

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

*Шкурупій В. Г.
Новіков Ф. В.
Шкурупій Ю. В.*

СИСТЕМИ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчальний посібник

Харків. Вид. ХНЕУ, 2008

УДК 621(075.8)
ББК 30.6я73
Ш67

Рецензенти: канд. техн. наук, професор Харківського національного університету радіоелектроніки *Макурін М. С.*; докт. техн. наук, професор кафедри технології машинобудування Національного технічного університету "ХПІ" *Сизий Ю. А.*; докт. техн. наук, професор, начальник СКБ – головний конструктор ВАТ "Харківський машинобудівний завод "Світло шахтаря", зав. філіалу кафедри "ПТБДМО" Харківського національного автомобільно-дорожнього університету *Леусенко А. В.*

Рекомендовано до видання рішенням вченої ради Харківського національного економічного університету.

Протокол №3 від 22.10.2007 р.

**Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів
(лист №1.4/18-Г-1237 від 31.05.2008 р.)**

Шкурупій В. Г.

Ш67 Системи технологій: Навчальний посібник / В. Г. Шкурупій, Ф. В. Новіков, Ю. В. Шкурупій. – Харків: Вид. ХНЕУ, 2008. – 480 с. (Укр. мов.)

Розглядаються сучасні галузеві технології. Наводяться характеристика пріоритетних і перспективних технологій, основні відомості про використання процесів, які відбуваються в нанорозмірних об'єктах.

Рекомендовано для студентів економічних спеціальностей вищих навчальних закладів, а також фахівців і керівних працівників, які підвищують свою кваліфікацію.

ISBN 978-966-676-301-6

УДК 621(075.8)
ББК 30.6я73

© Харківський національний економічний університет, 2008
© Шкурупій В. Г.
Новіков Ф. В.
Шкурупій Ю. В.
2008

ВСТУП

Дана книга є продовженням навчального посібника "Системи технологій", у якому було розглянуто зміст модуля 1, а саме: описані сучасні технології на основі системного підходу, наведені основні категорії галузевих технологій, характеристика пріоритетних напрямів технологічного розвитку, його закономірностей та прогресивних видів технологій. У ньому також було приділено увагу якості продукції підприємств, оптимізації технологічних процесів, напрямам технологічного оновлення виробництва.

У даній книзі розкривається зміст модуля 2, в якому відображені найважливіші сучасні технологічні процеси в машинобудівній, хімічній і будівельній галузях.

Поруч із будовою, кристалічним устроєм металів і сплаву "залізо – вуглець" подана класифікація чавунів, сталей і сплавів кольорових металів. Підрозділ з технології чорних та кольорових металів включає інформацію про видобуток і підготовку сировини та палива до виробництва чавуну (видобуток корисних копалин, їх збагачення, усереднення, агломерацію, виробництво котунів, коксу, комплексне використання сировини), про металургію чавуну, сталі, міді, алюмінію та їх сплавів, ливарне виробництво, обробку металів тиском, термічну і хіміко-термічну обробку металів, про корозію і способи боротьби з нею, зварювальне виробництво, обробку заготовок деталей різанням та складання машин. Значну увагу приділено технології ливарного і зварювального виробництв, електрохімічним, фізичним і механічним методам обробки металів; особливостям технологічних процесів електроніки і мікроелектроніки, пов'язаних із виготовленням інтегральних мікросхем і друкарських плат; роботам, які виконують на верстатах; інструментам і процесам складання машин.

Зміст технології хімічних виробництв об'єднує технологію виробництва неорганічних кислот, хімічну переробку палива, одержання високомолекулярних з'єднань, виробництво пластмас, хімічних волокон, каучуку, гуми та ін. У процесі розгляду питань у хімічній промисловості акцентовано увагу на виробничих процесах отримання сірчаної, азотної кислот і аміаку, виробництві лугів, соди, добрив і отрутохімікатів; переробці нафти, крекінгу нафтопродуктів, наведена їх класифікація і власти-

вості; біохімічних, фотохімічних, радіаційно-хімічних і плазмохімічних процесах; виробництві пластмас, каучуку, гуми, хімічних волокон та ін.

Під час аналізу будівельної промисловості поруч із загальними характеристиками властивостей будівельних матеріалів, в'язучих речовин, класифікацією будинків і споруд, розглянуті різноманітні природні матеріали і технології виготовлення штучних будівельних матеріалів (кераміки, скла, безопалювальних матеріалів і виробів із них); мінеральні в'язучі речовини, їх класифікація і властивості, виробництво портландцементу і його різновидів, глиноземного цементу, гіпсу, будівельного вапна, бетону і залізобетону. Приділяється увага технології будівельного виробництва, її загальним особливостям, організації будівництва, елементам будівель і будівельним роботам.

Структура дисципліни органічно пов'язана з іншими предметами, які студенти вивчають на старших курсах, а саме: економікою, промисловою статистикою, бухгалтерським обліком та ін. Практично всі розділи економіки базуються на виробничих процесах металургійної, машинобудівної, хімічної та будівельної галузей. Відомо, що технологія видає всі початкові матеріали для економіки, статистики, матеріального обліку цінностей, машин, механізмів, споруд, а також оцінювання ефективності виробництва тих чи інших видів продукції.

У посібнику увага акцентується на особливостях технологічних процесів у різних галузях. Наприклад, у машинобудуванні технологічний процес пов'язаний зі зміною форм, розмірів, стану деталей. Найбільш складним і трудомістким технологічним процесом є механічна обробка, в якій завжди задіяна більша частина машин, які працюють на підприємстві. Умовні позначення величин у формулах наведені в додатку А.

Технологічні особливості тих чи інших видів виробництв розглядаються в органічному взаємозв'язку з економікою виробництва, що якоюсь мірою спрямовує читача на поєднання знань у галузі технології з економікою. Знаючи зміст технології виробництва, читач зможе самостійно оцінити ефективність того чи іншого методу, заздалегідь враховуючи це при вивченні структури собівартості кінцевого продукту у зв'язку з ефективністю того чи іншого виду виробництва.

Модуль 2. Технологічні системи в галузях виробництва

Тема 5. Економічне оцінювання технологій

5.1. Чинники, які формують технологічну ефективність виробництва

Основними чинниками, які формують технологічну ефективність виробництва, є показники технологічності, уніфікації, призначення, надійності, ергономічності, безпеки, екологічності [27].

Показники технологічності продукції розподіляються на основні й додаткові, характеризуються оптимальним розподілом витрат матеріалів, засобів праці й часу в процесі технологічної підготовки виробництва, виготовлення та експлуатації продукції. Показники технологічності найбільш детально розроблені стосовно до виробів машинобудування й приладобудування, тому що вони мають загальнопромислове значення. Ці показники необхідно визначати також у процесі оцінювання економічної ефективності виробництва різних видів промислової продукції, виходячи із затрачуваних на їхнє виробництво матеріальних, трудових і грошових ресурсів. До числа основних показників технологічності відносять показники трудомісткості, матеріалоемності й собівартості, застосовувані для всіх без винятку видів промислової продукції. Необхідно розрізняти наступні показники: трудомісткість, матеріалоемність, собівартість (сумарну, структурну, питому, порівняльну) й відносну трудомісткість, матеріалоемність, собівартість.

Сумарна (загальна) трудомісткість продукції визначається кількістю часу, затраченого виконавцем на виробництво одиниці продукції, і виражається в нормогодинах або машино-годинах. Сумарну (загальну) трудомісткість T розраховують за формулою:

$$T = t_1 + \dots + t_k = \sum_{i=1}^k t_i, \quad (5.1)$$

де t_i – трудомісткість для окремих цехів, ділянок або видів робіт, що входять у технологічний процес виготовлення даної продукції;

k – кількість цехів, ділянок або видів робіт.

Питома (на одиницю визначального параметра B) трудомісткість $t_{\text{пит}}$ розраховується за формулою:

$$t_{\text{пит}} = \frac{T}{B} \quad (5.2)$$

у нормогодинах або машино-годинах на одиницю визначального параметра даної продукції (наприклад, на один із показників призначення: на 1 кг або 1 т маси, на 1 м³ корисного обсягу, на 1 м зовнішнього габариту і т. д.).

Порівняльна трудомісткість $t_{\text{п}}$ характеризує рівень трудовитрат і визначається за формулою:

$$t_{\text{п}} = \frac{T}{T_{\text{б}}}, \quad (5.3)$$

де $T_{\text{б}}$ – базова трудомісткість, прийнята й задана для порівняння під час оцінювання рівня технологічності за цим показником.

