$ мм; $V=7,5$ м/хв; $p=3$; $t=0,05$ мм/подв.хід; $a=1,1$; $S=2$ мм; $K=0,0046$	$T_M = 0,0046 D l$
Обробка евольвентних поверхонь				
Обробка зубів циліндрових зубчатих коліс ($m=1 \div 10$ мм)				
Довбання зубів чорнове (за один обкат)	$T_M = B^{***} m \times \left(\frac{2 \cdot 2,2}{1000 V S_p} + z \cdot \frac{2\pi}{1000 V S_{k.p}} \right)$	$K_1 = \frac{2 \cdot 2,2}{1000 V S_p}$; $K_2 = \frac{2\pi}{1000 V S_p}$	$V=21$ м/хв; $S_p=0,6$ мм/подв.хід; $S_{k.p.}=0,42$ мм/подв.хід; $K_1=0,0035$; $K_2=0,000713$	$T_M = B m (0,0035 + 0,000713 z)$
Довбання зубів чистове			$V=34$ м/хв; $S_p=0,04$ мм/подв.хід; $S_{k.p.}=0,22$ мм/подв.хід; $K_1=0,00324$; $K_2=0,00084$	

Продовження

1	2	3	4	5
Фрезерування чорнове (вертикальна подача)	$T_M = \frac{Bz\pi d_\phi}{1000 \cdot VSg}$	$K = \frac{\pi d_\phi}{1000 \cdot VSg}$	$d_\phi = 70$ мм; $S = 1,8$ мм/об.заг.; $V = 25$ м/хв; $g = 1$; $K = 0,00488$	$T_M = 0,00488Bz$
Фрезерування чистове (вертикальна подача)			$d_\phi = 90$ мм; $S = 1,0$ мм/об.заг.; $V = 30$ м/хв; $g = 1$; $K = 0,00943$	$T_M = 0,00943Bz$
Шевінгування чистове	$T_M = \frac{Bzhf}{Sn_{ш}z_{ш}S_g}$	$K = \frac{hf}{Sn_{ш}z_{ш}S_g}$	$h = 0,17$ мм; $n_{ш} = 280$ об/хв; $f = 1,35$; $z_{ш} = 73$; $S_g = 0,0045$ мм/х.ст.; $S = 0,25$ мм/об.заг.; $K = 0,001$	$T_M = 0,001Bz$
<i>Обробка зубів циліндрових зубчатих коліс ($m = 1 \div 10$ мм)</i>				
Шліфування конічним кругом по методу обкатки (типу Найльс)	$T_M = \left[\frac{2l}{n} \left(\frac{i_1}{S_1} + \frac{i_2}{S_2} + \frac{i_3}{S_3} \right) + 2\tau_1(i_1 + i_2 + i_3) \right]$	$K_1 = \frac{2}{n} \left(\frac{i_1}{S_1} + \frac{i_2}{S_2} + \frac{i_3}{S_3} \right)$; $K_2 = 2\tau_1 \times (i_1 + i_2 + i_3)$	$n = 150$ подв.хід /хв; $\tau_1 = 0,05$ хв; $i_1 = 2$; $S_1 = 2,7$ мм/подв.хід; $S_2 = 2,7$ мм/подв.хід; $i_2 = 1$; $i_3 = 1$; $S_3 = 1,1$ мм/подв.хід; $K_1 = 0,027$; $K_2 = 0,4$	$T_M = (0,027l + 0,4)z$
<i>Обробка торців зубів пальцевою фрезою</i>				
Закруглення зубів	$T_M = \tau \cdot z$	$K = \tau$	$K = 0,0384$	$T_M = 0,0384z$
<i>Фрезерування зубів черв'ячних коліс ($m = 1 \div 6$ мм)</i>				
Фрезерування чорнове (фреза одностороння)	$T_M = \frac{2,7\pi D d_\phi}{1000V_\phi S_p}$	$K = \frac{2,7\pi \cdot d_\phi}{1000V_\phi S_p}$	$d_\phi = 80$ мм; $V_\phi = 25$ м/хв; $S_p = 0,8$ мм/об; $K = 0,0346$	$T_M = 0,0346D$

Продовження

1	2	3	4	5
Фрезерування чистове (фреза однозахідна)	$T_M = \frac{2,94\pi D\sqrt{z} \cdot d_f}{1000V_\phi S_{\min}}$	$K = \frac{2,94\pi \cdot d_\phi}{1000V_\phi S_{\min}}$	$d_\phi = 80 \text{ мм}; V_\phi = 25 \text{ м/хв}; S_{\min} = 1,4 \text{ мм/об}; K = 0,0212$	$T_M = 0,0212D\sqrt{z}$
<i>Зубостругання прямокутих конічних коліс ($m = 1 \div 10 \text{ мм}$)</i>				
Попереднє нарізування	$T_M = z \left(\frac{\pi D_\phi l}{1000 V S_z z} + K_2 = \left(\frac{\pi D_\phi}{1000 V S_z z} \right) K_2 = \tau_2$		$D_\phi = 80 \text{ мм}; V = 29 \text{ м/хв}; z = 10; S_z = 0,13 \text{ мм/зуб}; \tau_2 = 0,05 \text{ хв}; K_1 = 0,00668; K_2 = 0,05$	$T_M = z(0,0668l + 0,05)$
Зубостругання чистове	$T_M = \tau \cdot z$	$K = \tau$	$K = 0,2$	$T_M = 0,2z$
Зубостругання тонке			$K = 0,25$	$T_M = 0,25z$
<i>Нарізування криволінійних конічних коліс зуборізними головками ($m = 1 \div 10 \text{ мм}$)</i>				
Чорнове нарізування	$T_M = \tau \cdot z$	$K = \tau$	$K = 0,36$	$T_M = 0,36z$
Чистове нарізування			$K = 0,32$	$T_M = 0,32z$
<i>Обробка шліцевих поверхонь (вали $d = 25 \div 60 \text{ мм}$)</i>				
Фрезерування чорнове	$T_M = \frac{\pi D_\phi i z}{1000 V_\phi S_0}$	$K = \frac{\pi D_\phi}{1000 V_\phi S_0}$	$D_\phi = 100 \text{ мм}; S_0 = 2,1 \text{ мм/об}; V_\phi = 32 \text{ м/хв}; K = 0,0047$	$T_M = 0,0047lz$
Фрезерування чистове			$D_\phi = 100 \text{ мм}; S_0 = 1,2 \text{ мм/об}; V_\phi = 30 \text{ м/хв}; K = 0,0087$	$T_M = 0,0087lz$
Шліфування дна западин шліців (центрування по внутрішньому діаметру)	$T_M = \frac{izha}{1000Vt}$	$K = \frac{ha}{1000Vt}$	$h = 0,15 \text{ мм}; V = 6,5 \text{ м/хв}; t = 0,03 \text{ мм/подв.хід}; a = 1,35$	$T_M = 0,00104lz$

Примітки: $F_\Sigma^* = \pi dl$; h^{**} – припуск на сторону, мм; B^{***} – ширина вінця, мм.

Оформлення технологічної документації

Розробка технологічного процесу механічної обробки деталі закінчується складанням і оформленням комплекту документів технологічного процесу.

Склад і форми карт, що входять в комплект документів, залежать від виду технологічного процесу (одиничний, типовий або груповий), типу виробництва і ступеня використання розробником засобів обчислювальної техніки і автоматизованої системи управління виробництвом.

По ступеню деталізації інформації кожний з вказаних видів технологічних процесів передбачає різний виклад змісту операції і комплектність документів.

У маршрутному технологічному процесі зміст операцій описується тільки в маршрутній карті без вказівки технологічних переходів. Застосовується в одичному і дрібносерійному типах виробництва.

У операційному технологічному процесі маршрутна карта містить тільки найменування всіх операцій в технологічній послідовності, включаючи контроль і переміщення, перелік документів, застосовуваних при виконанні операції, технологічне устаткування і трудовитрати. Самі операції розробляються на операційних картах. Застосовується у великосерійному і масовому типах виробництва.

У маршрутно-операційному технологічному процесі передбачається короткий опис змісту окремих операцій в маршрутній карті, а решта операцій оформляється на операційних картах.

При виконанні курсового і дипломного проектуванні рекомендується операційний або маршрутно-операційний ступінь деталізації опису технологічного процесу. Конкретно ступінь деталізації опису технологічного процесу обмовляється з керівником проекту.

1. Маршрутна карта

Маршрутна карта (МК) є основним і обов'язковим документом будь-якого технологічного процесу. Форми і правила оформлення маршрутних карт, застосовуваних при розробці технологічних процесів виготовлення або ремонту виробів в основному і допоміжному виробництвах, регламентовані згідно ГОСТ 3. 1118-82 (Форми і правила оформлення маршрутних карт).

До заповнення граф технологічних документів пред'являють наступні вимоги.

1. Кожен рядок умовно ділиться по горизонталі навпіл і інформацію записують в нижній її частині, залишаючи верхню частину вільної для внесення змін.

2. Для граф, виділених потовщеними лініями, існує три варіанти заповнення:

а) графи заповнюють кодами і позначеннями по відповідних класифікаторах і стандартах. Варіант використовується розробниками, що упровадили автоматизовану систему управління виробництвом;

б) інформація записується в розкодованому вигляді;

в) інформація дається у вигляді кодів з їх розшифровкою; при курсо-

вому проектуванні рекомендується цей варіант заповнення.

Для викладу технологічних процесів в маршрутній карті використовують спосіб заповнення, при якому інформацію вносять порядково декількома типами рядків. Кожному типу рядка відповідає свій службовий символ. Службові символи умовно виражають склад інформації, розміщеної в графах даного типу рядка форми документа, і призначені для обробки розміщеної інформації засобами механізації і автоматизації. Простановка службових символів є обов'язковою у будь-якому випадку. Позначення службових символів прийняті як прописні літери українського алфавіту, що проставляються перед номером відповідного рядка. Вказівка відповідних службових символів для типів рядків залежно від розміщеного складу інформації, в графах маршрутної карти слід виконувати відповідно до табл. 1.

При заповненні інформації на рядках, що мають службовий символ "О", слід керуватися вимогами, які встановлюють правила запису операцій і переходів.

При операційному описі технологічного процесу на маршрутній карті номер переходу слід проставляти на початку рядка.

При заповненні інформації на рядках, що мають службовий символ "Т", слід керуватися вимогами відповідних класифікаторів, державних і галузевих стандартів на кодування (позначення) і найменування технологічної оснастки (табл. 5).

Інформацію про використання на операції технологічної оснастки записують в наступній послідовності:

- 1) пристосування;
- 2) допоміжний інструмент;
- 3) ріжучий інструмент;
- 4) слюсарно-монтажний інструмент;
- 5) спеціальний інструмент;
- 6) засоби вимірювання.

Таблиця 1. Відомості, що вносяться в графи, розташовані на рядку маршрутної карти

Позначення службового символу	Зміст інформації, що вноситься в графи, розташування на рядку
1	2
А	Номери цеху, ділянки, робоче місце, де виконується операція; код і найменування операції
Б	Код, найменування устаткування і інформація по трудовитратах
К	Інформація про комплектацію виробу (складальної одиниці) складовими частинами з вказівкою найменування деталей складальних одиниць, їх позначень, коду одиниці величини, одиниці нормування, кількості на виріб і норми витрати

Продовження табл. 1

1	2
М	Інформація про застосовуваємий основний матеріал і початковій заготовці, про застосовувані початкові і комплектуючі матеріали, коди одиниці величини, одиниці нормування, кількість на виріб і норми витрати
О	Зміст операції (переходу)
Т	Інформація про застосовувану при виконанні операції технологічну оснастку
Р	Інформація про режими обробки

Розділення інформації по кожному засобу технологічної оснастки слід виконувати через знак “;”. Відомості, що вносяться в окремі графи і рядки маршрутної карти, вибирають з табл. 2. Для зручності пошуку відповідних граф карти номера пунктів таблиці продубльовані виносними лініями на полях рис. 1.

Таблиця 2. Відомості, що вносяться в окремі графи і рядки маршрутної карти

Номер пункту	Найменування (умовне позначення графи)	Службовий символ	Зміст інформації
1	2	3	4
1	–	–	Найменування виробу (деталі, складальної одиниці) по основному конструкторському документу
2	–	–	Позначення виробу по основному конструкторському документу або код ступеня класифікації по конструкторському класифікатору
3	–	–	Код класифікаційних угруповань технологічних ознак для типових і групових технологічних процесів по технологічному класифікатору
4	–	–	Позначення документа по ГОСТ 3.1201-85 (Система позначення технологічної документації)
5	–	–	Загальна кількість аркушів документа
6	–	–	Порядковий номер аркуша документа
7	–	–	Літера, привласнена технологічному документу. При дипломному проектуванні записувати “ДП”, при курсовому – “КП”
8	–	–	Графа для особливих вказівок

Продовження табл.2

1	2	3	4
9	Позначення документа	А	Позначення документів, застосовуваних при виконанні даної операції, наприклад, ІОП – інструкція по охороні праці
10	$T_{шт}$	Б	Норма штучного часу на операцію, хв.
11	$T_{п.з}$	Б	Норма підготовчо – завершального часу на операцію, хв.
12	$K_{шт}$	Б	Коефіцієнт штучного часу при багатоверстатному обслуговуванні, залежний від кількості обслуговуваних верстатів: Кількість верстатів 1 2 3 4 5 $K_{шт}$ 1 0,65 0,48 0,39 0,35
13	ОП	Б	Об'єм виробничої партії, штуки
14	ОН	МО2, Б, К, М	Одиниця нормування, на яку встановлена норма витрати матеріалу, або норма часу, наприклад, 1; 10; 100
15	КООЗ	Б	Кількість одночасно оброблюваних заготовок при виконанні однієї операції
16	КВ	Б	Кількість виконавців, зайнятих при виконанні операції
17	УП	Б	Код умов праці. Включає цифру – умови праці: 1 – нормальні; 2 – важкі і шкідливі; 3 – особливо важкі, особливо шкідливі; і літеру, вказуючу вид норми часу: Р – аналітично-розрахункова; Д – аналітично-дослідницька; Х – хронометражна; Д – досліно-статистична.
18	Р	Б	Розряд роботи, необхідний для виконання операції. Код включає три цифри: перша – розряд роботи по тарифно – кваліфікаційному довіднику, дві наступні – код форми і системи оплати праці : 10 – відрядна форма оплати праці; 11 – відрядна система оплати праці пряма; 12 – відрядна система оплати праці преміальна; 13 – відрядна система оплати праці прогресивна; 20 – почасова форма оплати праці; 21 – почасова система оплати праці проста; 22 – почасова система оплати праці преміальна
19	ПРОФ	Б	Код професії згідно класифікатора (табл. 7)

Продовження табл.2

1	2	3	4
20	СМ	Б	Код ступеня механізації праці. Указується цифрою: 1 – спостереження за роботою автоматів; 2 – робота за допомогою машин і автоматів; 3 – уручну при машинах і автоматах; 4 – уручну без машин і автоматів; 5 – уручну при наладці машин
21	Код, найменування устаткування	Б	Код устаткування. Включає в себе вищу (шість перших цифр) і нижчу (чотири цифри після крапки) класифікаційні угруповання. Вибіркові коди устаткування вказані в табл. 4. Нижче угруповання в курсовому проекті умовно указується знаком “XXXX”
22	Код, найменування операції	А	Код операції згідно класифікатора технологічних операцій. У табл. 4 вибірково приведені коди основних операцій механічної обробки. За наявності операції, виконуваної на верстаті з програмним управлінням, до коду операції додається код 4103”. Після коду операції записується її найменування
23	Цех	А	Номер цеху, в якому виконується операція
24	Д	А	Номер ділянки
25	РМ	А	Номер робочого місця (у курсовому проекті позиції 23, 24, 25 заповнюються умовно кодом “XX”)
26	Опер	А	Номер операції в технологічній послідовності виготовлення, контролю і переміщення. Рекомендована нумерація операцій: 000, 005, 010 і т.д.
27	Код	МО2	Код матеріалу. Графа не заповнюється, ставиться прочерк
28	ОВ	МО2, К, М	Код одиниці величини – маси, довжини, площі і т.д. деталі або заготовки. Для маси, вказаної в “кг” – код 166; у “г” – 163; у “т” – 168. Допускається замість коду указувати одиниці вимірювання величини
29	МД	МО2	Маса деталі по конструкторському документу

Продовження табл.2

1	2	3	4
30	ОН	МО2, БИ, ДО, М	Одиниця нормування, на яку встановлена норма витрати матеріалу або норма часу, наприклад, 1; 10; 100
31	Витр	МО2, К, М	Норма витрати матеріалу
32	КВМ	МО2	Коефіцієнт використання матеріалу
33	Код заготовки	МО2	Код заготовки по класифікатору (табл. 6). Допускається вказувати вид заготовки (відливка, прокат, штампування і інші)
34	-	МО1	Найменування, сортамент, розмір і марка матеріалу, позначення стандарту, технічних умов. Запис виконується на рівні одного рядка із застосуванням розділового знаку дробу “/”, наприклад, Лист БОН–2,5х1Р00х2500 ГОСТ 19903-74/Ш-1У В ст. 3 ГОСТ 14637-79
35	Профіль і розміри	МО2	Позначення профілю і розміру заготовок. Рекомендується вказувати товщину, ширину і довжину / сторону квадрата або діаметр і довжину, наприклад, 20х50х300, 0,35. Профіль допускається не вказувати
36	КД	МО2	Кількість деталей, що виготовляються з однієї заготовки
37	МЗ	МО2	Маса заготовки

Примітка. Встановлена п'ятизначна структура основного коду характеристики документації (XXXXX). Перші дві цифри – вид документації:

01 – комплект технологічної документації;

10 – маршрутна карта;

20 – карта ескізів;

42 – відомість оснащення;

44 – відомість деталей до типового (групового) технологічного процесу (операції);

60 – операційна карта;

62 – карта наладки;

67 – карта кодування інформації.