Відносна трудомісткість $t_{\text{відн}}$ характеризує частку трудовитрат для даного виду робіт у сумарній (загальній) трудомісткості й визначається за формулою:

$$t_{\text{відн}} = \frac{t_i}{T}, \quad (5.4)$$

де t_i – трудомісткість для i -го виду робіт.

Сумарна (загальна) матеріалоемність (M) продукції визначається за загальною масою одиниці продукції за формулою:

$$M = m_1 + \dots + m_n = \sum_{i=1}^n m_i, \quad (5.5)$$

де m_i – матеріалоемність i – ї складової частини продукції, кг;

n – кількість складових частин.

Структурна матеріалоемність продукції m_i характеризує витрати окремих видів (сортів, марок) матеріалів і є елементом сумарної (загальної) матеріалоемності.

Питома матеріалоемність продукції $m_{\text{пит}}$ (кг) на одиницю визначального параметра визначається за формулою:

$$m_{\text{пит}} = \frac{M}{B}. \quad (5.6)$$

Порівняльна матеріалоемність m_n (кг) визначається за формулою:

$$m_n = \frac{M}{M_6}, \quad (5.7)$$

де M_6 – базова матеріалоемність, прийнята й задана для порівняльної оцінки рівня технологічності.

Відносна матеріалоемність $m_{\text{відн}}$ визначається як відношення маси даного матеріалу m_i до сумарної загальної матеріалоемності виробу M :

$$m_{\text{відн}} = \frac{m_i}{M}. \quad (5.8)$$

Аналогічно визначається коефіцієнт застосування матеріалів. Він дозволяє визначити ступінь застосування в даному виробі найбільш прогресивних видів, сортів або марок матеріалів.

Найважливішим відносним показником технологічності, що характеризує ефективність використання матеріальних ресурсів у процесі виробництва продукції, є коефіцієнт використання матеріалу $K_{\text{вм}}$. Він визначається для окремих сортів і марок продукції як відношення кількості (маси) матеріалу в готовій продукції до кількості (маси) матеріалу, що вводиться в технологічний процес:

$$K_{\text{вм}} = \frac{M_r}{M_b}, \quad (5.9)$$

де M_r – кількість (маса) матеріалу в готовій продукції, кг;

M_b – кількість (маса) матеріалу, введеного в технологічний процес, кг.

Сумарна (загальна) собівартість C продукції визначається, залежно від умов оцінки її технологічності, у вигляді заводської, цехової, повної або неповної (умовної), проектної, планової, звітної і т. ін. Спосіб визначення сумарної собівартості і ступінь деталізації її розрахунків передбачені чинними галузевими інструкціями. У найбільш загальному випадку собівартість включає витрати на матеріали, заробітну плату, а також непрямі витрати.

Структурна собівартість C_i характеризує витрати за окремими видами робіт, виконуваних в окремих цехах, ділянках, лініях, що беруть участь у технологічному процесі виготовлення даної продукції.

Питома собівартість продукції $C_{\text{пит}}$ визначається шляхом розподілу сумарної (загальної) собівартості на одиницю визначального параметра цієї продукції, на 1 кг або 1 т маси виробу, на одиницю його продуктивності, габариту тощо:

$$C_{\text{пит}} = \frac{C}{B} \quad (\text{грн /од. параметра}). \quad (5.10)$$

Порівняльна собівартість $C_{\text{п}}$ визначається за її відношенням до аналогічного базового показника, прийнятого або заданого для порівняльної оцінки технологічності $C_{\text{п}} = \frac{C}{C_{\text{б}}}$, де $C_{\text{б}}$ – базова собівартість.

Відносна собівартість $C_{\text{відн}}$ визначається як відношення структурної й сумарної (загальної) собівартості:

$$C_{\text{відн}} = \frac{C_i}{C}. \quad (5.11)$$

Вона характеризує частку окремих цехів, ділянок, ліній у сумарній (загальній) собівартості.

Показники експлуатаційної технологічності продукції визначаються аналогічно за її сумарною (загальною), структурною, питоною, порівняльною й відносною трудомісткістю. Поряд із показниками технологічності продукції її конструкція характеризується також показниками уніфікації й показниками транспортабельності, які побічно або безпосередньо визначають витрати праці, матеріалів і засобів на розробку, виготовлення й експлуатацію продукції.

Попередні розрахунки основних і додаткових показників технологічності повинні проводитися з використанням дослідно-статистичних даних щодо аналогічних виробів. На кожному підприємстві, що здійснює технологічну підготовку виробництва, організовується збір і систематизація кращих галузевих показників технологічності. Тільки на цій

основі можна впевнено судити про рівень технологічності знову створюваної продукції, зіставляти її показники, насамперед, показники трудомісткості, матеріалоемності й собівартості із прогнозованими показниками технологічності й кращими аналогічними показниками, досягнутими в практиці передових підприємств галузі.

Показники уніфікації. Показники уніфікації характеризують насиченість стандартними, уніфікованими й оригінальними складовими частинами, а також рівень уніфікації з іншими виробами. Складовими частинами виробу є вхідні в нього деталі, складальні одиниці, комплекти й комплекси. Розпочинаючи розрахунок показників уніфікації, необхідно вибрати рівень цього розрахунку (за деталями або складальними одиницями). Для ідентичності в розрахунках показників уніфікації складові частини виробів розподіляються на стандартні, уніфіковані й оригінальні.

До *стандартних* відносять складові частини виробу, що випускаються за державними стандартами.

Уніфікованими є: складові частини виробу, що випускаються за стандартами даного підприємства, якщо вони використовуються хоча б у двох різних виробих, виготовлених цим підприємством; складові частини виробу, не виготовлені на даному підприємстві, а одержувані ним зі сторони в готовому вигляді в порядку кооперування; запозичені складові частини виробу, тобто раніше спроектовані для конкретного виробу й застосовані у двох або більше інших виробих. Допускається запозичення складових частин у виробів, знятих з виробництва, за умови відповідності частини сучасним вимогам і збереження технічної документації на виготовлення. До *оригінальних* відносяться складові частини, розроблені тільки для даного виробу. До показників уніфікації належать: коефіцієнт застосовності, коефіцієнт повторюваності, коефіцієнт взаємної уніфікації для груп виробів, коефіцієнт уніфікації для групи виробів.

Коефіцієнт застосовності K_3 обчислюють за формулою:

$$K_3 = \frac{n \cdot n_0}{n}, \quad (5.12)$$

де n – загальна кількість типорозмірів складових частин виробу;

n_0 – кількість типорозмірів оригінальних складових частин.

Розрахунок коефіцієнта застосовності здійснюється на рівні деталей. За узгодженням замовника з розробником коефіцієнт

застосовності може бути додатково розрахований не тільки за деталями у штуках, але також у вартісному виразі. Під час встановлення вартості складових частин виробу використовують заводську собівартість, для купованих частин – відпускну ціну.

Коефіцієнт повторюваності K_n складових частин визначається за формулою:

$$K_n = \frac{N}{n}, \quad (5.13)$$

де N – загальна кількість складових частин виробу.

Коефіцієнт взаємної уніфікації для груп виробів K_{vy} визначають за формулою:

$$K_{vy} = \frac{\sum_{i=1}^H n_i - z}{\sum_{i=1}^H n_i - n_{max}} \cdot 100, \quad (5.14)$$

де n_i – кількість типорозмірів складових частин у виробі;

n_{max} – максимальна кількість типорозмірів складових частин одного з виробів групи;

z – загальна кількість неповторюваних типорозмірів складових частин, з яких складається група виробів;

H – загальна кількість розглянутих виробів у групі.

Коефіцієнт уніфікації для групи виробів K_r визначають за формулою:

$$K_r = \frac{\sum_{i=1}^m K_{z_i} \cdot D_i \cdot C_i}{\sum_{i=1}^m D_i C_i}, \quad (5.15)$$

де m – кількість виробів у групі;

K_{z_i} – коефіцієнт застосовності для i -го виробу;

D_i – річна програма для i -го виробу;

C_i – оптова ціна i -го виробу.

За відсутності даних про ціну кожного виробу групи коефіцієнт K_r обчислюють за спрощеними формулами:

$$K_r = \frac{\sum_{i=1}^m K_{3_i} \cdot D}{\sum_{i=1}^m D_i} \quad \text{або} \quad K_r = \frac{\sum_{i=1}^m K_{3_i}}{m} . \quad (5.16)$$

Під час визначення показників уніфікації з розрахунку необхідно виключити наступні деталі й складальні одиниці: кріпильні деталі (болти й гвинти всіх типів, шпильки, заклепки, штифти, шплінти, нагелі, штирі, шурупи й цвяхи); пробки й заглушки; деталі з'єднання трубопроводів і арматури (муфти, ніпелі, накидні гайки, перехідні патрубки, трубки); гайки різних видів (настановні, підкладні) і різьбові кільця; шайби для металу й дерева всіх видів; шпонки всіх видів; гачки, підвіски, вушка, рим-болти; електромонтажні деталі (пелюстки, наконечники, кабельні скоби), наконечники проводів, перемички, лампочки; прокладки, накладки, планки, пластики, бобишки, привариші, пломби; слюсарно-складальний інструмент і приладдя; деталі тари й упакування; кільця встановлювальні, регулювальні, підкладні; інші аналогічні деталі й складальні одиниці.

Показники призначення характеризують властивості продукції, що визначають основні її функції, які вона виконує, і сферу її застосування. У галузевих методиках оцінювання рівня якості продукції необхідно вказувати показники призначення для різних умов застосування продукції. У процесі визначення показників призначення слід вибирати для аналізу, зіставлення та інших операцій, обумовлених оцінкою рівня якості продукції, тільки найбільш необхідні з них, що характеризують найважливіші властивості продукції. До групи показників призначення відносять наступні підгрупи: класифікаційні показники, функціональну й технічну ефективність, конструктивні показники, показники складу та структури.

Класифікаційні показники характеризують належність продукції до певного класифікаційного угруповання. До класифікаційних показників, наприклад, відносяться: потужність двигуна, ємність ковша екскаватора, передавальне число редуктора, вміст вуглецю в сталі та ін.

Показники функціональної й технічної ефективності характеризують корисний ефект від експлуатації або споживання продукції та прогресивність технічних рішень, що закладаються в продукцію. Ці

показники для технічних об'єктів називаються експлуатаційними. До показників функціональної та технічної ефективності належать: показник продуктивності верстата, що визначає кількість виготовленої продукції за визначений період; показник точності й швидкості спрацювання вимірювального приладу; показник міцності тканини для швейних виробів; питома енергоємність електрокаміна, обумовлена витратою електроенергії на одиницю виділеного тепла; показник водонепроникності для плаща; калорійність харчових продуктів та ін.

Конструктивні показники характеризують основні проектно-конструкторські рішення, зручність монтажу і встановлення продукції, можливість її агрегативання й взаємозамінності. Для продукції, на яку розроблена конструкторська документація, застосування конструктивних показників у процесі оцінювання якості обов'язкове. До конструктивних показників, наприклад, відносяться: габаритні розміри; приєднувальні розміри; наявність додаткових пристроїв, наприклад, наявність сигналу й календаря в ручних годинниках; коефіцієнт ефективності взаємозамінності; коефіцієнт збірності виробу та ін.

Коефіцієнт збірності виробу характеризує простоту й зручність його монтажу і становить частку конструктивних елементів, що входять у блоки, у загальній кількості елементів, що входять до складу виробу. Коефіцієнт збірності виробу $K_{зб}$ визначають за формулою:

$$K_{зб} = \frac{Q_c}{Q_{зб}} = 1 - \frac{Q_n}{Q_{зб}}, \quad (5.17)$$

де Q_c – кількість складових частин виробу за специфікацією;

Q_n – кількість складових частин виробу не за специфікацією;

$Q_{зб}$ – загальна кількість складових частин виробу, що розраховується за формулою: $Q_{зб} = Q_c + Q_n$.

Кількість частин виробу за специфікацією і не за специфікацією визначають на основі даних про склад виробу, що внесені в його специфікацію. Показники складу та структури характеризують вміст у продукції хімічних елементів або структурних груп, наприклад: процентний вміст легувальних домішок у сталі; концентрація різних домішок у кислотах; процентний вміст цукру, солі в харчових продуктах та ін.

Показники надійності характеризують властивість технічного об'єкта безперервно зберігати працездатність протягом деякого часу або деякого напрацювання.

Показники безвідмовності. До них відносяться: можливість безвідмовної роботи; середній наробіток до відмови; інтенсивність відмов; параметр потоку відмов: працювання на відмову. Методика розрахунку показників безвідмовності викладена в ДСТ 19460-74.

Показники довговічності характеризують властивість технічного об'єкта зберігати працездатність до настання граничного стану при встановленій системі технічного обслуговування й ремонтів. До показників довговічності відносяться: гамма-процентний ресурс; середній ресурс; середній ресурс між середніми (капітальними) ремонтами; середній ресурс до списання; середній ресурс до середнього (капітального) ремонту; гамма-процентний термін служби; середній термін служби; середній термін служби між середніми (капітальними) ремонтами; середній термін служби до середнього (капітального) ремонту; середній термін служби до списання.

Показники ремонтпридатності характеризують властивість технічного об'єкта, що полягає в пристосованості до попередження й виявлення причин ушкодження і їхньому усуненні шляхом проведення ремонтів і технічного обслуговування. До показників ремонтпридатності належать, наприклад: середня оперативна тривалість планового (непланового) поточного ремонту; середня оперативна трудомісткість технічного обслуговування. Порядок експериментального визначення показників ремонтпридатності технічних об'єктів наведений у ДСТ 19489-74, де встановлені основні положення щодо проведення випробувань об'єктів на ремонтпридатність.

Пристосованість продуктів і матеріалів до відновлення їхніх властивостей після зберігання й транспортування характеризується *показниками відновлення*. До показників відновлення продуктів (матеріалів) належать, наприклад: середній час відновлення до заданого значення показника якості; коефіцієнт відновлення – відношення значення показника якості до заданого або вихідного значення цього показника.

Показники збережності характеризують властивість технічного об'єкта зберігати справний і працездатний стан протягом і після зберігання й (або) транспортування або властивість продукту (матеріалу)

зберігати придатний до споживання стан протягом зберігання й (або) транспортування.

До показників збережності відносяться: гамма-процентний термін зберігання; середній термін зберігання. Терміном зберігання продукту (матеріалу) називається календарна тривалість зберігання й (або) транспортування продукту (матеріалу) у заданих умовах, протягом і після якої зберігаються значення заданих показників у встановлених межах. Гамма-процентним терміном зберігання продукту (матеріалу) називається термін зберігання, що буде досягнутий продуктом (матеріалом) із заданою ймовірністю відсотків. Середнім терміном зберігання продукту (матеріалу) називається математичне очікування терміну зберігання продукту (матеріалу). Показники збережності оцінюють статистичними методами за результатами випробувань.

Комплексні показники надійності. Комплексними показниками надійності технічних об'єктів є коефіцієнт готовності, коефіцієнт технічного використання, коефіцієнт оперативної готовності, середня сумарна трудомісткість технічного обслуговування, середня сумарна трудомісткість ремонтів та ін. Установлено правила розрахунку значень комплексних показників надійності відновлюваних об'єктів із двома рівнями працездатності для розподілів із неспадною інтенсивністю відмов, формули для розрахунку коефіцієнта готовності, коефіцієнта технічного використання й коефіцієнта оперативної готовності.

Вибір показника надійності. У багатьох випадках кількісною характеристикою надійності всієї сукупності об'єктів даного типу є математичне очікування випадкової величини $U[X(t)]$:

$$R = MU[X(t)]. \quad (5.18)$$

Вид функції $X(t)$ повністю визначається властивостями, що характеризують надійність виробу. Функціонал $U[X(t)]$ враховує принцип, яким керується споживач виробу під час оцінювання наслідків відмов. Показник надійності виробу, обумовлений формулою (5.18), відбиває відповідні властивості виробу (безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність і збережність). Ці властивості визначають характер функції $X(t)$, а також принцип оцінки наслідків відмов, що здійснюється відповідним вибором функціонала $U[X(t)]$. Визначення чисельних значень

показників надійності об'єктів виконується за результатами їхньої експлуатації, означальних випробувань на надійність або розрахунковими методами. За чисельне значення показника надійності приймають точкову оцінку або довірчі межі інтервалу, що із заданою надійною ймовірністю покриває значення показника. Точкову оцінку приймають за наближене значення невідомого показника.