Третя цифра – вид технологічного процесу (операції) по організації:

0 – без вказівки;

1 – одиничний процес (операція);

2 – типовий процес (операція);

3 – груповий процес (операція).

Останні дві цифри – вид технологічного процесу по методу виконання:
 00 – без вказівки;
 02, 03 – технічний контроль;
 04 – переміщення;
 21 – обробка тиском;
 41, 42 – обробка різанням;
 50, 51 – термообробка.

Приклад. Маршрутна карта одиничного процесу обробки різанням – 10141.XXXX. Останні чотири розряди (XXXX) – резерв додаткового позначення по галузевому класифікатору.

Найменування операції обробки різанням повинне відображати застосовуваний вид устаткування і записуватися ім'ям прикметникам в називному відмінку (за винятком операції “Галтовка”) у відповідність з табл. 3 і табл. 4.

Таблиця 3. Групи операцій обробки різанням

Найменування групи операції	Застосовуване устаткування (верстати)
1	2
Автоматно-лінійна	Автоматичні лінії
Агрегатна	Агрегатні
Довбальна	Довбальні
Зубооброблювальна	Зубофрезерні, зубострогальні, зубошліфувальні і інші
Комбінована	Свердлильно-фрезерні і інші
Оздоблювальна	Хонінговальні, суперфінішні, доводочні, полірувальні
Відрізна	Відрізні
Програмна	Верстати з програмним управлінням
Протяжна	Протяжні
Розточувальна	Розточувальні
Різенарізальна	Гайконарізні, різьбофрезерні і інші
Свердлильна	Свердлильні
Строгальна	Строгальні
Токарна	Токарні, токарно-гвинторізні, багаторізцеві і інші
Фрезерна	Фрезерні (окрім зубо- різьбофрезерних)
Шліфувальна	Шліфувальні (окрім зубошліфовальних)

Таблиця 4. Операції обробки різанням

Найменування операції	Код (вибірково)	Код устат- кування (вибірково)	Примітка
1	2	3	4
Автоматно-лінійна			
Агрегатна	4101	381881 381884 381885 381887	Горизонтальні односторонні Горизонтальні багатобічні Вертикальні одностійкові Вертикальні багатостійкові
Довбальна	4175	381718	
Зубодовбальна	4152	381571	
Зубозакругляюча			
Зубонакатна			
Зубообкатуюча			
Зубопритиральна			
Зубопротязна			
Зубострогальна	4154	381520	
Зуботокарна			
Зубофрезерна	4153	381572	
Зубохонінгвальна			
Зубошевінгвальна	4157	381574	
Зубошліфвальна	4151	381561	
Шліценкатна			
Шліцестрогальна			
Шліцефрезерна			
Комбінована			
Віброабразивна			
Галтовка			
Доводочна			
Обпилювальна			
Полірувальна			
Притиральна			
Суперфінішна			
Хонінгвальна			
Абразивно-відрізна			
Стрічково-відрізна			
Ножівково-відрізна	4281	381762	
Пило-відрізна			
Токарно-відрізна			
Розточувальна з ЧПУ			
Свердильна з ЧПУ			
Токарна з ЧПУ			

Продовження табл.4

1	2	3	4
Фрезерна з ЧПУ			
Шліфувальна з ЧПУ			
Координатно-розточувальна	4223	381263	
Гвинтонарізна			
Гайконарізна			
Різьбонакатна			
Вертикально-свердлильна	4121	381213	
Горизонтально-свердлильна	4122	381829	
Радіально-свердлильна	4123	381217	
Поперечно-строгальна			
Подовжньо-строгальна	4172	381713	
Автоматна токарна	4112	381111	
Вальцетокарна			
Лоботокарна			
Різьботокарня			
Токарно-гвинторізна	4110	381101	
Токарно-затиловочна	4116	381143	
Токарно-карусельна			
Токарно-копіювальна			
Токарно-револьверна	4111	381131 381133	З вертикальною віссю З горизонтальною віссю
Торцепідрізна центруюча			
Барабанно-фрезерна	4265	38167X	
Вертикально-фрезерна	4261	381611 381612 381861	Консольні З хрестовим столом Спеціальні
Горизонтально-фрезерна	4268	381621 381631 381632	Консольні Універсальні Широкоуніверсальні
Карусельно-фрезерна			
Копіювально-фрезерна			
Гравіювально-фрезерна	4268	381641	
Подовжньо-фрезерна	4263	381661 381667	Одностійкові Двохстійкові
Різьбофрезерна	4271	381623	
Фрезерно-центруюча	4269	381825	
Шпоно-фрезерна			

Продовження табл.4

1	2	3	4
Бесцентрово-шліфувальна			
Внутрішшліфувальна	4132	381312	
Заточувальна	4141	381361 381363 381367 381368	Універсальні Для фрез Для свердел Для протяжок
Координатно-шліфувальна			
Круглошліфувальна	4131	381311	
Стрічково-шліфувальна			
Плоскошліфувальна	4133	381313	
Різьбошліфувальна	4135	381316	
Торцешліфувальна			
Центрошліфувальна			
Шліцешліфувальна			

Допускається використовувати скорочену форму запису, застосовуючи найменування групи операцій у відповідність з табл. 3.

Таблиця 5. Показчик кодів на ріжучий інструмент, вимірювальні засоби і технологічну оснастку (вибірково)

Найменування оснастки	Код
1	2
Свердла спіральні загального призначення з циліндровим хвостовиком швидкорізальні	391210
Свердла спіральні загального призначення з конічним хвостовиком швидкорізальні	391267
Свердла твердосплавні	391303
Свердла для верстатів з ЧПУ і автоматичних ліній	391290
Мітчики з вуглецевої сталі ручні	391310
Мітчики швидкорізальні машинно-ручні	391330
Мітчики твердосплавні	391350
Мітчики для верстатів з ЧПУ	391391
Плашки різнарізальні круглі	391510
Зенкери швидкорізальні	391310
Зенкери твердосплавні	391620
Зенкери конічні	391630
Зенкери і зенківки для верстатів з ЧПУ	391690
Розгортки ручні	391710
Розгортки машинні швидкорізальні	391720

Продовження табл.5

1	2
Розгортки машинні твердосплавні	391740
Розгортки для верстатів з ЧПУ	391790
Фрези твердосплавні	391801
Фрези швидкорізальні	391802
Фрези зуборізні і різьбові	391810
Фрези кінцеві	391820
Фрези насадні	391830
Фрези для верстатів з ЧПУ	391890
Різці твердосплавні	392101
Різці з механічним кріпленням пластин	392104
Різці швидкорізальні	392110
Різці для верстатів з ЧПУ	392190
Пили круглі сегментні	392210
Протяжки	392302
Довбачи зуборізні	392410
Шевери дискові	392430
Головки зуборізні для конічних коліс	392460
Гребінки зуборізні	392480
Головки, плашки, ролики різьбонакатні	392500
Головки різьбонарізальні	392514
Полотна ножівкові ручні і машинні	392540
Напилки і борфрези	392900
Калібри гладкі і скоби	393120
Калібри для конусів Морзе	393131
Калібри для метричної різьби (пробки, кільця)	393140
Міри для довжини кінцеві плоскопаралельні	393200
Штангенциркулі	393311
Штангенрейсмаси	393320
Мікрометри гладкі	393410
Мікрометри різьбові	393420
Глибиноміри мікрометричні	393440
Нутроміри мікрометричні	393450
Лінійки лекальні	393510
Плити перевірочні і розмічальні	393550
Індикатори важільно-пружинні	394130
Прилади вимірювальні універсальні	394300
Прилади активного контролю	394630
Прилади для розмірної настройки поза верстатом ріжучих інструментів для верстатів з ЧПУ	304650
Прилади для вимірювання ріжучого інструменту	394920
Інструмент алмазний шліфувальний на органічній зв'язці	397110

Продовження табл.5

1	2
Інструмент алмазний шліфувальний на металевій зв'язці	397120
Інструмент алмазний шліфувальний на керамічній зв'язці	397130
Інструмент абразивний з електрокорунду	398110
Інструмент абразивний з карбїду кремнію	398150
Патрони токарні	396110
Лещата машинні	396131
Головки ділильні універсальні	396141
Столи поворотні	396151
Плити магнітні	396161
Пристосування універсальні збірні переналагоджувані	396181
Ключі гайкові, торцеві, трубні, спеціальні	392650
Інструмент допоміжний для верстатів з ЧПУ	392801
Центри обертальні	392841
Лещата слюсарні верстатні	392871

Таблиця 6. Показчик кодів основних видів заготовок в машинобудуванні (вибірково)

Вид заготовок	Код
1	2
Сталь крупносортова низьковуглецева	09312X
Сталь середньосортова низьковуглецева	09322X
Сталь дрібносортова низьковуглецева	09332X
Сталь сортова конструкційна	09501X
Сталь сортова вуглецева	09503X
Сталь сортова легована	09504X
Сталь сортова інструментальна	0966XX
Сталь сортова швидкокорізальна	0962XX
Труби безшовні вуглецеві	134XXX
Відливки з ковкого чавуну	411ШХ
Відливки з сірого чавуну	41112X
Відливки з легованих чавунів	41114X
Відливки з вуглецевої сталі	41121X
Відливки з легованої сталі	41123X
Штампкування з чорних металів	41211X
Поковки з прокату чорних металів	41212X
Поковки з прокату кольорових металів	41222X
Металоконструкції зварні корпусні	41333X
Металоконструкції зварні циліндрові	41336X

Таблиця 7. Показчик кодів професій в машинобудуванні (вибірково)

Найменування професій	Код
1	2
Довбальник	11868
Заточник	12260
Зуборізальник	12287
Зубошліфувальщик	12290
Оператор автоматичних ліній	14972
Оператор верстатів з ЧПУ	15292
Полірувальник	15887
Пресувальник	16014
Протягувальник	16458
Розмітник	16641
Різальник на пилах, ножівках і верстатах	16937
Різьбофрезерувальник	17001
Різьбошліфувальник	17003
Свердлувальник	17335
Слюсар-інструментальник	17461
Слюсар механозбиральних робіт	17474
Верстатник на спеціальних верстатах по обробці металу	17845
Стругальник	17960
Токар	18217
Токар-карусельник	18219
Токар-напівавтоматник	18225
Токар-розточувальник	18235
Токар-револьверник	18236
Фрезерувальник	18632
Шліфувальник	18873

2. Операційна карта

Структура побудови операційної карти (ОК) ідентична структурі побудови маршрутної карти. Запис інформації виконується порядково з прив'язкою до відповідних службових символів.

Вказівку одиниць величини слід виконувати в заголовках або підзаголовках відповідних граф. Допускається указувати одиниці величини параметрів технологічних режимів після їх числових значень, наприклад, 40 мм; 0,2 мм/об; 36 мм/хв.

Вказівку даних по технологічних режимах слід виконувати після запису складу застосовуючої технологічної оснастки.

При вказівці даних по технологічній оснастці інформацію необхідно за-

писувати в наступній послідовності:

- 1) пристосування;
- 2) допоміжний інструмент;
- 3) ріжучий інструмент;
- 4) засоби вимірювання.

В цілях розділення інформації по групах технологічної оснастки і пошуку необхідної інформації допускається перед вказівкою складу застосовувати умовне позначення видів: пристосувань – “ПР”; допоміжного інструменту – “ДІ”; ріжучого інструменту – “РІ”; засобів вимірювань – “ЗВ”. Наприклад, ЗВ. АВВХХХ. Пробка 024Н7-пр.

При описі змісту переходу необхідно указувати дані по Tg і Tв. Це слід виконувати на рівні рядка, де закінчується опис змісту переходу під службовим символом “О”.

Більшість граф операційної карти відповідає аналогічним графам маршрутною карти. Інформацію по додаткових графах слід вносити відповідно до рис. 2 і табл. 8.

Запис змісту переходу слід виконувати відповідно до рекомендацій табл. 9. Повний запис роблять при необхідності переліку всіх розмірів, що витримуються. Скорочена використовується при посиланні на умовне позначення конструктивного елемента оброблюваного виробу.

Даний запис виконується при достатній графічній інформації. Для проміжних переходів, що не мають графічних ілюстрацій, в змісті слід указувати виконавчі розміри з їх граничними відхиленнями і при необхідності шорсткість обробленої поверхні і інші технічні вимоги. Наприклад, “Точити поверхню 3, витримуючи $d=40_{-0,34}$ і $l=100+0,4$ ”.

Переходи (основні і допоміжні) нумерується арабськими цифрами 1, 2, 3...

У загальному випадку в зміст переходу включається:

- 1) ключове слово, що характеризує метод обробки, виражене дієсловом в невизначеній формі (табл. 10);
- 2) найменування (іменник в знахідному відмінку) оброблюваної поверхні, конструктивних елементів або предметів виробництва, наприклад, “отвір”, “фаску”, “канавку”, “заготовку” і інші;
- 3) інформація про розміри обробки різанням або їх умовних позначеннях, приведених на операційних ескізах і вказаних там арабськими цифрами в колі діаметром 6...8 мм (табл. 9);
- 4) додаткова інформація, що характеризує кількість одночасно або послідовно оброблюваних поверхонь, характер обробки, наприклад, “попередньо”, “послідовно”, “по копіру”.

Параметри шорсткості оброблюваної поверхні указуються тільки позначеннями на операційному ескізі. Допускається указувати в тексті змісту операції інформацію про параметр шорсткості попередньо оброблюваних поверхонь (проміжних переходів), якщо це не можна вказати на операційному ескізі, наприклад, “фрезерувати попередньо поверхню 1, витримуючи висоту $70 \pm 0,5$ ” $R_z=50$ ”.

Дубл. У заст. Підп.											ГОСТ 3.7118-82 Форма						
Розробив	Іванов			25.06.05			СІБГТУ		XXXX.31705.XXXX		60102.XXXX						
Перевірив	Петров			24.06.05													
Пріписав																	
Загвардив																	
Н. контроль																	
M01	Круг В25 ГОСТ 2490-71/45 ГОСТ 1050-74																
M02	Код	1:В	МД	ЕН	11 рас	КІМ	Код загот.	Профіль і розміри		КД	М3						
			0,72	1	1,26	0,7	0950018 пр.	Ø 35x3000		10	12,6						
A	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код, найменування операції					Позначення документа							
B	Код, найменування обладнання					СМ	Проф	P	УТ	КР	КОНД	ЕН	ОП	Квт.	Тпа.	Тшт.	
A 03	XX	XX	XX	005	4280 Абразивна - відрізна					ГОТ	XX X						
B 04	38176 X XXX			8R240		2	16869	211	1P	1	1	1	800	0.65	8	0.51	
A 05	3961 31	X	XX X	лещата машинні; 398110. XXXX круг абразивний Д 500x 76x 5 25А 16 с11 1 БС 90 н/с А 1кл.													
06	XXXXXX			XXXX шаблон													
A 07	XX	XX	XX	010	4269, Фрезерно - центральна					ГОТ	XX X						
B 08	381825. XXXX			MP76 M		2	18632	311	111	1	2	1	800	1	10	0.76	
T 09	391855. XXXX (2) фреза торцева Ø 160 8 - 10 ВК6											391242. XXXX (2), свердло центральне Ø 4 тип В Р6М5					
10	393311 XXXX шц -1- 150 - 0,14; 393311. XXXX, шц. -11- 250 -0,05																
A 11	XX	XX	XX	015	4110. Токарна чорнова					ГОТ	XXX						
B 12	381101. XXXX, 16K20					2	15292	411	1P	1	1	1	800	1	18	0.92	
T 13	392101. XXXX, р. Ін. ВК6; 393120. XXXX, калібр - скоба;											XXXXXXXX. XXXX. шаблон					
14																	
A 15	XX	XX	XX	020	XXXX, Термічна - нормалізація					ГОТ	XXX						
МК																	

Рис. 1. Приклад заповнення маршрутної карти.

ГОСТ 3.1404-86 Форма 3											
Дубл.											
У заст.											
Підпис						Ізм	Лист	Модокум.	Підпис		
									3		
									1		
Розроб.	Іванов		25.06.05	СПБГТУ	XXXX.32705.XXX				60102/XXXX		
Перевірив	Петров		25.06.05								
Приймав											
Затвердив											
П. контроль					Вал шліцювий			КП	020		
Найменування операції			Матеріал			Твердість	ЕВ	МД	Профіль і розмір	МЗ	КОД
Токарна чорнова			Сталь 45 ГОСТ 1050-74					0,72			
Обладнання, пристрій ЧПУ			Позначення програми			То	Тв	Тп/з	Тшт.	СОР	
Токарно-гвинторізний 16K20						3,24	2,02	23	6,24	Емульсія XXX	
P				П	Д або В	L	r	i	S	n	v
01					мм	мм	мм	-	мм/об	Об/хв	об/хв
0 02	1. Встановити і закріпити заготовку										
T 03	396110. XXX. Патрон повідковий; 392841. XXXX, центр обертальний										
04											
0 05	2. Точити поверхню 3										
T 06	392101. XXXX, р. пн. ВК6; 393311. XXXX. ШЦ -1- 125 -0,1										
P 07					32	40	1,5	1	0,5	1000	100
08											
0 09	3. Точити канавку 2										
T 10	392110. XXXX, р.канавковий Р6М5; XXXXXX. XXXX шаблон										
P 11					28	1	0,3	1	0,06	630	62
12											
13											
OK											

Рис. 2. Приклад заповнення операційної карти.

Таблиця 8. Інформація по додаткових графах операційної карти

Номер пункту пошуку	Найменування (умовне позначення графи)	Зміст інформації
1	2	3
1	–	Графи для запису змісту переходу, інформації по оснастці, ріжучому і вимірювальному інструменту
2	ПІ	Номер позиції інструментальної наладки. Графа заповнюється для верстатів з ЧПУ
3	То	Норма основного часу на операцію, хв
4	Д або В	Розрахунковий розмір оброблюваного діаметру (ширини) деталі. Дані по “Д” або “В” указуються з урахуванням величини урізування і перебігу
5	Тд	Норма допоміжного часу на операцію, хв
6	L	Розрахунковий розмір довжини робочого ходу з урахуванням величини урізування і перебігу
7	t	Глибина різання
8	i	Число робочих ходів
9	S	Подача
10	N	Частота обертання шпінделя
11	V	Швидкість різання
12	–	Номер операції
13	ЗОР	Інформація по застосовуваній змащувально-охолоджуючій рідині

Ключові слова технологічних переходів

Ключове слово при обробці різанням	Ключове слово при слюсарних роботах
1	2
Вальцювати	Балансувати
Врізатися	Базувати
Галтовать	Завити
Гравірувати	Гравірувати
Довести	Гнути
Довбати	Застебнути
Закруглювати	Зачистити
Загочити	Запресувати
Загилувати	Калібрувати
Зенкерувати	Зенкувати
Зенкувати	Навити
Навити (на верстаті)	Застопорити
Накатати	Нарізувати
Нарізувати	Кернити
Обкачати	Обпиляти
Обпиляти	Відрізувати

Продовження

1	2
Відрізувати	Правити
Підрізати	Клепати
Полірувати	Полірувати
Притирати	Притирати
Приробити	Розрізати
Протягнути	Контрити
Розвернути	Маркірувати
Розвальцьовувати	Розвернути
Розкотити	Розвальцьовувати
Розсвердли	Нанести
Розточити	Відрубати
Свердли	Очистити
Стругати	Свердли
Суперфінішувати	Пломбувати
Точити	Розмітити
Хонінгувати	Розгвинтити
Шевінгувати	Розпресувати
Шліфувати	Розшплінтувати
Цековать	Розібрати
Центрувати	Розпломбувати
Фрезерувати	Розштифувати
Вивірити	Центрувати
Закріпити	Згвинтити
Набудувати	Склеїти
Переустановити	Зібрати
Переустановити і закріпити	Шабріти
Переустановити, вивірити і закріпити	Шплінтувати
Перемістити	Штіфтовати
Підібгати	Довести
Перевірити	Закріпити
Змазати	Змазати
Зняти	Зняти
Встановити	Встановити
Встановити і вивірити	
Встановити і закріпити	
Встановити, вивірити і закріпити	

3. Карта ескізів

Карта ескізів (КЕ) – основний графічний документ, що дає наочну інформацію про виконувану технологічну операцію.

Ескізи слід виконувати з дотриманням масштабу або без дотримання масштабу, але із зразковим дотриманням пропорцій.

При розробці технологічної операції необхідно пам'ятати, що спочатку розробляється і повністю оформляється ескіз на карті ескізів, а тільки потім заповнюється текстова операційна карта. На кожному ескізі необхідно показати:

1. Заготовку в робочому положенні, причому її контур зображається у такому вигляді, в якому вона виходить в кінці даної операції або установа. Якщо операція виконується за декілька установів, то ескіз виконується на кожен установ окремо. В цьому випадку кожному ескізу привласнюється номер операції і через риску – номер допоміжного переходу на той, що перезакріплює заготовки. Наприклад, 020-1, 065-2 і інші
2. Поверхні, оброблювані на даній операції, виділяються потовщеними чорними лініями. У учбових цілях допускається виділяти оброблювані поверхні червоним кольором.
3. Умовне позначення опор, затисків, установчих пристроїв виконується згідно ГОСТ 3.1107-81 (Опори, затиск і установчи пристрої. Графічні позначення). Можливо використовувати літературу за технологією машинобудування, де приведений цей стандарт.
4. Розміри, одержувані на даній операції з вказівкою допусків і шорсткості поверхні. При цьому необхідно врахувати, що на ескізі проставляються тільки ті розміри, які забезпечуються на даній операції. Проставляти розміри слід так, щоб не з'явилася необхідність перерахунку номінальних значень і допусків на них, тобто простановка розміру повинна враховувати спосіб його отримання (технологічна база повинна бути суміщена з вимірювальною).
5. Габаритні розміри заготовки (як довідкові дані).
6. Допуски на погрішності форми, взаємного розташування поверхонь, якщо це необхідне забезпечити на даній операції.
7. Ріжучий інструмент показується в міру необхідності, переважно в кінці робочого ходу (якщо інструмент погіршує видимість ескіза, то його можна зобразити відведеним від заготовки).

При оформленні карти ескізів нумерацію оброблюваних поверхонь, або розмірів обробки (див. табл. 9), що проставляється в кружечках, слід починати з цифри 1. Послідовність простановки номерів в кружечках рекомендується вести по ходу годинникової стрілки. Нумерація відноситься тільки до конкретної даної операції (установи). На наступних операціях (установах) нумерація знову починається з цифри 1. При цьому, природно, одна і та ж поверхня заготовки на різних операціях (установах) може мати різний номер.

При заповненні основного напису на карті ескізів (у верхній частині) необхідно пам'ятати, що середня графа з трьох граф, обведених жирною лінією (див. пункт 3 табл. 2), не заповнюється.

Для більшої наочності в курсових і дипломних проектах деякі ескізи за узгодженням з керівником оформляють на аркуші формату А1 в напівконструктивному вигляді (ескізи наладок). При цьому на одному аркуші формату А1 можна розмістити від двох до чотирьох ескізів. На ескізі наладки показується все те ж, що і на карті ескізів, і додаткова інформація:

- теоретична схема базування заготовки по ГОСТ 21495-76 (Базування і бази в машинобудуванні); при цьому опорні точки рекомендується викона-

ти кольоровим олівцем (червоним, зеленим), щоб відрізнити їх від умовних знаків опор, затисків пристосування;

- ріжучий інструмент;
- траєкторія руху ріжучого інструменту для верстатів з ЧПУ (в міру необхідності);
- таблиця з режимами різання (виконується в довільній формі);
- деякі елементи конструкції верстатного пристосування (в міру необхідності).

Над кожним ескізом наладки указується найменування операції і її номер згідно маршрутної карти.

4. Документи технічного контролю

При виконанні курсового і дипломного проектування як основний документ технічного контролю слід використовувати операційну карту технічного контролю по ГОСТ 3.1502-85 (форма 2).

Інформація, що вноситься в карту, вибирається з табл. 11. Приклад карти представлений на рис. 3.

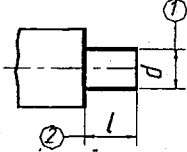
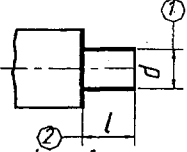
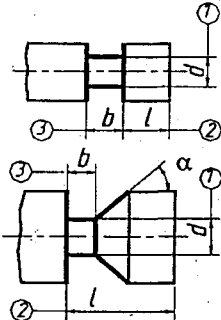
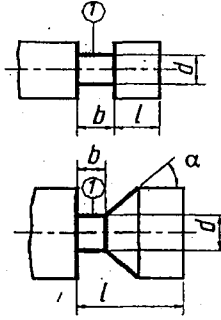
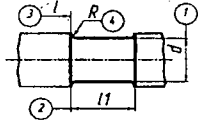
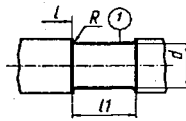
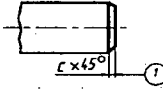
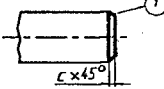
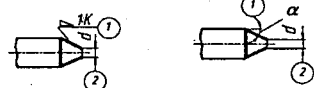
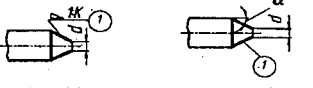
Решта граф заповнюється по аналогії з маршрутною і операційною картами. При описі операцій технічного контролю слід застосовувати повну або коротку форму запису змісту переходів. Повну форму запису слід виконувати на всю довжину рядка з включенням граф "Об'єм і ПК" і " T_0/T_d " з можливістю перенесення інформації на подальші рядки. Дані про використані засоби вимірювання слід записувати завжди з нового рядка. Коротку форму запису треба застосовувати тільки при перевірці контрольованих розмірів і інших даних, виражених числовими значеннями. В цьому випадку текстовий запис застосовувати не слід, необхідно вказати тільки відповідні параметри, наприклад, $047 \pm 0,039$. Дані про використані засоби технологічного оснащення слід записувати виходячи з їх можливостей.



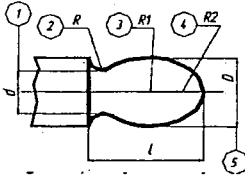
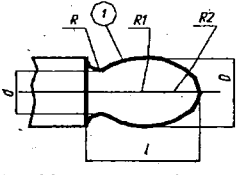
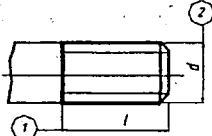
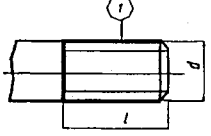
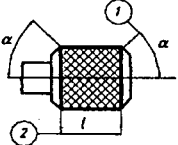
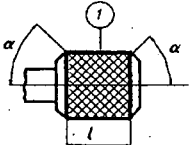
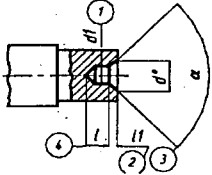
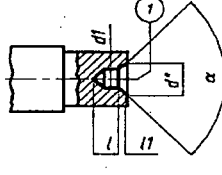
При необхідності графічних зображень до текстових документів їх слід виконувати на формі карти ескізів по ГОСТ 3.1105-84.

Таблиця 9. Інформація, що вноситься в карту технічного контролю

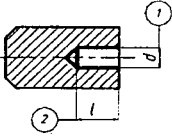
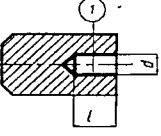
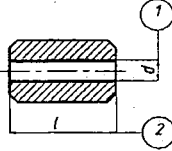
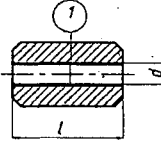
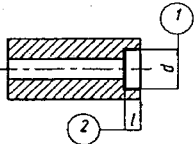
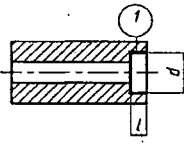
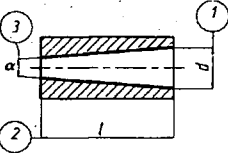
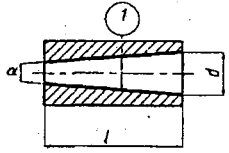
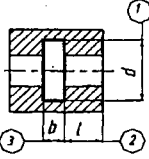
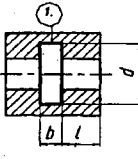
Номер пункту пошуку	Найменування (умовне позначення графи)	Зміст інформації
1	Контрольовані параметри	Параметри, по яких йде технічний контроль
2	T_0	Сумарний основний час на операцію
3	T_d	Сумарний допоміжний час на операцію
4	Код засобу ТО	Код, позначення засобів технологічного оснащення (ТО) по класифікатору або по НТД (нормативно-технічним документам)
5	Найменування засобу ТО	Коротке найменування засобу технологічного оснащення
6	Об'єм і ПК	Об'єм контролю (у шт.; %) і періодичність контролю (ПК) (у годину, зміну і т.д.)
7	T_0/T_d	Основний або допоміжний час на перехід

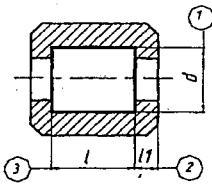
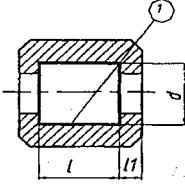
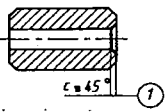
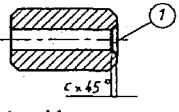
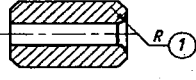
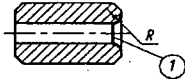
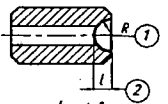
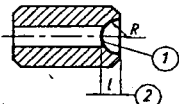
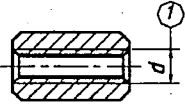
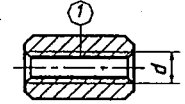
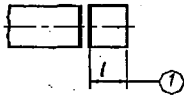
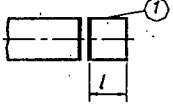
Таблиця 10. Приклади повного і скороченого запису змісту переходів обробки різанням (ГОСТ 3.1702-79)

Ескіз і повний запис переходів	Ескіз і скорочений запис переходів
1	2
 <p>Точити (шліфувати, притерти, полірувати і т.п.) поверхню, витримуючи розміри l і 2</p>	 <p>Точити (шліфувати, притерти, полірувати і т.п.) поверхню 1</p>
 <p>Точити (шліфувати, довести, полірувати і т.п.) канавку, витримуючи розміри $1-3$ і кут α</p>	 <p>Точити (шліфувати, довести, полірувати і т.п.) канавку 1</p>
 <p>Точити (шліфувати, полірувати і т.п.) виточку, витримуючи розміри $1-4$</p>	 <p>Точити (шліфувати, полірувати і т.п.) виточку 1</p>
 <p>Точити (шліфувати, полірувати і т.п.) фаску, витримуючи розмір 1</p>	 <p>Точити (шліфувати, полірувати і т.п.) фаску 1</p>
 <p>Точити (шліфувати, притерти і т.п.) конус, витримуючи розміри 1 і 2</p>	 <p>Точити (шліфувати, притерти і т.п.) конус 1</p>