У загальному випадку коефіцієнт нормування надійності об'єкта залежить від собівартості об'єкта, від показників надійності й економічних показників експлуатації. Коефіцієнт нормування може бути поданий у вигляді функції:

$$K_H = \Phi(\beta_1, \beta_2, \beta_3, \varepsilon, \gamma_1, \gamma_2, R_1, \dots, R_n), \quad (5.19)$$

де β_1 – собівартість виробу;

β_2 – середні втрати від відмови;

β_3 – сумарні витрати на планово-профілактичні роботи за термін служби;

δ_1 – питомі витрати на забезпечення роботи пристрою;

δ_2 – витрати, необхідні для забезпечення виконання завдання;

ε – питомий збиток, обумовлений вимушеними простоями об'єкта;

γ_1 – питомий ефект від використання об'єкта;

γ_2 – ефект від виконання пристроєм заданих функцій;

$R_1 \dots R_n$ – показники надійності.

Запропонований порядок вибору норм надійності об'єктів враховує призначення і спосіб їхньої експлуатації, вплив відмов на загальну величину витрат, а також сучасний рівень розвитку техніки, що визначає реальні можливості підприємств-виробників у процесі випуску продукції. Методика поширюється на об'єкти, обслуговування яких зводиться до попереджувальних замінів і замінів внаслідок відмови, а також періодичних перевірок працездатності об'єкта. У ході проведення контрольних випробувань використовується експериментальна оцінка показника безвідмовності.

Ергономічні показники. Ергономічні показники характеризують систему “людина – виріб” (зокрема “людина – машина”) і враховують комплекс гігієнічних, антропологічних, фізіологічних і психологічних властивостей людини, що проявляються у виробничих і побутових

процесах. До групи ергономічних показників якості продукції відносяться наступні підгрупи показників:

гігієнічні – показники, які використовуються в процесі визначення відповідності виробу гігієнічним умовам життєдіяльності і працездатності людини при взаємодії її з виробом;

антропометричні – показники, які використовуються в процесі визначення відповідності виробів розмірам, формі й вазі тіла людини, що беруть участь в обслуговуванні цього виробу;

фізіологічні й психофізичні – показники, які використовуються в процесі визначення відповідності виробу фізіологічним властивостям людини й особливостям функціонування її органів чуттів (швидкісні й силові можливості людини, а також пороги слуху, зору, відчуття тощо);

психологічні – показники, які використовуються під час визначення відповідності виробу психологічним особливостям людини, що знаходить відображення в інженерно-психологічних вимогах, вимогах психології праці, що висуваються до промислових виробів.

Номенклатура ергономічних показників якості поширюється на промислові вироби, а також на їхні елементи. Це устаткування й робочі місця; пульти керування й контролю; мнемосхеми; прилади й сигналізатори; циферблати й покажчики приладів; таблички з написами й безтекстовими позначеннями; ручні й ножні органи керування; ручки й рукоятки інструментів і органів керування; одяг; шкіряні взуттєві вироби та ін.

У підгрупу гігієнічних показників входять безпосередньо пов'язані з роботою виробу показники: освітленості; запиленості; токсичності; шуму; випромінювання; вібрації; вологості; температури; напруженості магнітного й електричного полів; перевантажень (прискорень).

У підгрупу антропометричних показників входять показники відповідності конструкції виробів: розмірам тіла людини; формі тіла і його окремих частин, що вступають у контакт із виробом; розподілу ваги людини.

У підгрупу фізіологічних і психофізіологічних показників входять показники відповідності конструкції виробу: силовим можливостям людини; швидкісним можливостям людини; зоровим фізіологічним можливостям людини; слуховим фізіологічним можливостям людини; дотикальним можливостям людини.

У підгрупу психологічних показників входять показники відповідності виробу можливостям сприйняття й переробки інформації.

Оцінювання ергономічних показників проводиться шляхом зіставлення значень заданих і базових ергономічних показників. У більшості випадків за базу для порівняння беруться ергономічні вимоги, наведені в спеціальних довідниках. У цьому випадку оцінка ергономічних показників дається у вигляді – “відповідає” або “не відповідає” система “людина – виріб” ергономічним вимогам. У тих випадках, коли вдається визначити залежність між одним з основних показників призначення виробу, наприклад, показником продуктивності й обраними ергономічними показниками, їхнє оцінювання слід проводити за величиною зміни показника призначення.

Оцінювання ергономічних показників може проводитися також експертами, що спеціалізуються в конкретній галузі промисловості. Після оцінювання ергономічних показників зазначеним способом отримані результати зіставляють з ергономічними вимогами, наведеними в нормативно-технічній документації або в довідковій літературі.

Естетичні показники характеризують інформаційну виразність, раціональність форми, цілісність композиції, досконалість виробничого виконання продукції і стабільність товарного вигляду. У групу естетичних входять наступні підгрупи показників: інформаційної виразності; раціональності форми; цілісності композиції; досконалості виробничого виконання і стабільності товарного вигляду.

У табл. 5.1 для кожної з перерахованих вище підгруп показників дається перелік одиничних естетичних показників.

Таблиця 5.1

Показники естетичних властивостей

Підгрупи показників	Одиничні показники
Інформаційної виразності	Знаковості, оригінальності, стильової відповідності, відповідності моді
Раціональності форми	Функціонально-конструктивної й ергономічної обумовленості
Цілісності композиції	Організованості об'ємно-просторової структури. Пластичності. Упорядкованості графічних і образотворчих елементів
Досконалості виробничого виконання і стабільності товарного вигляду	Чистоти виконання контурів і сполучень. Старанності покриттів і обробки, чіткості виконання фірмових знаків і супровідної документації, стійкості до ушкоджень

Інформаційна виразність характеризує здатність виробу відображати у формі естетичні подання й культурні норми, що сформувалися в суспільстві. Вона проявляється в: художньо-образному вияві соціально значимої інформації (знаковості); своєрідності ознак форми, що виділяють даний виріб серед інших аналогічних виробів (оригінальності); стійких ознаках форми, що характеризують сформовану спільність засобів і прийомів художньої виразності, властивих певному періоду часу (стильовій відповідності); ознаках зовнішнього вигляду виробу, що виявляють спільність тимчасово панівних естетичних смаків і переваг (відповідності моді).

Раціональність форми характеризує відповідність форми об'єктивним умовам виготовлення й експлуатації виробу, а також правдивість вираження в ній функціонально-конструктивної сутності виробу. Вона виражає: відповідність форми виробу його призначенню, конструктивному рішенню, особливостям технології виготовлення й застосовуваних матеріалів (функціонально-конструктивну обумовленість); виявлення у формі способів і особливостей дій людини з виробом (ергономічну обумовленість).

Цілісність композиції характеризує гармонічну єдність частин і цілого, обмежений взаємозв'язок елементів форми виробу і його погодженість із класифікаційною групою інших виробів. Вона визначає ефективність використання професійно-художніх засобів для створення повноцінного композиційного рішення і знаходить вияв у: загальній логіці просторової будови форми, її масштабної, пропорційної й ритмічної організації (організованості об'ємно-просторової структури); художньому осмисленні реальної роботи конструкції й матеріалів; моделюванні, взаємних переходах і зв'язках обсягів, площин і обрисів форми (пластичності); супідрядності графічних і образотворчих елементів загальному композиційному рішенню (упорядкованості графічних і образотворчих елементів); взаємозв'язку колірних сполучень і використанні декоративних властивостей матеріалів (колориті й декоративності).

Досконалість виробничого виконання і стабільність товарного вигляду істотно впливають на особливості естетичного сприйняття форми виробу й характеризуються: чистотою виконання контурів, округлень і сполучень елементів; старанністю нанесення покриттів і обробки поверхонь; чіткістю виконання фірмових знаків, супровідної документації та інформаційних матеріалів; збереженням елементів

форми й поверхонь від ушкоджень, стирання та зміни декоративних покриттів (стійкістю до ушкоджень). Оцінювання естетичних показників якості конкретних зразків продукції проводиться експертною комісією, що складається із кваліфікованих фахівців, які мають досвід роботи в галузі художнього конструювання й участі в роботі комісій з оцінювання рівня якості промислової продукції. За критерій естетичної оцінки береться ранжований ряд виробів аналогічного класу й призначення (базовий ряд), що формується експертами на основі базових зразків, які подаються організацією-виробником. У процесі оцінювання естетичних показників експортної продукції за базовий зразок береться сучасний аналог провідної закордонної фірми. Процес оцінювання естетичних показників якості продукції включає вибір базових зразків і складання базового ряду, проведення порівняльного художньо-конструкторського аналізу й визначення чисельних значень аналізованого виробу, а також визначення чисельних значень естетичних показників у балах з використанням експертних методів.