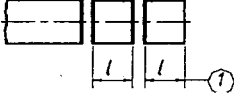
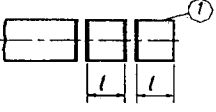
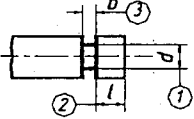
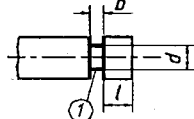
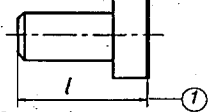
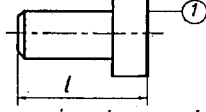
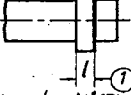
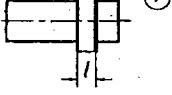
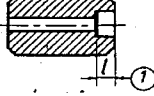
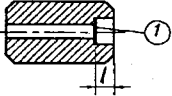
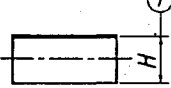
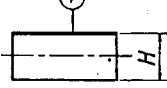
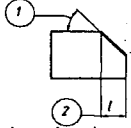
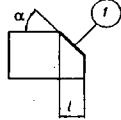
1	2
 <p>Точити (шліфувати, полірувати і т.п.) сферу, витримуючи розмір 1</p>	 <p>Точити (шліфувати, полірувати і т.п.) сферу 1</p>
 <p>Точити (шліфувати, полірувати і т.п.) криволінійну поверхню, витримуючи розміри 1-5</p>	 <p>Точити (шліфувати, полірувати і т.п.) криволінійну поверхню 1</p>
 <p>Нарізувати (фрезерувати, накатати, шліфувати і т.п.) різьбу, витримуючи розміри 1 і 2</p>	 <p>Накатати (фрезерувати, накатати, шліфувати і т.п.) різьбу 1</p>
 <p>Накатати рифлення, витримуючи розміри 1 і 2</p>	 <p>Накатати рифлення 1</p>
 <p>Центрувати торець, витримуючи розміри 1-4</p>	 <p>Центрувати торець 1</p>

Продовження табл.10

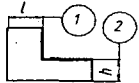
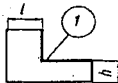
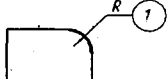
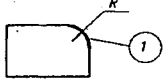
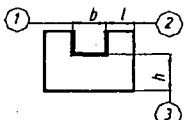
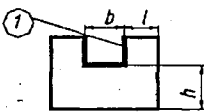
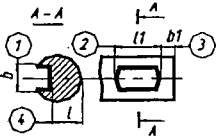
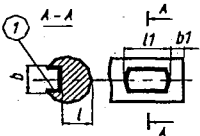
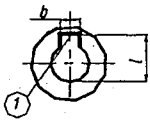
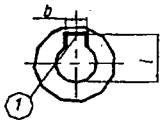
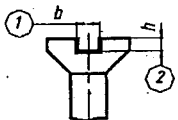
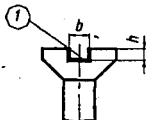
1	2
 <p data-bbox="123 295 579 359">Свердлити (зенкувати, розвернути і т.п.) отвір, витримуючи розміри 1 і 2</p>	 <p data-bbox="579 295 1004 359">Свердлити (зенкувати, розвернути і т.п.) отвір 1</p>
 <p data-bbox="123 542 579 606">Свердлити (розсвердлити, зенкувати і т.п.) отвір, витримуючи розміри 1 і 2</p>	 <p data-bbox="579 542 1004 606">Свердлити (розсвердлити, зенкувати, і т.п.) отвір 1</p>
 <p data-bbox="123 774 579 853">Розточити (зенкувати, шліфувати і т.п.) отвір, витримуючи розміри 1 і 2</p>	 <p data-bbox="579 774 1004 853">Розточити (зенкувати, шліфувати і т.п.) отвір 1</p>
 <p data-bbox="123 1037 579 1133">Розточити (зенкувати, розвернути і т.п.) кінцевий отвір, витримуючи розміри 1-3</p>	 <p data-bbox="579 1037 1004 1133">Розточити (зенкувати, розвернути і т.п.) отвір 1</p>
 <p data-bbox="123 1324 579 1388">Розточити канавку, витримуючи розміри 1-3</p>	 <p data-bbox="579 1324 1004 1388">Розточити канавку 1</p>

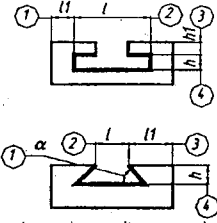
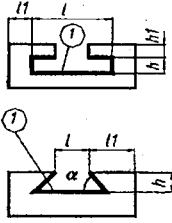
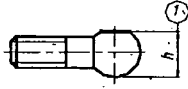
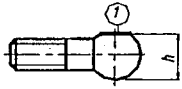
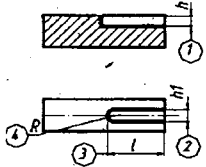
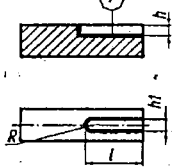
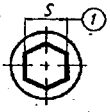
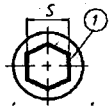
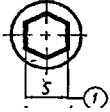
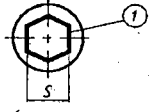
1	2
	
<p>Розточити (полірувати, довести і т.п.) виточку, витримуючи розміри 1-3</p>	<p>Розточити (полірувати, довести і т.п.) виточку 1</p>
	
<p>Зенкувати (шліфувати, полірувати і т.п.) фаску, витримуючи розмір 1</p>	<p>Зенкувати (шліфувати, полірувати і т.п.) фаску 1</p>
	
<p>Розточити (зенкувати, шліфувати, полірувати і т.п.) галтель, витримуючи розмір 1</p>	<p>Розточити (зенкувати, шліфувати, полірувати і т.п.) галтель 1</p>
	
<p>Розточити (шліфувати, полірувати і т.п.) сферу, витримуючи розміри 1 і 2</p>	<p>Розточити (шліфувати, полірувати і т.п.) сферу 1</p>
	
<p>Нарізувати (шліфувати, довести і т.п.) різьбу, витримуючи розмір 1</p>	<p>Нарізувати (шліфувати, довести і т.п.) різьбу 1</p>
	
<p>Відрізувати деталь (заготівку), витримуючи розмір 1</p>	<p>Відрізувати деталь (заготівку) 1</p>

Продовження табл.10

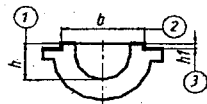
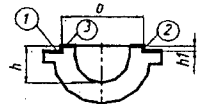
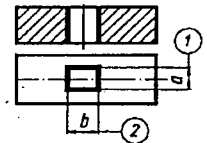
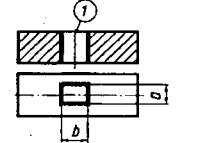
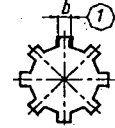
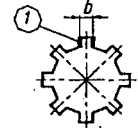
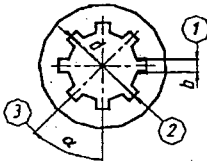
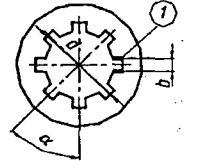
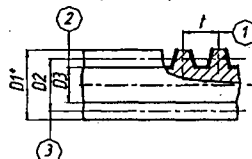
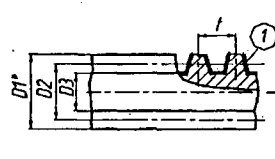
 <p>Відрізувати 2 заготовки, витримуючи розмір 1</p>	 <p>Відрізувати 2 заготовки 1</p>
 <p>Врізатися в поверхню (надізнати деталь), витримуючи розміри 1 і 3</p>	 <p>Врізатися в поверхню 1 (надізнати деталь по поверхні 1)</p>
 <p>Підрізати (шліфувати, полірувати і т.п.) торець, витримуючи розмір 1</p>	 <p>Підрізати (шліфувати, полірувати і т.п.) торець 1</p>
 <p>Підрізати (шліфувати, полірувати і т.п.) торець буртика, витримуючи розмір 1</p>	 <p>Підрізати (шліфувати, полірувати і т.п.) торець буртика 1</p>
 <p>Підрізати (шліфувати, полірувати і т.п.) дно отвору, витримуючи розмір 1</p>	 <p>Підрізати (шліфувати, полірувати і т.п.) дно отвору 1</p>
 <p>Фрезерувати (стругати, шліфувати і т.п.) поверхню, витримуючи розмір 1</p>	 <p>Фрезерувати (стругати, шліфувати і т.п.) поверхню 1</p>
 <p>Фрезерувати (стругати, шліфувати і т.п.) фаску, витримуючи розміри 1 і 2</p>	 <p>Фрезерувати (стругати, шліфувати і т.п.) фаску 1</p>

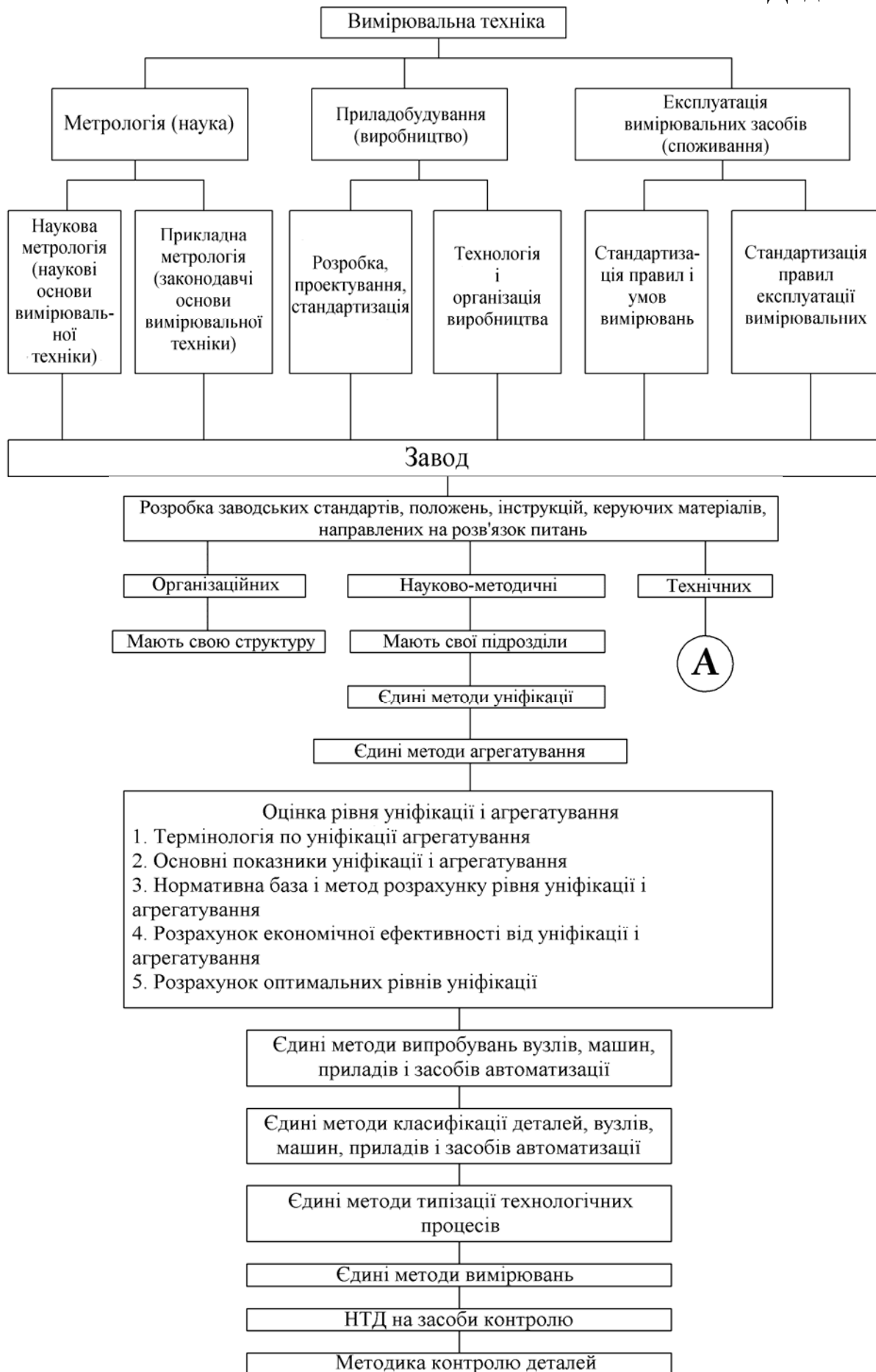
Продовження табл.10

1	2
 <p>Фрезерувати (стругати, шліфувати і т.п.) уступ, витримуючи розміри l і 2</p>	 <p>Фрезерувати (стругати, шліфувати і т.п.) уступ 1</p>
 <p>Фрезерувати (стругати, шліфувати, протягувати і т.п.) галтель, витримуючи розмір 1</p>	 <p>Фрезерувати (стругати, шліфувати, протягувати і т.п.) галтель 1</p>
 <p>Фрезерувати (стругати, протягувати, шліфувати, і т.п.) паз, витримуючи розміри $1-3$</p>	 <p>Фрезерувати (стругати, протягувати, шліфувати, і т.п.) паз 1</p>
 <p>Фрезерувати паз шпонки, витримуючи розміри $1-4$</p>	 <p>Фрезерувати паз шпонки 1</p>
 <p>Довбати (протягувати) паз шпонки, витримуючи розміри 1 і 2</p>	 <p>Довбати (протягувати) паз шпонки 1</p>
 <p>Фрезерувати (протягувати) шліц, витримуючи розміри 1 і 2</p>	 <p>Фрезерувати (протягувати) шліц 1</p>

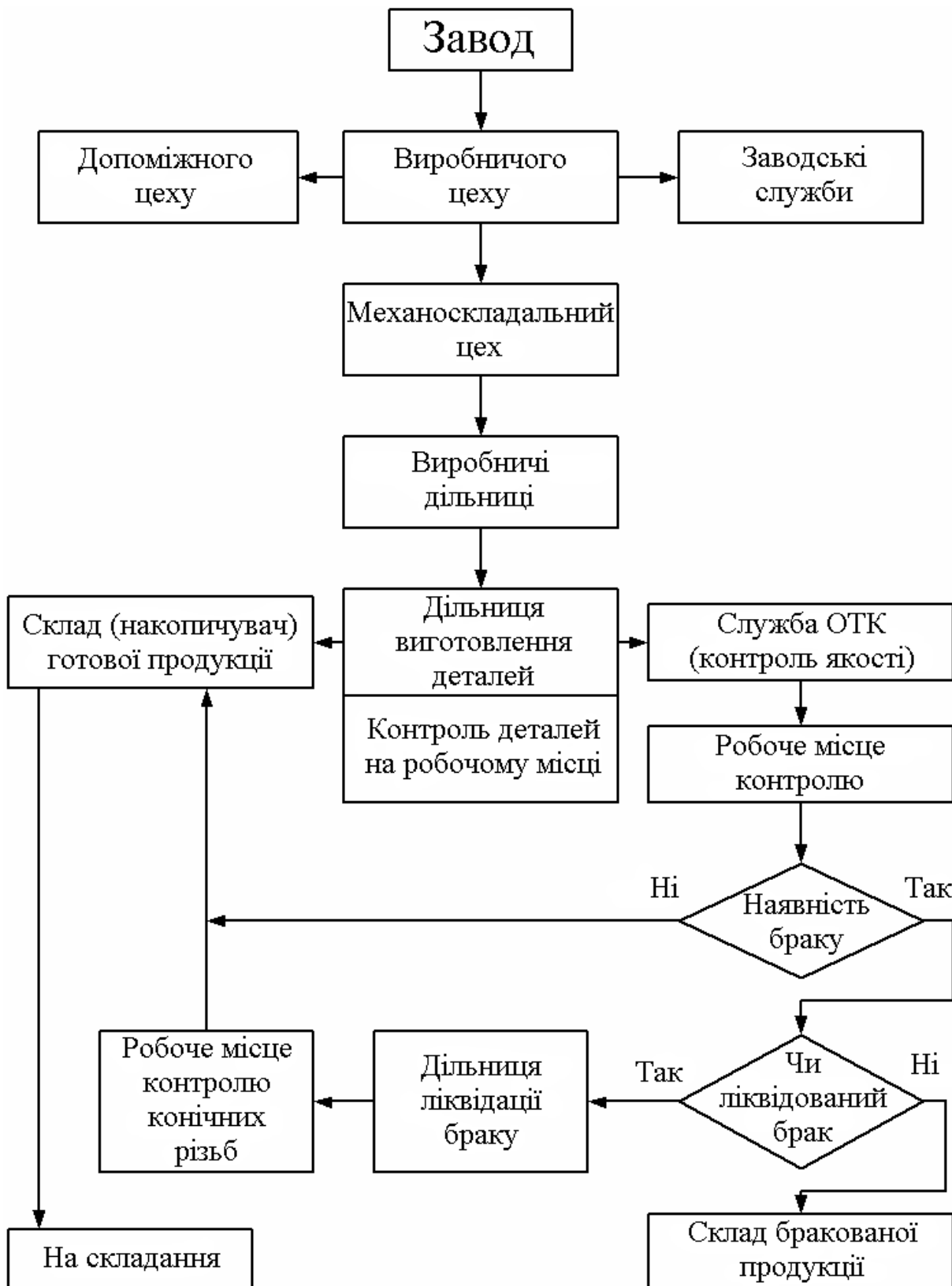
1	2
 <p>Фрезерувати (протягувати) паз, витримуючи розміри 1 - 4</p>	 <p>Фрезерувати (протягувати) паз 1</p>
 <p>Фрезерувати (стругати, шліфувати і т.п.) лиску, витримуючи розмір 1</p>	 <p>Фрезерувати (стругати, шліфувати і т.п.) лиску 1</p>
 <p>Фрезерувати паз по розмітці, витримуючи розміри 1 - 4</p>	 <p>Фрезерувати паз 1 по розмітці</p>
 <p>Довбати (протягувати) шестигранник, витримуючи розмір 1</p>	 <p>Довбати (протягувати) шестигранник 1</p>
 <p>Фрезерувати (стругати, шліфувати і т.п.) шестигранник, витримуючи розмір 1</p>	 <p>Фрезерувати (стругати, шліфувати і т.п.) шестигранник 1</p>