Показники безпеки характеризують особливості продукції, що забезпечують безпеку людини (обслуговчого персоналу) під час експлуатації або споживання продукції. Урахування показників безпеки необхідне для забезпечення безпеки людини під час експлуатації або споживання продукції, монтажу, обслуговування, ремонту, зберігання, транспортування від механічних, електричних, теплових впливів, отрутного і вибухового пару, акустичних шумів, радіоактивних випромінювань тощо. Показники безпеки повинні відобразити вимоги, заходи й засоби захисту людини в умовах аварійної ситуації, не санкціонованої й не передбаченої правилами експлуатації в зоні можливої небезпеки. Вимоги до безпеки людини за санкціонованих умов у режимах експлуатації або споживання, монтажу, обслуговування, транспортування й зберігання продукції можуть урахуватися підгрупою гігієнічних показників, що входять у групу ергономічних показників якості продукції. Під аварійною розуміють ситуацію, викликану випадковими порушеннями правил, зміною умов і режимів експлуатації або споживання продукції.

Під зоною можливої небезпеки розуміють простір, у якому існує небезпека (погроза) для здоров'я людини в разі виникнення аварійної ситуації. Показники безпеки повинні враховувати вимоги, виконання яких забезпечує захист людини, що перебуває в зоні можливої небезпеки, від шкідливих для її здоров'я впливів. Прикладами показників безпеки

можуть бути: ймовірність безпечної роботи людини протягом певного часу; час спрацьовування захисних пристроїв; опір ізоляції струмопровідних частин, з якими можливий контакт людини; електрична міцність високовольтних ланцюгів. Показниками безпеки можуть також слугувати якісні характеристики, наприклад, такі, як наявність блокувальних пристроїв, ременів безпеки, аварійної сигналізації тощо.

У процесі оцінювання рівня якості продукції з урахуванням показників безпеки необхідно виходити з вимог (норм) щодо безпеки. Вимоги й норми щодо безпеки людини визначаються: системою державних стандартів з безпеки праці, правилами й нормами з техніки безпеки, пожежною безпекою, виробничою санітарією; стандартами, рекомендаціями, публікаціями МЕК та інших міжнародних організацій зі стандартизації, а також прийнятими міжнародними регламентаціями (нормами).

Екологічні показники характеризують рівень шкідливих впливів на навколишнє середовище, що виникають під час експлуатації або споживання продукції. У процесі вибору екологічних показників повинні бути відображені вимоги, виконання яких забезпечує підтримку раціональної взаємодії між діяльністю людини й навколишнім природним середовищем, а також попередження прямого й непрямого шкідливого впливу результатів експлуатації або споживання продукції на природу. Урахування екологічних показників повинен забезпечити: обмеження потрапляння в навколишнє природне середовище промислових, транспортних і побутових стічних вод і викидів для зниження вмісту забруднюючих речовин в атмосфері, природних водах і ґрунтах до кількостей, які не перевищують гранично допустимі концентрації; збереження й раціональне використання біологічних ресурсів; можливість відтворення диких тварин і підтримання в сприятливому стані умов їхнього перебування; збереження генофонду рослинного й тваринного світу, в тому числі рідкісних і зникаючих видів. Для обґрунтування необхідності обліку екологічних показників у процесі оцінювання якості продукції проводиться аналіз процесів її експлуатації або споживання з метою виявлення можливості хімічних, механічних, світлових, звукових біологічних, радіаційних та інших впливів на навколишнє природне середовище. У разі виявлення шкідливих впливів зазначених факторів на природну групу екологічних показників їх необхідно включати в номенклатуру показників, застосовуваних для оцінювання рівня якості продукції.

До екологічних показників належать: вміст шкідливих домішок, що викидаються в навколишнє середовище; ймовірність викидів шкідливих часток, газів, випромінювань при зберіганні, транспортуванні, експлуатації або споживанні продукції. За відсутності статистичних даних про екологічні показники, методів визначення їхніх чисельних значень тощо допускається застосування якісних характеристик, таких як наявність очисних пристроїв, глушителів, пиловловлювачів та ін.

5.2. Вплив технології на якість виробу

Підвищити ресурс і надійність роботи деталей можна металургійними, конструкторськими, технологічними й експлуатаційними заходами. Досвід експлуатації машин показує, що найбільш ефективним із них є технологічний напрямок – забезпечення заданої точності й оптимальних параметрів поверхневого шару деталі.

Технологічні операції у структурі технологічного процесу справляють значний вплив на якість виробів. Має значення їх кількість, послідовність і якість виконання. Якщо кількість буде впливати, в першу чергу, на собівартість продукції, то послідовність і якість їх виконання впливають на якість виробів. У зв'язку з цим необхідно розглянути операції термічної обробки в структурі технологічного процесу, надійність виконання технологічного процесу, умови виконання операцій з точки зору стабілізації напружень в матеріалі деталей, розподілу припуску між переходами, підвищення стійкості проти спрацьовування.

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, інструмент і, нарешті, люди, які здійснюють процес або керують ним. Технологічний процес повинен мати високу надійність. Процес забезпечує необхідний рівень якості виробів і високу продуктивність. Однак ці дві сторони нерідко вступають у суперечність – підвищення продуктивності може призвести до зниження якості виробів 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.

Згідно з ДСТ 16949-71, під точністю розуміють здатність технологічного процесу забезпечувати відповідність поля розсіювання значень показника якості виготовленої продукції заданому полю допуску і

його розташуванню. Стабільність – властивість технологічного процесу зберігати показники якості продукції, що виготовляється, в заданих межах протягом певного часу. З визначення випливає, що точність характеризує технологічний процес у певний фіксований момент часу, тобто у статиці. Поняття стабільності характеризує технологічний процес виготовлення машин тільки з позиції збереження в заданих межах показників якості продукції, безвідносно до 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 в процесі його реалізації продукція матиме низьку категорію якості чи буде морально застарілою.

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, ..., $n-1$, n . Ймовірність здійснення технологічного процесу на всьому ланцюгу повинна дорівнювати 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, в основному, 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 шестірень, знижує довговічність їхньої роботи в 5 – 8 разів; наявність припиків на різальних кромках матриці й пуансона вирубних штампів, знижує їхню стійкість у 20 – 30 разів. Проблема забезпечення заданої якості поверхневого шару деталей під час шліфування вирішується шляхом підбору умов і режимів обробки. Процес шліфування відбувається в постійно 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 дії на інструмент, приводить до нераціонального використання його ресурсу і погіршує якість поверхневого шару оброблених деталей. Інтенсивність зазначених процесів залежить від динамічних властивостей технологічної системи та технологічних умов обробки і найбільшою мірою виявляється в процесі обробки деталей з важкооброблюваних матеріалів. Особливу актуальність динамічна нестабільність процесів шліфування має в умовах автоматичного виробництва.

У разі зміни операцій змінюються й оптимальні значення параметрів режиму. За оптимального керування процесом шліфування за постійно змінних умов обробки потрібно не тільки забезпечити задану точність траєкторії переміщення інструмента, але також здійснити безперервне керування параметрами режиму шліфування. Нестабільність характеристик шліфувальних кругів і їх зміна, а також зміна 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 поздовжньої 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 дозволяють видалити дефектний шар. Отже, видалення припуску під час багатопрохідного шліфування слід робити зі зменшуваними від проходу до проходу глибинами. Причому глибина дефектного шару, що виникає під час шліфування, не повинна перевищувати величини припуску, що залишився на наступні проходи.

Оптимальний розподіл припуску між проходами. 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 за ноніусом верстата. Глибина проникнення шліфувального дефекту δ залежить від умов шліфування, режимів, стану робочої поверхні круга. У загальному випадку вираз для δ можна записати у вигляді:

$$\delta = C_1 \cdot V_d^x \cdot S^y \cdot t^k \cdot \tau^z, \quad (5.20)$$

де C_1 – постійний коефіцієнт;

x, y, k, z – показники степенів.

Експериментально встановлено, що незалежно від швидкості V_d і подачі S глибина дефектного шару δ пропорційна глибині шліфування t [3]. У табл. 5.2 наведені режими шліфування зубчастих коліс, температура в зоні контакту і глибина дефектного шару [3].