Продовження табл.10

1	2
 <p>Фрезерувати (шліфувати, полірувати і т.п.) поверхні, витримуючи розміри 1-3</p>	 <p>Фрезерувати (шліфувати, полірувати і т.п.) поверхні 1 і 2</p>
 <p>Прошити (довбати, протягувати і т.п.) отвір, витримуючи розміри 1 і 2</p>	 <p>Прошити (довбати, протягувати і т.п.) отвір 1</p>
 <p>Фрезерувати (шліфувати, полірувати і т.п.) бічні поверхні шліців, витримуючи розмір 1</p>	 <p>Фрезерувати (шліфувати, полірувати і т.п.) бічні поверхні шліців 1</p>
 <p>Довбати (протягувати) шліці, витримуючи розміри 1 і 3</p>	 <p>Довбати (протягувати) шліці 1</p>
 <p>Нарізувати (фрезерувати, шліфувати і т.п.) черв'як, витримуючи розміри 1 - 3</p>	 <p>Нарізувати (фрезерувати, шліфувати і т.п.) черв'як 1</p>







Таблиця 1. Відносний знос u_0 (мкм/км) різців при чистовому точінні

Матеріал інструмента	Вуглецева сталь	Легована сталь	Сірий чавун	Чавун, НВ 375-400
T60K	0,7-4	0,7-4	—	—
T30K4	3-4	4-6	—	—
T15K	5-7	9-10	—	—
T5K0	8	12-13	—	—
BK9	—	65	—	—
BK8	—	17-25	13-14	—
BK6	—	—	14	—
BK4	—	15-30	—	—
BK3	—	9-10	6	16
BK2	—	—	4-26	12

Таблиця 2. Верстати токарні багаторізцеві і багаторізцево-копіювальні горизонтальні напівавтоматичні (ГОСТ 16472-79)

Параметр	Клас точності	Найбільший діаметр встановлюваної заготовки, мм				
		160	200	250	320	400
Найбільше припустиме переміщення під навантаженням повздовжнього супорта щодо оправки, закріпленої в шпинделі чи перехідній втулці, мкм	Н	160	220	320	450	630
	П	100	140	200	280	400
Те ж, щодо оправки, закріпленої в пінолі, мкм	Н	200	300	450	670	1000
	П	120	200	280	400	630
Найбільше припустиме переміщення під навантаженням поперечного супорта щодо оправки, закріпленої в шпинделі чи перехідній втулці, мкм	Н	300	450	670	1000	1500
	П	200	280	400	630	1000
Сила, КН	Н	6	10	16	26	40
	П	5	8	12	20	30

Таблиця 3. Значення коефіцієнтів і показників ступенів у формулах сили різання

Матеріал робочої частини	Вид обробки	Коефіцієнти і показники ступенів			
		C_{py}	x	y	n
Твердий сплав	Зовнішнє повздовжнє і поперечне точіння і ротокування	243	0,9	0,6	-0,3
Твердий сплав	Зовнішнє повздовжнє точіння різцями з додатковим лезами	355	0,6	0,8	-0,3
Твердий сплав	Відрізання і прорізання	173	0,73	0,67	0
Швидкоріжуча сталь	Зовнішнє повздовжнє точіння, підрізання і розточування	125	0,9	0,75	0
Швидкоріжуча сталь	Відрізання і прорізання	—	—	—	—

Таблиця 4. Значення поправочного коефіцієнта $k_{\phi\phi}$ від головного кута в плані

Матеріал ріжучої частини	Величина кута, ϕ°	Поправочні коефіцієнти, $k_{\phi\phi}$
Твердий сплав	30	1,3
Твердий сплав	45	1
Твердий сплав	60	0,77
Твердий сплав	90	0,5
Швидкоріжуча сталь	30	1,63
Швидкоріжуча сталь	45	1
Швидкоріжуча сталь	60	0,71
Швидкоріжуча сталь	90	0,44

Таблиця 5. Допустимі похибки вимірювання $\Delta_{\text{вим}}$ (мкм) лінійних розмірів (довжин, діаметрів) в залежності від допусків і якітетів точності розмірів

Квалітет	Похибка	Номинальні розміри, мм									
		>.3	>.6	>.10	>.18	>.30	>.50	>.80	>.120	>.180	>.250
		до 6	до 10	до 18	до 30	до 50	до 80	до 120	до 180	до 250	до 315
4	IT	4	4	5	6	7	8	10	12	14	16
	$\Delta_{\text{изм}}$	1,4	1,4	1,7	2	2,4	2,8	3,5	4	4,5	5,5
5	IT	5	6	8	9	11	13	15	18	20	23
	$\Delta_{\text{изм}}$	1,4	2	2,8	3	4	4,5	5	6	7	8
6	IT	8	9	11	13	16	19	22	25	29	32
	$\Delta_{\text{изм}}$	2,5	2,5	3	4	4,5	5,5	6	7	9	10
7	IT	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52
	$\Delta_{\text{изм}}$	3,5	4,5	5,5	6	7	9	10	12	13	15

Закінчення табл. 5

8	IT	18	22	27	33	39	46	54	63	72	81
	$\Delta_{\text{ИЗМ}}$	4,5	5,5	7	8	10	12	13	16	18	20
9	IT	30	36	43	52	62	74	87	100	115	130
	$\Delta_{\text{ИЗМ}}$	7	9	10	13	15	18	20	25	25	30
10	IT	48	58	70	84	100	120	140	160	185	210
	$\Delta_{\text{ИЗМ}}$	10	12	14	15	20	20	25	30	35	40
11	IT	75	90	110	130	160	190	220	250	290	320
	$\Delta_{\text{ИЗМ}}$	15	18	20	25	30	40	40	50	60	60
12	IT	120	150	180	210	250	300	350	400	460	520
	$\Delta_{\text{ИЗМ}}$	20	30	35	40	50	60	70	80	90	100
13	IT	180	220	270	330	390	460	540	630	720	810
	$\Delta_{\text{ИЗМ}}$	35	40	50	70	80	90	100	120	140	150
14	IT	300	360	430	520	620	740	870	100	1150	1300
	$\Delta_{\text{ИЗМ}}$	60	70	80	100	120	150	170	0	200	250
15	IT	480	580	700	840	100	1200	1400	160	1850	2100
	$\Delta_{\text{ИЗМ}}$	100	100	150	150	0	250	250	0	350	400
16	IT	750	900	110	130	160	1900	2200	250	2900	3200
	$\Delta_{\text{ИЗМ}}$	150	200	0	0	0	400	400	0	600	600

Таблиця 6. Похибка регулювання (встановлення) різця при налагодженні на розмір у поперечному напрямку.

Метод регулювання положення різця	Δ_p , мкм
По лімбу з ціною розподілу, мм	
0,01	5 - 10
0,02	10 - 15
0,03	10 - 30
0,05	15 - 30
0,1-0,5	30 - 70
По індикаторному упору з ціною розподілу приладу, мм	
0,01	10 - 15
0,002	3 - 5
0,001	1 - 2
По твердому упору	20 - 50 (10 - 130)
По еталону:	
різець закріплюють гвинтами різцетримача після торкання його з еталоном	100 - 130

різець, закріплений у різцетримачі, підводять до еталона гвинтом поперечної подачі	20 - 30
те ж, але з контролем положення різця за допомогою паперового щупа	10 - 20
те ж, але з контролем положення різця за допомогою металевого щупа	7 - 10
Встановлення взаємозамінного ріжучого інструмента із зміною:	
різця, налагодженого на розмір поза верстатом за допомогою індикатора чи мініметра блоку з різцями, налагодженими на розмір поза верстатом	20 - 30
	10 - 50
ріжучої пластинки (чи шляхом повороту круглої пластинки)	25

Додаток 21

Приклад розрахунку сумарної похибки

Сумарна похибка визначається як функція, що залежить від складових похибок:

$$\Delta_{\Sigma} = f(\sum \Delta_{\phi}, \Delta_y, \varepsilon, \Delta_{и}, \Delta_{н}, \Delta_{т}),$$

де $\sum \Delta_{\phi}$ - сумарна похибка форми виробу; Δ_y - похибка обумовлена змінністю сил внаслідок похибок заготовки; ε - похибка встановлення заготовки; $\Delta_{и}$ - похибка, обумовлена розмірним спрацюванням інструмента;

$\Delta_{н}$ - похибка розмірного налагодження верстата; $\Delta_{т}$ - похибка від теплових деформацій.

Креслення деталі і траєкторія переміщення ріжучого інструмента гідрокопіювального верстата 1E713 показані на рис. 1.

Вихідні дані для розрахунку: $d_1=45$ мм; $d_2=55$ мм; $d_3=60$ мм; $l_1=110$ мм; $l_2=175$ мм; $l_3=240$ мм; $\sigma_B=750$ МПа; $z_{\min}=0,5$ мм; $\varphi=90^\circ$; $N=30$ штук; Клас точності верстата – П; подача $S=0,15$ мм/об; швидкість різання $V=130$ м/хв; точність IT10.

1. Визначаємо похибку, обумовлену розмірним

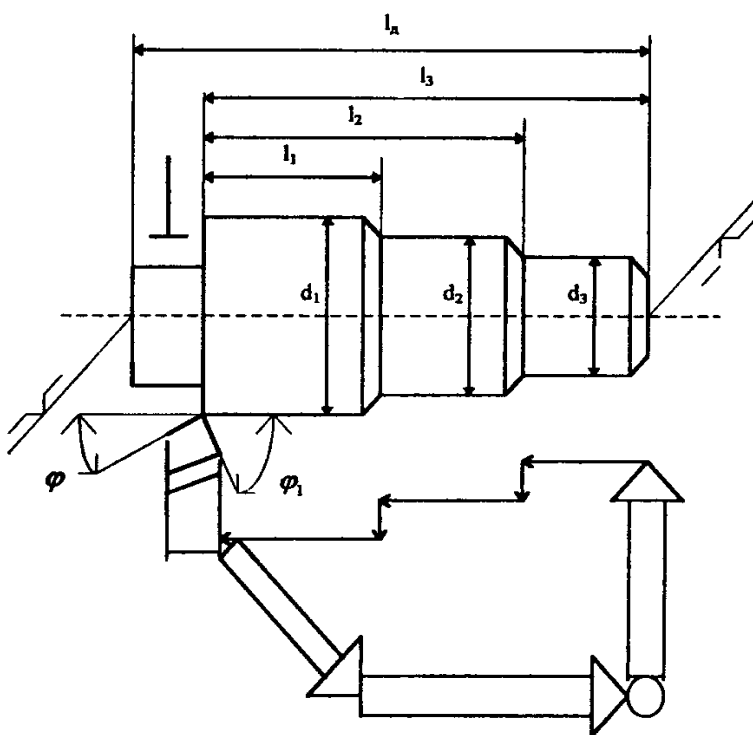


Рис. 1

спрацюванням інструмента $\Delta_{и}$.

$$\Delta_{\text{и}} = \frac{Lu_0}{1000} \cdot N,$$

де u_0 - відносне спрацювання різця при чистовому точінні (див. додаток 20, табл. 1); N - кількість деталей у партії; L - загальна довжина різання $L = \sum L_i$;

L_i - довжина на i -тій ділянці різання $L_i = \frac{\pi d_i l_i}{1000 s}$; d_i - діаметр оброблюваної

поверхні; l_i - траєкторія руху різця при обробці діаметра d_i ; s - вихідна подача.

Наприклад: підставляючи вихідні дані у формулу $L_i = \frac{\pi d_i l_i}{1000 s}$, одержуємо:

$$L_1=83,7 \text{ м}; L_2=94,2 \text{ м}; L_3=117,75 \text{ м}.$$

Підставляючи отримані дані у формулу $L = \sum L_i$ одержуємо:

$$L=295,65 \text{ мм}.$$

По табл. 1 додатка 20 знаходимо відносне спрацювання різця з пластинкою Т5К10 (сталь вуглецева) $u_0=8$ мкм/км.

Використовуючи формулу $\Delta_{\text{и}} = \frac{Lu_0}{1000} \cdot N$, знаходимо шукану похибку

від розмірного спрацювання $\Delta_{\text{и}}$: $\Delta_{\text{и}}=79,127$ мкм.

2. Визначаємо похибку викликану нерівномірністю сил різання Δ_y .

Дана похибка є випадковою і має нормальний закон розподілу.

$$\Delta_y = W_{\text{max}} (F_{y\text{max}} - F_{y\text{min}}),$$

де W_{max} - максимальна податливість технологічної системи; $F_{y\text{max}}$ - максимальна сила різання; $F_{y\text{min}}$ - мінімальна сила різання;

$$W_{\text{max}} = W_{\text{станк}} + W_{\text{заг. max}};$$

$$W_{\text{станка}} = \frac{W_{\text{шп}} + W_{\text{пин}}}{2};$$

$$W_{\text{шп}} = \frac{y_{\text{шп}}}{F};$$

$W_{\text{пин}}$ - зсув пінолі під дією сили F (див. додаток 20, табл. 2); $y_{\text{шп}}$ - зсув шпинделя під дією сили F ; F - складова сили (див. додаток 20, табл. 2);

$W_{\text{заг. max}} = \frac{y_{\text{max}}}{F_y}$; F_y - нормальна складова сили різання;

$$y_{\text{max}} = \frac{F_y \cdot L^3}{48 \cdot EI};$$

E - модуль Юнга, ($E=200$ ГПа); $I = 0,05 \cdot D^4$; I - момент інерції перетину; D - приведений (усереднений) діаметр;

$$D = \frac{\sum d_i L_i}{3} \cdot \frac{1}{l_d}.$$

Остаточна формула для визначення $W_{\text{заг. max}}$:

$$W_{\text{заг. max}} = \frac{L^3}{48 \cdot EI}$$

$$F_y = 10 \cdot C_{\text{py}} \cdot t^x \cdot s^y \cdot v^n \cdot k_p$$

Коефіцієнти C_{py} , x , y , n вибираються з табл. 3 додатка 20

$$k_p = k_{mp} \cdot k_\phi$$

Коефіцієнти k_ϕ вибираються з додатка 20, табл. 4.

З додатка 20, табл. 3. знаходимо коефіцієнти показників степеня $C_{py}=243$; $x=0,9$; $y=0,6$; $n=-0,3$.

З додатка 20, табл. 4. знаходимо коефіцієнти k_ϕ і k_{mp} :

$$k_\phi = 0,5 \text{ у } k_{mp}=1.$$

По формулі $k_p = k_{mp} \cdot k_\phi$ знаходимо $k_p=0,5$.

По формулі $F_y = 10 \cdot C_{py} \cdot t^x \cdot s^y \cdot v^n \cdot k_p$ обчислюємо

$$F_{y \max} = 1031 \text{ Н}; F_{y \min} = 693 \text{ Н}.$$

3. Визначається похибка форми $\sum \Delta_\phi$.

$$\sum \Delta_\phi = \Delta_{вр} + \Delta_{заж} + \Delta_{відж}$$

де $\Delta_{вр}$ - геометрична похибка верстата; $\Delta_{заж}$ - похибка від деформації заготовки при закріпленні. При закріпленні заготовки в центрах $\Delta_{заж}=0$; $\Delta_{відж}$ - похибка нерівномірного віджаття елементів технологічної системи

$$\sum \Delta_\phi = 2,3 \text{ мкм.}$$

4. Визначаємо похибку розмірного налагодження Δ_H

$$\Delta_H = \sqrt{(k_p \Delta_p)^2 + \left(k_{вим} \cdot \frac{\Delta_{вим}}{2} \right)^2},$$

де $\Delta_{вим}$ - похибка вимірювання довжини деталі (див. додаток 20, табл. 5); Δ_p - похибка регулювання положення різця (див. додаток 20, табл. 6); $k_p=1$; $k_{вим}=(1,14 \div 1,73)$ - коефіцієнти, що враховують відхилення закону розподілу величин Δ_p і $\Delta_{вим}$ від закону нормального розподілу.