Таблиця 5.2

Режими обробки зубчастих коліс

Модель верстата	Глибина різання, мм	Поперечна подача	Поздовжня подача	τ, c	$\theta, ^\circ C$	$\delta, \text{мкм}$
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 наведених даних випливає, що зі збільшенням часу впливу теплового джерела зростає глибина дефектного шару. На основі даних,

наведених у табл. 5.2, побудована залежність глибини дефектного шару δ від глибини шліфування зубчастих коліс на верстаті моделі 5851 з $\alpha_n = 0$ (крива 1) і $\alpha_n = 15^\circ$ (крива 2) і на верстаті моделі 5831 (крива 3) (рис. 5.1). Штриховою лінією показана залежність питомого знімання металу від глибини шліфування. Розрахунки зроблені для шліфування зубчастих коліс на верстаті моделі 5851 з нульовою вихідною різальною рейкою круга ($\alpha_B = 0$) в режимі $S_{\text{нон}} = 1,67$ мм/хит.; $V_{\text{обк.}} = 38,87$ мм/с; і на верстаті моделі 5831 в режимі $S_{\text{кр}} = 1,27$ мм/хит.; $V_B = 51,2$ мм/с.

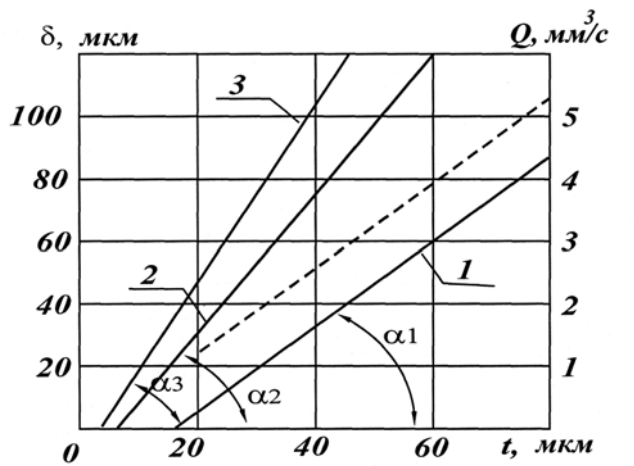


Рис. 5.1. Залежність глибини дефектного шару δ від глибини шліфування

Умовні позначення: 1 – верстат моделі 5851 $\alpha_B = 0$; 2 – верстат моделі 5851 $\alpha_B = 15^\circ$; 3 – верстат НАІЛС (моделі 5831)

шліфування на верстаті моделі 5851 з 15-ти градусним налагодженням кругів – $t_0 = 0,008$ мм, а під час шліфування на верстаті моделі 5851 – з $\alpha_B = 0$, $t_0 = 0,012$ мм. Величину дефектного шару можна розрахувати за формулою:

$$\delta = (t - t_0) \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (5.21)$$

де δ – величина дефектного шару, мкм;

t – глибина шліфування, мкм;

t_0 – глибина шліфування, за якої починають з'являтися дефекти, мкм;

$\operatorname{tg} \alpha$ – параметр, що характеризує вплив кінематики верстатів на теплонапруженність процесу шліфування.

З аналізу залежностей $\delta = f(t)$ (див. рис. 5.1) видно, що дефектний шар під час шліфування зубчастих коліс ($m = 5$; $z = 30$; $\alpha = 20^\circ$ сталь 12Х2Н4М) з'являється за глибини різання t_0 . Розглянуті схеми зубошліфувальних верстатів мають різні значення початкових глибин t_0 .

Наприклад, під час шліфування зубчастих коліс на верстаті моделі 5831 дефектний шар починає з'являтися за глибини різання $t_0 = 0,005$ мм, під час

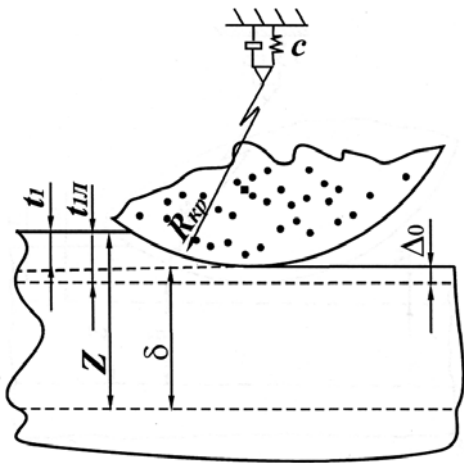


Рис. 5.2. Розрахункова схема для визначення глибини дефектного шару

Наприклад, для умов шліфування, наведених у табл. 5.2, для зубошліфувального верстата моделі 5851 з $\alpha_B = 0^\circ$ $\text{tg}\alpha_1 = 1,14$; з $\alpha_B = 15^\circ$ – $\text{tg}\alpha_2 = 2,18$; $\text{tg}\alpha_3 = 2,78$.

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 (див. рис. 5.1). Наприклад, за умови відповідності

процесу рівнянню (5.21) глибина дефектного шару не повинна перевищувати припуск, що залишився під наступну обробку:

$$t_1 + \text{tg}\alpha(t_1 - t_0) = z, \quad (5.22)$$

де t_1 – глибина різання на першому проході;

z – загальний припуск на шліфування.

Глибина різання на першому проході буде дорівнювати:

$$t_1 = \frac{z + t_0 \cdot \text{tg}\alpha}{1 + \text{tg}\alpha}. \quad (5.23)$$

Глибина різання на i -му проході:

$$t_i = \frac{\left(z - \sum_{i=1}^{n-1} t_i \right) + t_0 \cdot \text{tg}\alpha}{1 + \text{tg}\alpha}. \quad (5.24)$$

Розглянемо послідовність розрахунку операційних припусків на конкретному прикладі.

Приклад. Потрібно видалити з бічних поверхонь зубів припуск $z = 0,2$ мм. Верстат моделі 5851 $\alpha_B = 0$ ($t_0 = 0,012$ мм, $\text{tg}\alpha = 1,4$), $S_n = 1,67$ мм/хит., кількість хитань столу $n = 93$ хит./хв. За формулою (5.23) проводимо розрахунок t_i доти, поки не буде виконана умова $t_n \leq t_0$:

$$t_1 = \frac{z + t_0 \cdot \text{tg}\alpha}{1 + \text{tg}\alpha} = 0,094 \text{ мм};$$

$$t_2 = \frac{z - t_1 + t_0 \cdot \text{tg}\alpha}{1 + \text{tg}\alpha} = 0,05 \text{ мм};$$

$$t_3 = \frac{z - (t_1 + t_2) + t_0 \cdot \operatorname{tg}\alpha}{1 + \operatorname{tg}\alpha} = 0,027 \text{ мм};$$

$$t_4 = \frac{z - (t_1 + t_2 + t_3) + t_0 \cdot \operatorname{tg}\alpha}{1 + \operatorname{tg}\alpha} = 0,017 \text{ мм};$$

$$t_5 = \frac{z - (t_1 + t_2 + t_3 + t_4) + t_0 \cdot \operatorname{tg}\alpha}{1 + \operatorname{tg}\alpha} = 0,007 \text{ мм}.$$

Отриманий розподіл глибин шліфування забезпечує стабілізацію якості поверхневого шару, тобто усуває появу дефектів шліфування. На п'ятому проході умова $t_5 < t_0$ виконується. Отже, подальшу обробку можна було б припинити, якби сумарна величина знятого шару металу за 5 проходів досягла величини загального припуску на обробку $z = 0,2$

мм. Однак величина сумарного знімання металу $\sum_{i=1}^5 t_i = 0,192$ мм виявилася меншою від величини загального припуску $z = 0,2$ мм. Тому для видалення залишеної частини загального припуску

$z_{\text{зал}} = z_{\text{заг}} - \sum_{i=1}^n t_i = 0,2 - 0,192 = 0,008$ 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 відрізнятись від глибини шліфування, встановленої за ноніусом верстата:

$$t = t_{\text{л}} - \Delta_0, \quad (5.25)$$

де t – фактичне знімання металу (розрахункове);

$t_{\text{л}}$ – лімбава глибина шліфування;

Δ_0 – величина зсуву круга в напрямку нормалі до круга.

Величину Δ_0 можна визначити з виразу [49]:

$$\Delta_0 = \frac{k_0}{c_{\text{ж}} + k_0} \cdot t_{\text{л}}, \quad (5.26)$$

де $c_{\text{ж}}$ – 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 вказують лімбові глибини. Після підстановки виразу (5.26) у (5.25) і деяких перетворень отримана формула для визначення глибин шліфування за лімбом:

$$t_{\text{л}} = \frac{t}{1 - \frac{k_0}{k_0 + c_{\text{ж}}}}. \quad (5.27)$$

Для зубошліфувального верстата моделі 5851 жорсткість шпиндельного вузла $c_{\text{ж}} = 7000$ Н/мм, динамічна жорсткість визначається за формулою:

$$k_0 = c_{\text{ж}} \left(\frac{t_{\text{л}}}{t} - 1 \right); \quad k_0 = 4666 \text{ Н/мм.}$$

Лімбові глибини шліфування для верстата моделі 5851 із $\alpha_{\text{в}} = 0^\circ$ згідно зі зробленим розрахунком дорівнюють $t_{1\text{л}} = 0,157$ мм; $t_{2\text{л}} = 0,083$ мм; $t_{3\text{л}} = 0,045$ мм; $t_{4\text{л}} = 0,023$ мм; $t_{5\text{л}} = 0,011$ мм; $t_{6\text{л}} = 0,013$ мм.