Наприклад: за табл. 5 додатку 20 для IT10 $L_i = 80 \div 120$; $\Delta_{вим}=20$ мкм.

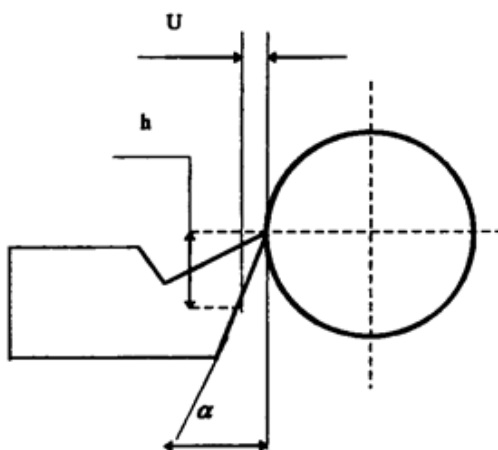


Рис. 2

З табл. 6 додатку 20 береться $\Delta_p=10$

мкм. Підставляючи отримані параметри у формулу для Δ_H одержимо $\Delta_H=42,72$ мкм.

5. Визначаємо похибку теплової деформації Δ_T :

$$\Delta_T = k \cdot (\Delta_H + \Delta_{и} + \Delta_y + \sum \Delta_\phi),$$

де $k=(0,1 \div 0,15)$ - коефіцієнт теплової деформації. На підставі обчислених раніше похибок, визначаємо похибку теплової деформації $\Delta_T=24,43$ мкм.

6. Визначаємо сумарну похибку Δ_{Σ} . Знаючи, що сумарна похибка є функція від складових $\Delta_{\Sigma} = f(\sum \Delta_{\phi}, \Delta_y, \varepsilon, \Delta_{и}, \Delta_T)$, знаходимо її по формулі

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt[3]{\frac{1}{9}\Delta_y^2 + \frac{1}{3}\Delta_{и}^2} + \Delta_{н} + \sum \Delta_{\phi} = 174,38 .$$

Сумарна похибка перевищує задану величину допуску на $d=55$ мм ($T_d=120$ мкм).

Якщо чистове точіння є операцією, що передує шліфуванню поверхні діаметром 55 мм, то перевищенням поля розсіювання в порівнянні з полем допуску операційного розміру чистового точіння очевидно можна зневажити, тому що це перевищення викликає збільшення припуску на операцію шліфування.

Якщо операція чистового точіння є остаточною, то необхідно забезпечити роботу без браку, тобто $\Delta_{\Sigma} \leq IT_{d=55}$.

Аналіз похибок показує, що найбільший вплив на сумарну похибку чинить розмірне спрацювання різця $\Delta_{и}$. Для зменшення зносу потрібно:

1. Застосовувати більш спрацьовуванні тверді сплави, наприклад, сплав ТЗОК4, що має в 2 рази менший відносне спрацювання у порівнянні зі сплавом Т5К10.

2. Використовувати автопідналадчик, що дозволяє періодично коректувати положення вершини різця при його спрацюванні.

При різанні спрацювання інструмента відбувається по задній поверхні. Величина лінійного спрацювання в напрямку нормалі до оброблюваної поверхні визначається по формулі $U = h \cdot \text{tg}\alpha$,

де h - ширина стрічечки зносу по задній поверхні; α - головний задній кут (рис. 2).

Відносний (питомий) знос інструмента визначаємо по формулі

$$u = \frac{U}{L} \left[\frac{\text{мкм}}{\text{км}} \right] .$$

Температурні деформації ξ ріжучого інструмента можуть досягати 30 - 50 мкм і викликати похибку обробки Δ_T . На рис. 3 показаний характер зміни деформації ріжучого інструмента ξ від τ часу і схема обробки вала.

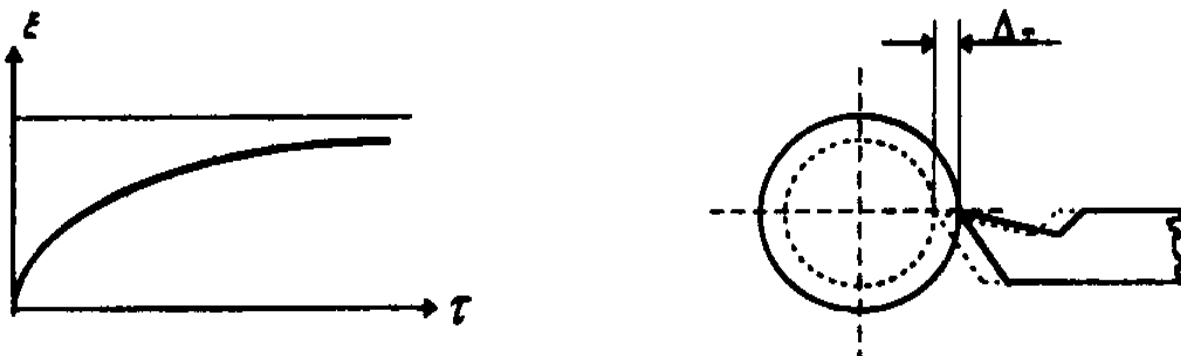
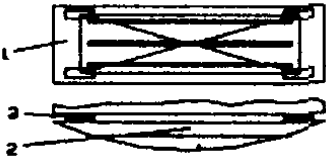
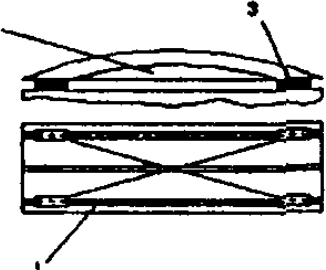
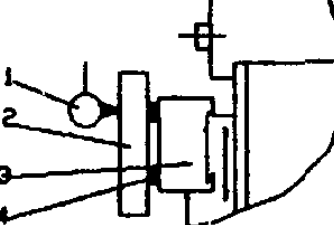
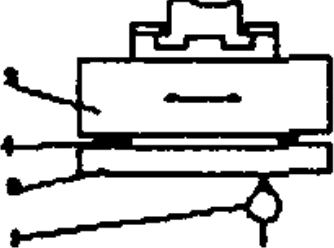


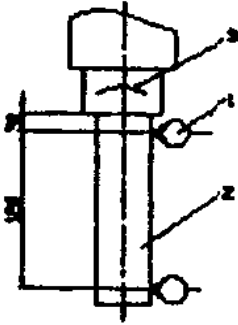
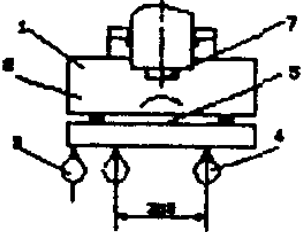
Рис. 3

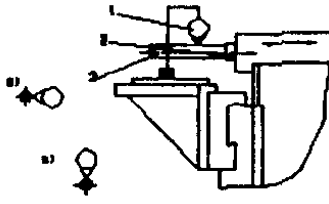
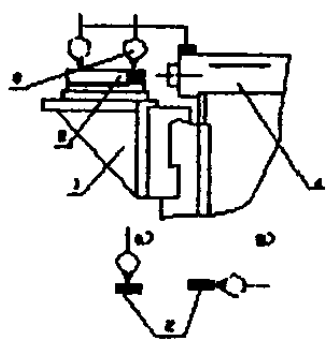
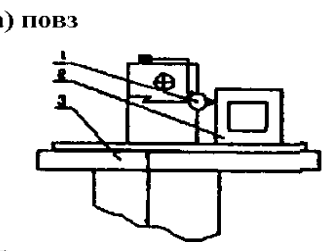
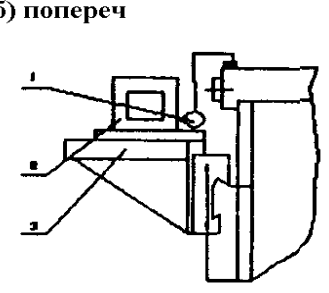
Перевірка верстату на відповідність нормам точності

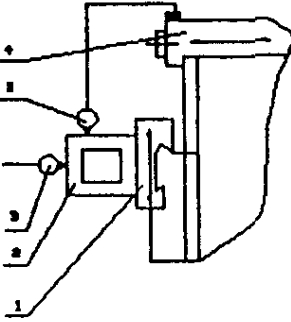
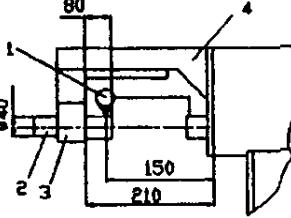
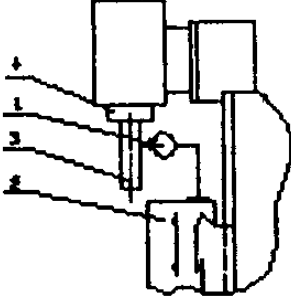
№ пров. по ГОСТ 26016	Що перевіряється	Схема перевірки	Метод перевірки
1	2	3	4
1.3	Площинність робочої поверхні вертикального столу		На поверхню столу 1 по різних напрямках - у двох повздовжніх, у двох поперечних і в двох діагональних - встановлюється лінійка 2 перевіркою гранню на калібровані плитки 3, рівні по висоті. Кінцевими мірами вимірюється просвіт між гранню лінійки 2 і поверхнею столу 1. Відхилення визначають як найбільшу різницю розмірів кінцевих мір.
	Площинність робочої поверхні кутового горизонтального столу		На поверхню столу 1 по різних напрямках у двох повздовжніх, у двох поперечних і в двох діагональних - встановлюється лінійка 2 перевіркою гранню на калібровані плитки 3, рівні по висоті. Кінцевими мірами вимірюється відстань між гранню лінійки 2 і поверхнею столу 1. Відхилення визначають як найбільшу різницю розмірів кінцевих мір.
1.4.	А) Паралельність робочої поверхні вертикального столу траєкторії його вертикального переміщення		Індикатор 1 зміцнюється нерухомо. Мірний штифт індикатора 1 дотикається перевіркою грані лінійки 2, встановленої на поверхні вертикального столу 3 у поперечному напрямку на каліброваних плитках 4, рівних по висоті. Вертикальний стіл 3 переміщується вертикально. У горизонтальній площині вертикальний стіл 3 затиснутий. Відхилення визначають як найбільшу величину алгебраїчної різниці показів індикатора 1
	Б) Паралельність робочої поверхні вертикального столу траєкторії його повздовжнього переміщення		Індикатор 1 закріплюється нерухомо. Мірний штифт індикатора 1 дотикається перевіркою грані лінійки 2, встановленої на поверхні вертикального столу 3 у повздовжньому напрямку на каліброваних плитках 4, рівних по висоті. Стіл переміщується в повздовжньому напрямку. У вертикальній площині вертикальний стіл 3 затиснутий. Відхилення визначають як найбільшу величину алгебраїчної різниці показів індикатора 1.

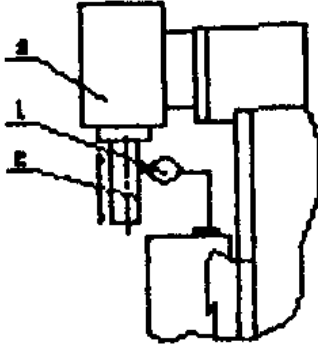
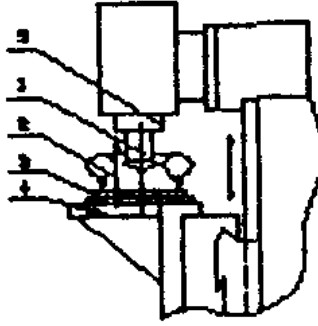
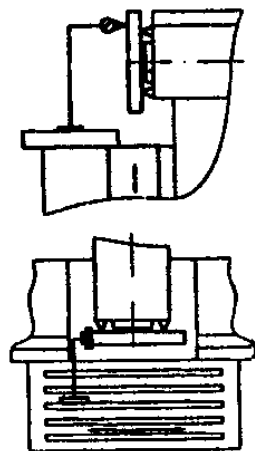
1	2	3	4
1.5.	Паралельність робочій поверхні кутового горизонтального стола траєкторії повздовжнього переміщення вертикального стола.		Індикатор 1 закріплюється нерухомо. Мірятьний штифт індикатора 1 дотикається перевіркою грані лінійки 2, встановленої на поверхні столу 3 у повздовжньому напрямку на каліброваних плитках 4, рівних по висоті. Вертикальний стіл з кутовим горизонтальним столом переміщують у повздовжньому напрямку. У вертикальній площині вертикальний стіл затиснутий. Відхилення визначають як найбільшу величину алгебраїчної різниці показів індикатора 1.
1.6.	Паралельність робочій поверхні кутового горизонтального стола траєкторії переміщення шпindelної бабки.		Індикатор 1 закріплений на бабці шпindelній. Мірятьний штифт індикатора дотикається перевіркою грані лінійки 2, встановленої в поперечному напрямку на поверхні столу 3 на каліброваних плитках 4, рівних по висоті. Вертикальний стіл 3 затиснутий у вертикальній і горизонтальній площинах. Бабка шпindelна переміщується по своїх напрямках. Відхилення визначають як найбільшу величину алгебраїчної різниці показів індикатора 1.
1.7.	Паралельність бокових сторін середнього і верхнього пазів вертикального стола траєкторії його повздовжнього переміщення		Індикатор 1 закріплюється нерухомо. Мірятьний штифт індикатора 1 дотикається грані лінійки 2, або комбінованого сухаря, притиснутого до нижньої сторони паза. Вертикальний стіл переміщується в горизонтальній площині в повздовжньому напрямку. У вертикальній площині вертикальний стіл затиснутий. Відхилення визначають як найбільшу величину алгебраїчної різниці показів індикатора 1.
	Паралельність бокових сторін середнього паза кутового горизонтального стола траєкторії повздовжнього переміщення вертикального стола.		Індикатор 1 закріплюється нерухомо. Мірятьний штифт індикатора 1 дотикається грані лінійки 2, або комбінованого сухаря, притиснутого до однієї зі сторін паза. Вертикальний стіл 3 переміщується в повздовжньому напрямку. У вертикальній площині вертикальний стіл затиснутий. Відхилення визначають як найбільшу величину алгебраїчної різниці показів індикатора 1.