У табл. 5.3 наведені значення фактичних і глибин шліфування за лімбом зубчастих коліс ($m = 5$ мм; $z = 30$; $\alpha = 20^\circ$; сталь 12Х2Н4А, HRC 60 – 62) на різних зубошліфувальних верстатах. Загальний припуск $z = 0,2$ мм.

Таблиця 5.3

Значення глибин шліфування

№ про-ходу	5851 $\alpha_{\text{в}} = 0^\circ$		5851 $\alpha_{\text{в}} = 15^\circ$		5831	
	$c_{\text{ж}}$, Н/мм	k_0 , Н/мм	$c_{\text{ж}}$, Н/мм	k_0 , Н/мм	$c_{\text{ж}}$, Н/мм	k_0 , Н/мм
	7000	4666	7000	4666	10000	6500
	Глибини шліфування, мм		Глибини шліфування, мм		Глибини шліфування, мм	
t	$t_{\text{л}}$	t	$t_{\text{л}}$	t	$t_{\text{л}}$	
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 (під час оптимізації режимів) і на етапі механічної обробки (під час діагностики операції). Однак дана методика розподілу припуску, заснована на конкретних даних, отриманих з експерименту [49], 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 $\text{tg}\alpha$ з режимами шліфування. Для визначення функціональних зв'язків параметрів t_0 і $\text{tg}\alpha$ 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 $T(x, \tau) = T_{\text{кр}}$, де x – глибина поширення температури $T_{\text{кр}}$, за якої починається розпад мартенситної структури.

Задача визначення $x_{\text{кр}}$ в явному вигляді не розв'язується через трансцендентність розв'язання цього рівняння. Залежність глибини $x_{\text{кр}}$ від щільності теплового потоку q і часу впливу теплового джерела τ встановлена в роботі [49] у вигляді наступної структурної формули:

$$x_{\text{кр}} = \delta_{\text{д}} = \alpha_1 \cdot q(\tau - \tau_0)^{\beta_1}, \quad (5.28)$$

де α , β – коефіцієнти, що залежать від теплофізичних параметрів оброблюваного матеріалу;

τ_0 – фіксована величина часу впливу теплового джерела, за якої температура в зоні контакту досягає критичної величини (при $\tau \geq \tau_0$ відбувається розпад мартенситної структури, тобто з'являється припик – дефектний шар).

Максимальна температура на поверхні в зоні шліфування, тобто при $x = 0$ відповідно до розв'язку одновимірного диференціального рівняння теплопровідності, описується рівнянням [45]:

$$T = \frac{2q}{\lambda} \cdot \sqrt{\frac{\alpha \tau}{\pi}}, \quad (5.29)$$

де α , λ – температуро- і теплопровідність оброблюваного матеріалу.

З рівняння (5.29) при $T = T_{кр}$ одержимо:

$$\tau = \tau_0 = \frac{T_{кр}^2 \cdot \lambda^2 \cdot \pi}{4 \cdot q^2 \cdot \alpha}. \quad (5.30)$$

Максимальний час впливу теплового джерела τ дорівнює відношенню довжини дуги контакту теплового джерела до швидкості його переміщення. Наприклад, при плоскому шліфуванні:

$$\tau = \frac{\sqrt{D \cdot t}}{V_{СТ}}, \quad (5.31)$$

де D – діаметр шліфувального круга;

t – глибина шліфування;

$V_{СТ}$ – швидкість переміщення столу верстата.

Щільність теплового потоку q визначається за формулою:

$$q = \frac{p \cdot \psi}{S}, \quad (5.32)$$

де S – площа контакту;

p – потужність шліфування;

ψ – коефіцієнт тепловводу.

Для плоского шліфування:

$$q = \frac{p \cdot \psi}{\sqrt{D \cdot t} \cdot S_n},$$

де S_n – поперечна подача чи ширина смуги шліфування.

З урахуванням рівнянь (5.28) і (5.32) буде отримана формула:

$$\delta_d = \alpha \frac{p \cdot \psi}{\sqrt{D \cdot t} \cdot S_n} \left(\frac{\sqrt{D \cdot t}}{V_d} - \frac{T_{кр}^2 \cdot \lambda^2 \cdot \pi \cdot D \cdot t \cdot (S_n)^2}{\psi^2 \cdot 4 \cdot p^2 \cdot \alpha} \right)^\beta. \quad (5.33)$$

Формула (5.33) дозволяє розрахувати глибину поширення критичної температури $T_{кр}$ залежно від режимних параметрів.

При $\delta_d = 0$ вираз (5.33) набуде вигляду:

$$\frac{\sqrt{D \cdot t}}{V_d} = \frac{\pi \cdot T_{кр}^2 \cdot \lambda^2 \cdot S_{сп}^2 \cdot D \cdot t}{4 \cdot \alpha \cdot \psi^2 \cdot \rho^2}, \quad (5.34)$$

звідки:

$$\rho^2 = \frac{\pi \cdot T_{кр}^2 \cdot \lambda^2 \cdot S_{сп}^2 \cdot \sqrt{D \cdot t} \cdot V_d}{4 \cdot \alpha \cdot \psi^2},$$

$$\rho = \frac{T_{кр} \cdot \lambda \cdot S_n \cdot \sqrt{\pi \cdot V_d \cdot \sqrt{D \cdot t}}}{2 \cdot \psi \cdot \sqrt{\alpha}}. \quad (5.35)$$

Відомо, що:

$$\rho = c \cdot t_0^x \cdot S_n^y \cdot V_d^z. \quad (5.36)$$

Для визначення глибини шліфування, за якої не утвориться дефектний шар t_0 , необхідно прирівняти вирази (5.35) і (5.36) і отримане рівняння розв'язати відносно t_0 .

На основі планування експерименту отримані значення коефіцієнтів $c = 7,85 \cdot 10^7$; $x = 0,72$; $y = 0,43$; $z = 0,95$. Після підстановки даних $T_{кр} = 350^\circ\text{C}$; $S_n = 3,6 \cdot 10^{-3}$ м/хід; $\lambda = 16,7$; $V_d = 0,057$ м/с; $D = 0,25$ м; $\psi = 0,8$; $\alpha = 3 \cdot 10^{-6}$ у вирази (5.35) і (5.36) одержимо:

$$t_0 = \left(\frac{T_{кр} \cdot \lambda \cdot S_n^{0,57} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{\alpha}} \cdot \sqrt{D}}{2 \cdot \psi \cdot c \cdot V_d^{0,45}} \right)^{2,12}. \quad (5.37)$$

При вихідних даних глибина шліфування, за якої не утворяться дефекти, дорівнює $t_0 = 7,8 \cdot 10^{-6}$ м. З аналізу виразу (5.37) випливає, що глибина шліфування, за якої 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:

$$y_2 - y_1 = k(x_2 - x_1), \quad (5.38)$$

$$y_1 = \delta_1; \quad y_2 = \delta_2; \quad x_2 = t'; \quad x_1 = t_0,$$

де δ_2 – глибина дефектного шару, що відповідає глибині шліфування t' , а $\delta_1 = 0$:

$$k = \operatorname{tg} \alpha = \frac{\delta_2}{t' - t_0}. \quad (5.39)$$

Послідовність розрахунку глибин різання при оптимальному розподілі припуску між проходами наступна:

1. Визначається потужність різання за формулою:

$$p' = c \cdot t_1^x \cdot S_n^y \cdot V^z. \quad (5.40)$$

Постійні коефіцієнти c , x , y , z визначаються експериментально.

2. За формулою (5.37) визначається глибина шліфування t_0 , за якої не виникають структурні зміни.

3. Визначається глибина різання $t' = 10 \cdot t_0$.

4. Визначається інтенсивність теплового потоку, яка відповідає глибині різання t' :

$$q' = \frac{\psi \cdot p'}{\sqrt{D \cdot t' \cdot S_n}}, \quad (5.41)$$

де p' – потужність різання при глибині шліфування t' .