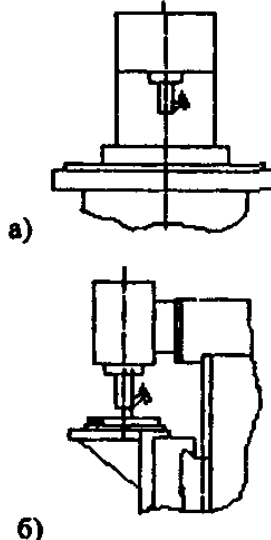
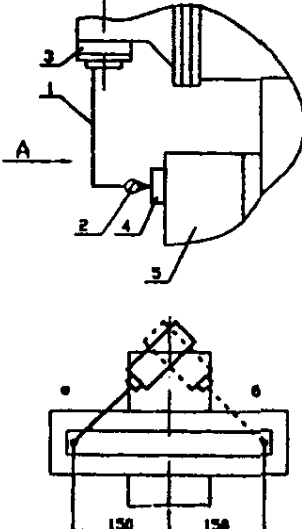
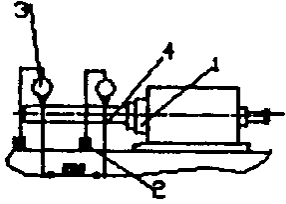
1	2	3	4
1.8.	Взаємна перпендикулярність повздовжнього переміщення вертикального стола і переміщення шпindelної бабки.		<p>На робочій поверхні вертикального стола I виставляється рамний косинець 2 паралельно повздовжньому напрямку переміщення вертикального стола за допомогою нерухомо встановленого індикатора 3, мірятьний штифт якого дотикається грані А рамного косинця 2. Бабка шпindelна 4 переміщається по своїх напрямних, при цьому мірятьний штифт індикатора 5, встановленого на ній, стосується грані Б рамного косинця 2. У вертикальній площині вертикальний стіл затиснутий. Відхилення визначають як найбільшу величину алгебраїчної різниці показів індикатора 5.</p>
1.9.	Осьове биття горизонтального шпindelа		<p>У кінцевий отвір шпindelа 1 вставляється коротка оправка 2 із встановленою у центровому отворі кулькою. Індикатор 3 із плоским наконечником встановлюється на столі так, щоб його мірятьний штифт дотикався кульки оправки 2. Шпindel 1 приводиться в обертання. При вимірюванні шпindel повинний зробити не менше двох обертів. Биття визначають як найбільшу величину алгебраїчної різниці показів індикатора 3.</p>
	Осьове биття вертикального шпindelа.		<p>У кінцевий отвір шпindelа 1 вставляється коротка оправка 2 з кулькою в центровому отворі. Індикатор 3 із плоским наконечником встановлюється на столі так, щоб його мірятьний штифт дотикався кульки оправки 2. Шпindel 1 приводиться в обертання. При вимірюванні шпindel повинний зробити не менше двох обертів. Биття визначають як найбільшу величину алгебраїчної різниці показів індикатора 3.</p>
1.10	Радіальне биття кінцевого отвору горизонтального шпindelа.		<p>Мірятьний штифт індикатора 1, встановленого на кутовому горизонтальному столі дотикається циліндричної оправки 2, вставленої кінцевим хвостовиком в отвір шпindelа 3. Шпindel 3 приводиться в обертання. Вимірювання проводять у двох крайніх точках оправки 2. При кожному вимірюванні шпindel 3 повинний зробити не менше двох обертів. За результат кожного вимірювання приймають найбільшу алгебраїчну різницю показів індикатора 1. Після першого вимірювання в кожній із зазначених точок змінюють положення оправки в отворі шпindelа 3 поворотом її на 180° і проводять друге вимірювання у кожній точці. Відхилення в кожній із зазначених точок оправки 2 визначають як середнє арифметичне результатів двох зазначених вимірювань.</p>

1	2	3	4
1.10	Радіальне биття конічного отвору вертикального шпинделя.		<p>Міряльний штифт індикатора 1, встановленого на кутовому горизонтальному столі дотикається циліндричної оправки 2, вставленої конічним хвостовиком в отвір шпинделя 3. Шпиндель 3 приводиться в обертання. Вимірювання проводять у двох крайніх точках оправки 2. При кожному вимірюванні шпиндель 3 повинний зробити не менше двох обертів. Після першого вимірювання в кожній із зазначених точках змінюють положення оправки в отворі шпинделя 3 поворотом її на 180° і проводять друге вимірювання у кожній точці. За результат вимірювання приймають найбільшу алгебраїчну різницю показів індикатора. Відхилення в кожній із зазначених точках визначають як середнє арифметичне результатів двох зазначених вимірювань.</p>
1.11	Перпендикулярність осі обертання горизонтального шпинделя до напрямку повздовжнього переміщення вертикального стола.		<p>На робочій поверхні вертикального столу 1 виставляється лінійка 2 паралельно напрямку повздовжнього переміщення вертикального столу 1 за допомогою нерухомо встановленого індикатора 3, міряльний штифт якого дотикається грані 6 лінійки 2 (при переміщенні вертикального столу покази індикатора 3 у крайніх точках повинні бути однаковими). Шпиндель 7 повертають, при цьому міряльний штифт індикатора 4, закріпленого на шпинделі 7 за допомогою кутової оправки 5 дотикається грані 6 лінійки 2 у двох точках на відстані 150 мм від осі шпинделя. Після першого вимірювання змінюють положення оправки 5 в отворі шпинделя поворотом її на 180° і проводять друге вимірювання. За результат вимірювання приймають найбільшу алгебраїчну різницю показів індикатора. Відхилення визначають як середнє арифметичне результатів двох зазначених вимірювань. Вертикальний стіл 1 затиснутий у горизонтальній і вертикальній площинах.</p>

1	2	3	4
1.12	Паралельність осі обертання горизонтального шпинделя напрямку переміщення шпиндельної бабки.		Індикатор 1 встановлюється нерухомо. В отвір шпинделя 2 вставляється конічним хвостовиком циліндрична оправка 3. Мірятьний штифт індикатора 1 дотикається оправки по утворюючим: а) у вертикальній площині; б) у горизонтальній площині. Бабка шпиндельна переміщується по напрямних на всю довжину переміщення. За результат кожного вимірювання приймають найбільшу величину алгебраїчної різниці показів індикатора 1. Після першого вимірювання змінюють положення оправки 3 в отворі шпинделя 2 поворотом її на 180° і проводять друге вимірювання. За результат вимірювання приймають найбільшу величину алгебраїчної різниці показів індикатора. Відхилення в кожній із зазначених площин визначають як середнє арифметичне значення результатів зазначених вимірювань.
2д.	Прямолінійність переміщення шпиндельної бабки.		На робочу поверхню кутového горизонтального столу 1 встановлюється лінійка 2 і виставляється так, щоб покази індикатора 3, закріпленого на шпиндельній бабці 4, у двох крайніх положеннях шпиндельної бабки 4, були однаковими. Шпиндельна бабка 4 переміщується по своїх напрямних. Мірятьний штифт індикатора 3 дотикається лінійки 2. Відхилення визначають як найбільшу алгебраїчну різницю показів індикатора 3. Перевірка проводиться: а) у вертикальній площині; б) у горизонтальній площині.
1.13	Перпендикулярність робочої поверхні кутového горизонтального столу траєкторії вертикального переміщення вертикального столу.	<p>а) повз</p>  <p>б) попереч</p> 	Індикатор 1 закріплюється нерухомо. Мірятьний штифт його дотикається вертикальній грані рамного косинця 2, встановленого на кутівому горизонтальному столі 3 однією із своїх робочих поверхонь. Інша робоча поверхня збігається з напрямком переміщення: а) у повздовжній площині; б) у поперечній площині. Супорт переміщується по напрямних станини. Відхилення визначають як найбільшу величину алгебраїчної різниці показів індикатора 1 у кожній із зазначених площин. Бабка шпиндельна і вертикальний стіл затиснуті.

1	2	3	4
1.14	Перпендикулярність переміщення шпindelної бабки до траекторії вертикального переміщення вертикального столу.		На робочій поверхні вертикального столу 1 встановлюється рамний косинець 2 паралельно напрямку вертикального переміщення вертикального столу 1 за допомогою нерухомо встановленого індикатора 3, мір'яльний штифт якого дотикається вертикальній грані рамного косинця 2. Шпindelна бабка 4 переміщується по своїх напрямках. При цьому мір'яльний штифт індикатора 5, встановленого на шпindelній бабці 4, дотикається горизонтальній грані рамного косинця 2. Відхилення визначають як найбільшу величину алгебраїчної різниці показів індикатора 5. Вертикальний стіл 1 у горизонтальній площині затиснутий.
1.15	Співвісність отвору серги і горизонтального шпindelю.		Індикатор 1 закріплюється на оправі, щільно вставленій в отвір горизонтального шпindelю. Мір'яльний штифт індикатора 1 дотикається циліндричній оправці 2, закріпленій в отворі серги 3 (допускається встановлювати мір'яльний штифт індикатора відповідної конструкції безпосередньо на внутрішній діаметр серги). Хобот 4 закріплюється на бабці шпindelній. Серга 3 закріплюється на хоботі 4. Шпindel приводиться в обертання. За результат вимірювання приймають половину алгебраїчної різниці показів індикатора 1. Після першого вимірювання змінюється положення оправки 5 поворотом її на 180° і проводиться друге вимірювання. Відхилення визначають як середнє арифметичне результатів двох зазначених вимірювань.
1.16	Паралельність осі обертання вертикального шпindelю напрямку вертикального переміщення столу в поперечній площині.		Індикатор 1 встановлюється на столі 2. Контрольну оправку 3 щільно вставляють в отвір вертикального шпindelю 4. Мір'яльний штифт індикатора 1 дотикається утворюючої оправки 3. Вертикальний стіл переміщується по вертикальних напрямках. За результат вимірювання приймають найбільшу величину алгебраїчної різниці показів індикатора 1. Після першого вимірювання змінюють положення оправки 3 в отворі шпindelю 4 поворотом її на 180° і проводять друге вимірювання. Відхилення визначають як середнє арифметичне значення результатів вимірювань. Бабка шпindelна і стіл затиснуті в горизонтальній площині.

1	2	3	4
1.17	Паралельність траєкторії переміщення гільзи до осі вертикального шпинделя.		Індикатор 1 встановлюється нерухомо. Контрольну оправку 2 щільно вставляють в отвір вертикального шпинделя 3. Мір'яльний штифт індикатора 1 дотикається утворюючої оправки 2. Гільза переміщується в осьовому напрямку (вертикально). За результат вимірювання приймають найбільшу величину алгебраїчної різниці показів індикатора 1. Після першого вимірювання змінюють положення оправки 2 в отворі шпинделя 3 поворотом її на 180° і проводять друге вимірювання. Відхилення визначають як середнє арифметичне значення результатів вимірювань.
1.18	Перпендикулярність осі обертання вертикального шпинделя робочій поверхні кутового горизонтального столу в поперечній площині.		На кутовій оправі 1, вставленої в отвір шпинделя 5, закріплюється індикатор 2 так, щоб його мір'яльний штифт по черзі дотикався 2-х мірних плиток однакового розміру, встановлених на кутовому горизонтальному столі 4. При вимірюванні шпиндель 5 повинний зробити не менше двох обертів. Відхилення визначають як найбільшу алгебраїчну різницю показів індикатора 1 у двох діаметрально розташованих точках поперечної площини. Вертикальний стіл і бабка шпиндельна затиснуті.
1.19	Паралельність торця шпиндельної бабки вертикальному і повздовжньому переміщенню столу		Перевірочна лінійка встановлюється на торці шпиндельної бабки паралельно вертикальному (повздовжньому) переміщенню столу. Вимірювальний наконечник індикатора, встановленого на столі, впирається в лінійку і перпендикулярний до неї. Відхилення від паралельності траєкторії алгебраїчної різниці показів індикатора на всій довжині переміщення. (Результати вимірювання траєкторії переміщення). Допускається перевірку виконувати безпосередньо по торці шпиндельної бабки.

1	2	3	4
1.20	Точність переміщення: а) столу; б) шпindelної бабки.		Зразкову штрихову міру 1 встановлюють на кутовому горизонтальному столі 2 паралельно напрямку переміщення: а) столу; б) шпindelної бабки. Мікроскоп 3 закріплюють на гільзі вертикального шпindelя і фокусують на штрихову міру 1. Перевірочний орган переміщують на всю довжину із зупинками для вимірювання через 10 мм за показниками відлікової системи верстата, починаючи з нульового положення. Визначають величину фактичного переміщення органа по штриховій мірі I, за допомогою мікроскопа 3. За результат вимірювання приймають алгебраїчну різницю між номінальним і фактичним переміщеннями, обумовленими відповідно по лімбі чи показами відлікової системи верстата і мікроскопа 3.
1.21	Паралельність площини повороту вертикальної головки робочої поверхні вертикального столу.		Оправку з індикатором встановлюють на шпindelі верстата так, щоб вимірювальний наконечник дотикався робочої поверхні лінійки, встановленої на вертикальному столі. Вертикальний стіл і шпindelна бабка затиснуті. Вертикальну головку повертають на заданий кут. Відхилення від паралельності площини повороту вертикальної головки дорівнює алгебраїчній різниці показів індикатора.
1.22	Паралельність осі обертання вертикального шпindelя площини кріплення вертикальної головки.		Вертикальний шпindel 1 встановлюється площиною повороту на перевірочну плиту 2. Мір'яльний штифт індикатора 3 дотикається циліндричної оправки 4, вставленої конічним хвостом в отвір вертикального шпindelя 1. Вимірювання проводять в двох крайніх точках оправки 4. За результат кожного вимірювання приймають алгебраїчну різницю показів індикатора 3. Після першого вимірювання змінюють положення оправки 4, в отворі шпindelя 1 поворотом її на $\pm 180^\circ$ і проводять друге вимірювання. Відхилення визначають як середню арифметичну різницю результатів зазначених вимірювань.

1	2	3	4
2.2	1. Площинність обробленої поверхні Б зразка.		<p>Проводиться фрезерування площини А з механічною подачею. Оправка з фрезою закріплюються у вертикальному шпинделі. Обробка проводиться відповідно до режимів різання, зазначених у ТУ. Оброблену поверхню перевіряють індикатором по контрольній плиті. Шорсткість обробленої поверхні Ra 2,5 мкм.</p>
2.3	Паралельність верхньої обробленої поверхні основи		
3д.	3. Перпендикулярність бічної обробленої поверхні Б зразка основи.		<p>Проводиться фрезерування бічної поверхні Б горизонтальним шпинделем механічною подовжною подачею вертикального столу. Обробка проводиться відповідно до режимів різання, зазначених у ТУ на зразок № 1. Оброблену поверхню перевіряють косинцем і набором кінцевих мір або спеціальним пристосуванням. Шорсткість обробленої поверхні Ra 2,5 мкм.</p>
2.4.	Взаємна перпендикулярність оброблених поверхонь між собою.		<p>Поверхні В обробляють периферією кінцевої фрези, закріпленої в горизонтальному шпинделі. Вертикальний стіл переміщується вертикально механічною подачею. Обробка проводиться відповідно до режимів різання, зазначених у ТУ. Оброблену поверхню перевіряють косинцем і набором кінцевих мір або спеціальним пристосуванням. Шорсткість обробленої поверхні Ra 2,5 мкм.</p>
2.5.	Прямолінійність і паралельність стінок Г паза.		<p>Зразок-виріб встановлюють на перевірочну плиту. Відхилення від прямолінійності і паралельності стінок паза дорівнює найбільшій алгебраїчній різниці показів вимірювального приладу на довжині вимірювань.</p>
2.6.	Точність геометричної форми отвору: круглість - профіль повздовжнього перетину. - перпендикулярність осі отвору основи		<p>На зразку проводиться розточення отвору вертикальним шпинделем з механічною подачею супорта на режимах, зазначених у ТУ. Оброблену поверхню перевіряють нутромером, еталонним кільцем і оправкою з індикатором. Допускається вимірювання на приладі "Вертикаль", вимірювальній машині МУУ 214, координатній вимірювальній машині.</p>

Примітка. Перевірки 2д; 3д; 1.18; виконуються за вимогою Замовника.

Оцінка. Результати перевірки верстатів на відповідність нормам точності при прийманні-здаванні, типових, періодичних і атестаційних випробуваннях вносяться до протоколу даних (додаток 8), у якому по кожній перевірці наводяться дані: ТУ 0224895.009-92; фактичні.

2.6. (п.3 табл. 8 ТУ). Перевірка точності і чистоти обробки зразка №1. Дана перевірка проводиться при перевірці норм точності верстата (див. перевірку 2 у табл. П.2.4).

2.7. (п.п. 1.2.3. - 1.2.9. ТУ). Випробування верстата на надійність.

ЗМІСТ

Передмова	3
Вступ	5
Розділ 1. Об'єкт виробництва, способи одержання заготовок і види технологічних процесів	9
1.1. Основні поняття і визначення	9
1.2. Види операцій і етапи технологічного процесу	11
1.3. Вибір заготовок і способи їхнього одержання.....	13
1.4. Припуски на механічну обробку.....	15
1.5. Види виробництв.....	21
1.6. Об'єкт виробництва машинобудівного заводу.....	29
1.7. Види технологічних процесів.....	31
1.7.1. Типізація технологічних процесів	31
1.7.2. Груповий технологічний процес.....	33
1.7.3. Модульний принцип у машинобудівному виробництві	35
1.8. Розмірні, кінематичні і динамічні зв'язки у виробничому процесі	41
1.9. Інформаційне забезпечення виробничого процесу	44
Розділ 2. Точність обробки	48
2.1. Загальний підхід до аналізу точності обробки	48
2.2. Вплив спрацювання ріжучого інструмента на точність обробки	50
2.3. Методи визначення жорсткості верстатів.....	55
2.4. Розрахунок пружних переміщень в технологічній системі.....	59
2.5. Пружні переміщення при абразивній обробці.....	65
2.6. Вплив динаміки процесу різання на точність обробки.....	70
2.7. Формування точності обробки.....	75
2.8. Вплив хіміко-термічної обробки на точність деталей.....	79
2.9. Керування точністю процесу обробки	82
2.10. Визначення точності виготовлення деталей методом математичної статистики.....	89
2.10.1. Закон нормального розподілу (закон Гауса).....	92

2.10.2.	Закон рівнобедреного трикутника (закон Сімпсона)	93
2.10.3.	Закон ексцентриситету (закон Релея).....	93
2.10.4.	Закон рівної ймовірності	94
2.10.5.	Композиції законів розподілу і підсумовування похибок	95
2.11.	Практичне застосування законів розподілу розмірів для аналізу точності обробки	97
2.11.1.	Встановлення надійності обробки заготовок без браку.....	97
2.11.2.	Визначення кількості ймовірного відсотка бракованих деталей.....	98
2.11.3.	Визначення кількості заготовок, що вимагають додаткової обробки.....	102
2.11.4.	Статистичне регулювання технологічного процесу	103
2.12.	Методи налагодження верстатів і забезпечення точності механічної обробки.....	104
Розділ 3.	Базування і бази в машинобудуванні.....	110
3.1.	Базування і закріплення заготовок.....	110
3.2.	Види баз.....	113
3.3.	Принцип сполучення баз	116
3.3.1.	Загальні поняття про сполучення баз.....	116
3.3.2.	Вплив принципу сполучення баз на послідовність обробки поверхонь.....	18
3.4.	Принцип постійності баз	121
Розділ 4.	Технологічні розмірні ланцюги.....	127
4.1.	Розрахунки розмірних ланцюгів	127
4.2.	Розмірний аналіз технологічних процесів	135
4.3.	Визначення діаметральних оперційних розмірів валу за допомогою графів.....	140
4.4.	Обґрунтування маршруту і розмірний аналіз технологічного процесу обробки корпусної деталі	142
Розділ 5.	Якість оброблюваної поверхні	147
5.1.	Загальні відомості про формування і будову поверхневого шару деталей.....	147
5.2.	Стандартизація шорсткості поверхні	149
5.3.	Прилади для вимірювання шорсткості поверхні.....	153

5.4.	Причини утворення шорсткостей на обробленій поверхні.....	155
5.5.	Причини виникнення шліфувальних тріщин.....	157
5.6.	Вплив хімічного складу плавки на виникнення шліфувальних тріщин	160
5.7.	Вплив процесу обробки на фізико-механічний стан поверхневого шару деталей	161
5.8.	Термомеханічні процеси, які протікають в поверхневому шарі деталей при алмазно-абразивній обробці.....	164
5.8.1.	Постановка теплових задач	166
5.9.	Вплив якості поверхневого шару на експлуатаційні характеристики деталей машин.....	173
5.9.1.	Вплив якості поверхні на зносостійкість тертьових поверхонь.....	173
5.9.2.	Вплив якості поверхні на міцність і корозійну стійкість деталей.....	175
5.10.	Конструкторсько-технологічна стабілізація якості поверхневого шару.....	177
5.10.1.	Про механізм структурних перетворень при шліфуванні	177
5.10.2.	Вплив нерівномірності розподілу припуску на якість поверхневого шару	180
5.10.3.	Вплив параметрів термічних циклів на якісні характеристики поверхневого шару деталей.....	186
5.11.	Методи забезпечення якості поверхневого шару деталей.....	188
5.11.1.	Сутність процесу переривчастого шліфування	189
5.11.2.	Ефективність процесу переривчастого шліфування	191
5.11.3.	Ріжуча здатність переривчастих кіл	195
5.11.4.	Методика розрахунку геометричних параметрів переривчастих кіл	197
5.11.5.	Умови виникнення параметричного резонансу і визначення областей нестійкості роботи пружної системи верстата 3М71	200

5.12.	Забезпечення динамічної стабілізації параметрів процесу обробки деталей.....	204
5.12.1.	Проблема забезпечення динамічної стабільності параметрів процесу шліфування	205
5.12.2.	Вплив контактних явищ на динамічну нестабільність процесу шліфування.....	208
5.12.3.	Конструкторсько-технологічна стабілізація динаміки взаємодії інструмента з деталлю і її вплив на параметри процесу	214
5.12.4.	Способи формування регулярного макрорельєфу на робочій поверхні шліфувального кола	218
5.12.5.	Динаміка зміни температури при шліфуванні гвинтовими переривчастими кругами.....	222
Розділ 6.	Технологічне забезпечення якості виробу	227
6.1.	Якість продукції	227
6.2.	Працездатність і надійність машин	228
6.3.	Причини, що викликають передчасний вихід з ладу деталей машин	231
6.4.	Зв'язок геометричних параметрів оброблюваної поверхні з експлуатаційними властивостями деталей машин	233
6.5.	Фізика відмов.....	237
6.6.	Надійність технологічного процесу виготовлення машин	240
6.7.	Оптимальний розподіл припуску по проходах.....	243
6.8.	Вибір і обґрунтування умов обробки, що забезпечують стабілізацію напруженості поверхневого шару матеріалу	253
6.9.	Вплив термічної обробки на фізико-механічні властивості матеріалу деталей машин.....	254
6.10.	Хіміко-термічна обробка у структурі технологічного процесу.....	258
6.10.1.	Цементация	259
6.10.2.	Азотування.....	259

6.10.3. Ціанування	260
6.11. Хімічна обробка поверхонь деталей.....	260
6.12. Технологічні способи підвищення стійкості проти спрацьовування деталей	262
6.13. Технологічні методи забезпечення оптимальних параметрів поверхневого шару з врахуванням умов експлуатації.....	264
6.13.1. Деформаційне зміцнення поверхневого шару	265
6.13.2. Поверхнево-термічна обробка	267
6.13.3. Дифузійні покриття.....	268
6.13.4. Покриття напилюванням	269
Розділ 7. Оптимізація технологічних процесів	272
7.1. Загальні положення.....	272
7.2. Складання моделі об'єкта і алгоритму оптимізації	275
7.3. Пошук оптимальних технологічних розв'язків в умовах невизначеності.....	278
7.4. Оптимізація технологічних параметрів з використанням геометричного програмування.....	282
7.5. Оптимізація технологічних параметрів з використанням функції Лагранжа	285
7.6. Знаходження екстремума функції.....	287
7.7. Застосування методу лінійного програмування для розв'язку технологічних задач	288
7.7.1. Оптимізація технологічної собівартості виготовлення масляного бака.....	288
7.8. Оптимізація завантаження металорізальних верстатів.....	291
7.9. Оптимізація витрат на перевезення заготовок.....	293
7.10. Оптимізація режимів механічної обробки	295
7.11. Науковий підхід до вибору оптимальних способів обробки.....	296
7.12. Оптимізація умов застосування автоматизованого устаткування	298
Розділ 8. Продуктивність і економічність технологічних процесів.....	301
8.1. Ефективність верстатів із ЧПК і гнучких виробничих систем (ГВС)	301

8.2.	Структура норми часу	304
8.3.	Особливості нормування багатоінструментальної обробки	309
8.4.	Технологічна собівартість	309
8.5.	Економічне порівняння варіантів технологічних процесів	311
Розділ 9. Технологічність конструкції машини.....		316
9.1.	Загальні поняття про технологічність конструкції виробу	316
9.2.	Вимоги до конструкцій деталей і заготовок	317
9.3.	Розрахунок показників технологічності виробів.....	320
Розділ 10. Методи обробки поверхонь деталей машин.....		324
10.1.	Обробка зовнішніх поверхонь тіл обертання	324
10.2.	Методи обробки отворів	331
10.2.1.	Види отворів і методи їхньої обробки.....	331
10.2.2.	Обробка отворів лезвійним інструментом	332
10.2.3.	Обробка отворів абразивними інструментами	336
10.2.4.	Шліфування отворів із планетарним рухом шпинделя	337
10.2.5.	Хонінгування отворів.....	338
10.2.6.	Притирання (доведення) отворів	339
10.3.	Методи обробки різьб	339
10.3.1.	Нарізування різьб різцями і гребінками	339
10.3.2.	Нарізування різьб мітчиками, плашками і різьбонарізними головками	341
10.3.3.	Фрезерування різьб	342
10.3.4.	Накочування різьб.....	343
10.3.5.	Шліфування різьб.....	345
10.4.	Методи обробки зубів зубчастих коліс	346
10.4.1.	Обробка циліндричних зубчастих коліс	347
10.4.2.	Обробка черв'ячних зубчастих коліс	352
10.4.3.	Обробка конічних зубчастих коліс	352
10.4.4.	Обробка черв'яків	353

10.4.5.	Методи чистової обробки зубчастих коліс	355
10.4.6.	Вплив ступеня точності зубчастих коліс на трудомісткість їхнього виготовлення	361
10.5.	Фізико-хімічні методи обробки поверхонь	362
10.5.1.	Електроіскрова обробка	362
10.5.2.	Анодно-механічна обробка	363
10.5.3.	Електрохімічна розмірна обробка	364
10.5.4.	Електроабразивна обробка	367
10.5.5.	Ультразвукова обробка	368
Розділ 11.	Типові технологічні процеси	370
11.1.	Технологія виготовлення корпусних деталей	370
11.1.1.	Обробка заготовок деталей типу станин	375
11.1.2.	Вплив конструктивно-технологічної модифікації елементів верстатів на точність обробки деталей	378
11.1.3.	Корекція систематичних похибок	381
11.1.4.	Аналіз проблем підвищення точності обробки	383
11.2.	Технологія виготовлення шпинделів верстатів	384
11.3.	Технологія виготовлення ходових гвинтів	388
11.4.	Технологія виготовлення циліндричних зубчастих коліс	391
11.4.1.	Службове призначення зубчастих коліс	391
11.4.2.	Матеріал і термічна обробка	393
11.4.3.	Вибір баз і технологічний маршрут обробки зубчастого колеса	394
11.5.	Технологія виготовлення деталей з пластмас і металокераміки	399
11.5.1.	Характеристика пластмас і методи виготовлення пластмасових деталей	399
11.5.2.	Характеристика металокерамічних матеріалів і технологія виготовлення виробів	403
11.6.	Технологія виготовлення деталей приладобудування	406
11.6.1.	Технологія виготовлення контактів і їхніх деталей	406

11.6.1.1.	Класифікація	406
11.6.1.2.	Матеріали контактів	407
11.6.1.3.	Матеріали контактних деталей	409
11.6.2.	Технологія контактів з дротових і пруткових матеріалів	409
11.6.2.1.	Технологічні процеси виготовлення.....	411
11.6.3.	Технологія контактів і контактних деталей з прутків фасонних перерізів	412
11.6.4.	Технологія виготовлення контактних деталей, штапованих з смугових, стрічкових і листових матеріалів.....	414
11.6.4.1.	Технологія гнутих контактів і деталей з застосуванням двох і більше штампів	416
11.6.4.2.	Технологія гнутих контактів і деталей з застосуванням трьохопераційного штампа.....	417
11.6.4.3.	Технологія деталей, одержуваних за допомогою витяжки.....	418
11.6.5.	Багатопластинчасті щіткові контакти	419
11.6.6.	Технологія виготовлення литих контактів і контактних деталей	420
11.6.7.	Технологія контактів з накладками з срібла, металокераміки і інших матеріалів.....	421
11.6.7.1.	Конструктивні форми і матеріали.....	421
11.6.7.2.	Технологія виготовлення контактів з накладками	422
11.6.8.	Технологія кріплення срібних, металокерамічних і інших контактних накладок до підстав контактів	423
11.6.8.1.	Електропаяння контактне	426
11.6.8.2.	Паяння вогнеполум'яне	427
11.6.8.3.	Заклепування.....	427
11.6.8.4.	Біметал.....	428

11.6.8.5.	Механічне кріплення.....	429
11.6.9.	Термообробка матеріалу і заготовок контактів і контактних деталей з кольорових металів.....	429
11.6.10.	Технологічність конструкцій контактів і контактних деталей.....	430
11.6.10.1.	Обробка контактної поверхні.....	430
11.6.10.2.	Контакти з дровових і пруткових матеріалів.....	431
11.6.10.3.	Контакти з прутків фасонних перерізів.....	431
11.6.10.4.	Контакти і контактні деталі, штаповані з смугових, стрічкових і листових матеріалів.....	432
11.6.10.5.	Багатопластинчасті (щіткові) контакти.....	432
11.6.10.6.	Контакти з накладками з срібла, металокерамічних і інших композицій.....	433
11.7.	Виготовлення циферблатів і шкал.....	433
11.7.1.	Різновиди циферблатів і шкал.....	433
11.7.2.	Гравіювання штрихів і знаків.....	435
11.7.3.	Виготовлення деталей рухомої частини приладів.....	436
11.7.4.	Виготовлення опор.....	440
11.7.5.	Технологія виготовлення керна.....	442
11.8.	Технологія виготовлення пружних елементів приладів.....	443
11.8.1.	Класифікація й основні вимоги до пружних елементів.....	443
11.8.2.	Матеріали для пружних елементів.....	446
11.8.3.	Технологія виготовлення пружин.....	448
11.8.4.	Плоскі пружини.....	455
11.8.5.	Контроль пружин.....	459
11.9.	Технологія виготовлення друкованих плат.....	459
11.9.1.	Терміни і визначення.....	459
11.9.2.	Конструктивно-технологічна характеристика друкованих плат.....	463

11.9.3.	Матеріали, застосовувані для виготовлення друкованих плат	467
11.9.4.	Етапи технологічного процесу виготовлення друкованих плат.....	468
Розділ 12.	Особливості технології підйомно-транспортного машинобудування	486
12.1.	Коротка характеристика і основні показники виробництва підйомно-транспортних машин.....	486
12.2.	Конструкції підйомно-транспортних машин.....	486
12.3.	Технологія виготовлення типових деталей підйомно-транспортних машин.....	487
12.3.1.	Ходові колеса.....	487
12.3.2.	Зубчасті колеса	491
Розділ 13.	Особливості технології виготовлення деталей двигунів	498
13.1.	Обробка колінчастих валів і роторів гвинтових компресорів.....	498
13.1.1.	Механічна обробка колінчастого валу уніфікованого поршневого компресора УУ-220	498
13.1.2.	Механічна обробка колінчастого валу опозитного компресора 4М10-100/7.....	508
13.1.3.	Механічна обробка ведучого ротора гвинтового компресора 14ВК.....	516
13.2.	Обробка поршнів.....	528
13.2.1.	Механічна обробка поршня уніфікованого поршневого компресора УУ-220.....	529
13.2.2.	Механічна обробка поршня $\varnothing 620$ мм опозитного компресора 4М10-100/8.....	534
13.3.	Обробка шатунів.....	537
13.3.1.	Механічна обробка шатуна поршневого компресора АУ-200	538
13.3.2.	Механічна обробка шатуна великого опозитного компресора бази М10.....	546
13.3.3.	Устаткування і пристосування.....	551
13.4.	Обробка вкладишів	552
13.4.1.	Механічна обробка вкладиша нижньої головки шатуна поршневого компресора АУ-200	552

13.4.2.	Механічна обробка вкладиша шатуна опозитного компресора бази М10.....	555
13.4.3.	Механічна обробка тонкостінних вкладишів важких опозитних компресорів 6М25-125/38-55.....	559
13.5.	Обробка поршневих кілець	562
13.5.1.	Конструктивні і технологічні особливості поршневих кілець	562
13.5.2.	Механічна обробка поршневих кілець М120х5	564
13.6.	Обробка підшипників котіння.....	567
13.7.	Виготовлення типових деталей двигунів	574
13.7.1.	Виготовлення блоків циліндрів	574
13.7.2.	Виготовлення головок циліндрів.....	576
13.7.3.	Виготовлення гільз циліндрів	578
13.7.4.	Виготовлення колінчастих валів тракторного двигуна.....	581
13.7.5.	Виготовлення розподільних валів	586
Розділ 14. Технологія складання		590
14.1.	Значення складальних процесів у машинобудуванні.....	590
14.2.	Організаційні форми складання в машинобудуванні.....	592
14.3.	Методи складання в машинобудуванні.....	595
14.4.	Структура і зміст технологічного процесу складання	606
14.5.	Складання типових складальних одиниць	611
14.5.1.	Складання нерухомих рознімних з'єднань	611
14.5.2.	Складання вузлів з підшипниками кочення.....	621
Розділ 15. Стандартизація і сертифікація машинобудівної продукції.....		624
15.1.	Загальні положення.....	624
15.2.	Органи керування і служби стандартизації	626
15.3.	Методи, використовувані в стандартизації продукції	627
15.4.	Заводська стандартизація	628

15.5. Структура і функції служб стандартизації на заводах.....	629
15.6. Нормативні документи по стандартизації.....	631
15.7. Національні системи стандартів	632
15.8. Порядок впровадження стандартів і державний нагляд за їх дотриманням	634
15.9. Сертифікація продукції.....	635
Література	638
Додатки	643

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

**Олександр Васильович Якімов
Федір Васильович Новіков
Володимир Михайлович Тонконогий
Олексій Олександрович Якімов
Геннадій Олександрович Оборський
Василь Петрович Ларшин
Григорій Васильович Новіков
Юрій Миколайович Кривошапка**

**ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНО- ТА
ДВИГУНОБУДУВАННЯ**

ПІДРУЧНИК

**Редактор Т.І. Лучнева
Коректор З.І. Вальх**

**Підписано до друку 28.02.2005. Формат 64 x 90/16.
Папір офсетний. Друк офсетний.
Умов. друк. арк. 45,0. Тираж 500 прим. Зам. № 1776**

**Одеський Національний політехнічний університет
м. Одеса, проспект Шевченка, 1**