5. Визначається глибина дефектного шару, що відповідає глибині шліфування t' :

$$\delta'_2 = \alpha \frac{p' \cdot \psi}{\sqrt{D \cdot t' \cdot S_n}} \left[\frac{\sqrt{D \cdot t'}}{V_d} - \frac{T_{\text{кр}}^2 \cdot \lambda^2 \cdot \pi \cdot D \cdot t' \cdot S_n^2}{4 \cdot (p')^2 \cdot \psi^2 \cdot a} \right]^\beta. \quad (5.42)$$

6. Визначається кут нахилу прямої зміни глибини поширення дефектного шару δ від глибини шліфування t :

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{\delta'_2}{t' - t_0}. \quad (5.43)$$

7. За формулою:

$$t_i = \frac{z - \sum_{i=1}^{n-1} t_i + t_0 \cdot \operatorname{tg} \alpha}{1 + \operatorname{tg} \alpha}$$

визначаються глибини t_i . Цикли за визначенням 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:

$$z_0 = z_{\text{заг}} - \sum_{i=1}^n t_i.$$

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:

$$t_{\text{ли}} = \frac{t_i}{\left(1 + \frac{k_0}{k_0 + c}\right)}.$$

У табл. 5.4 наведені розрахункові значення технологічних параметрів (p , q , δ , $\text{tg } \alpha$, t , t_0) при шліфуванні сталей 12Х2Н4А і Р6М5 у режимах: $T_{\text{кр}} = 350^\circ\text{C}$; $\alpha' = 1,88 \cdot 10^{-11}$; $\psi = 0,8$; $D = 0,25$ м; $c = 7,85 \cdot 10^7$; $S_n = 3,6 \cdot 10^{-3}$ м/хід; $V_d = 0,12$ м/с. З аналізу отриманих даних, наведених у табл. 5.4, 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 порівняно зі сталлю 12Х2Н4А, допускає можливість шліфування з підвищеними глибинами, зберігаючи при цьому вихідний стан структури. Наприклад, гранично припустима глибина шліфування, що характеризує початок виникнення структурних змін сталі 12Х2Н4А, дорівнює $7,8 \cdot 10^{-6}$ м, а сталі Р6М5 – $15 \cdot 10^{-6}$ м.

Таблиця 5.4

Розрахункові значення технологічних параметрів

Параметри	Сталь 12Х2Н4А ($\alpha = 3 \cdot 10^{-6}$; $\lambda = 16,7$)	Сталь Р6М5 ($\alpha = 8 \cdot 10^{-5}$; $\lambda = 40$)
p , Вт	499	1425
t_i , мм	$2,5 \cdot 10^6$	$51,7 \cdot 10^6$
δ , м	$29,9 \cdot 10^{-6}$	$45 \cdot 10^{-6}$

Закінчення табл. 5.4

1	2	3
$\operatorname{tg}\alpha$	0,259	0,40
$t' = 10 \cdot t_0$, м	$78 \cdot 10^{-6}$	$150 \cdot 10^{-6}$
t_0 , м	$7,8 \cdot 10^{-6}$	$15 \cdot 10^{-6}$

Потужність шліфування p характеризує оброблюваність матеріалу, а величина інтенсивності теплового потоку характеризує теплонапруженість процесу. Із зіставлення цих параметрів видно, що процес шліфування сталі Р6М5 відбувається з більш високою теплонапруженістю зі значно більшими енерговитратами порівняно зі сталлю 12Х2Н4А. У табл. 5.5 наведені 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 з 360 Вт до 34,5 Вт і зростає питома робота шліфування з 6,99 Дж/мм³ до 43,5 Дж/мм³.

Таблиця 5.5

Значення глибин шліфування сталей

12Х2Н4А; $S = 3,6 \cdot 10^{-3}$ м/хід; $\operatorname{tg}\alpha = 0,4259$; $t_0 = 7,8 \cdot 10^{-6}$ м; $V_D = 0,12$ 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	–

12Х2Н4А; $S = 2,4 \cdot 10^{-3}$ м/хід; $\operatorname{tg}\alpha = 0,6553$; $t_0 = 4,8 \cdot 10^{-6}$ м; $V_D = 0,12$ 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
Р6М5; $S = 3,6 \cdot 10^{-3}$ м/хід; $\operatorname{tg}\alpha = 0,40$; $t_0 = 15 \cdot 10^{-6}$ м; $V_D = 0,12$ м/с					
t_i , мм	0,147	0,042	0,012	–	–

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.

Наявні уявлення про кінетику формування залишкових напружень у поверхневому шарі [49] свідчать про те, що для компенсації напружень потрібно на останньому проході траєкторію переміщення різальних зерен спрямувати під кутом 90° 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 за величиною і знаком напруження, 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. І. Свирщевим [49] розроблений спосіб, що забезпечує компенсацію залишкових напружень. Сутність способу полягає в періодичній зміні траєкторії руху формоутворюючого

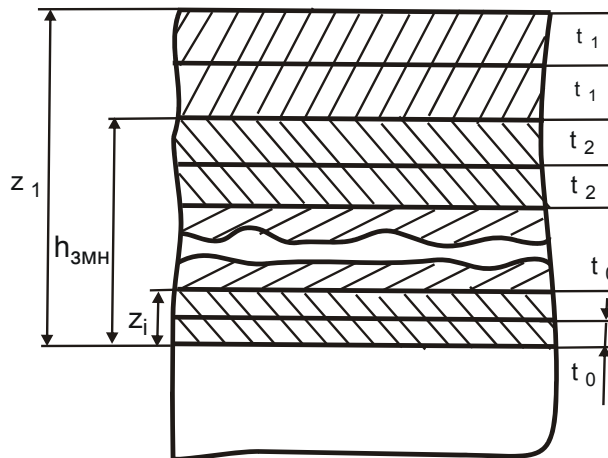


Рис. 5.3. **Схема видалення припуску при багатопрхідному шліфуванні**
($h_{3MH} = z_2$)

контуру шліфувального різального круга на попередньому і наступному проходах. Для компенсації виниклих напружень необхідно забезпечити деформацію матеріалу на попередньому і наступному проходах двох взаємно перпендикулярних напружень. На рис. 5.3 наведена схема видалення припуску при багатопрхідному 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:

$$z_i = z_1 - 2(t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_{n-1}).$$

Припуски на обробку z_1, z_2, \dots, z_i повинні бути рівними чи більшими від глибини шарів, у яких відбулися структурні зміни матеріалу $h_{3MH1}, h_{3MH2}, h_{3MHn}$.

У поверхневому шарі оброблюваної деталі шліфувальних дефектів не виникає, якщо виконується наступна рівність:

$$\operatorname{tg}\alpha(t_1 - t_0) = z_1 - 2 \cdot t_1. \quad (5.44)$$

Виконуючи рівність (5.44) для кожної наступної пари проходів, загальний вираз для глибини шліфування набуде вигляду:

$$t_i = \frac{\left(z_1 - \sum_{i=0}^{m-1} 2 \cdot t_i \right) + \operatorname{tg}\alpha \cdot t_0}{(2 + \operatorname{tg}\alpha)}. \quad (5.45)$$

Вплив термічної обробки на фізико-механічні властивості матеріалу деталей. До деталей машин висуваються дуже різноманітні вимоги. Одні деталі повинні бути дуже міцними (вали), інші – і міцними, і твердими (кульки для підшипників), пружними (пружини), стійкими при спрацьовуванні (шестерні). Так, клапани двигунів, працюючи за умов сильного нагрівання, повинні зберігати високу міцність при високих температурах, лопатки газових турбін реактивних двигунів не повинні піддаватися корозії від постійного зіткнення з газами і вологою. Для виготовлення деталей машин з необхідними фізико-механічними властивостями застосовують метали, які піддаються різним видам термічної обробки.

Речовини, що складаються з двох чи декількох елементів-металів, 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 постійною появою нових, виникає необхідність їх класифікувати. Розповсюдженою є класифікація за основним елементом: наприклад, залізні сплави, мідні сплави, алюмінієві сплави, магнієві, титанові, нікелеві, цинкові сплави та 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.

3. Інструментальні сплави: інструментальні сталі і тверді сплави.

Для збільшення продуктивності обробки необхідно, з одного боку, збільшити стійкість різального інструменту, а з іншого – за допомогою термічної обробки поліпшити оброблюваність матеріалу деталі. Оброблюваність сталі 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. Нормалізація підвищує пластичність сталі, усуває хімічну неоднорідність і зменшує напруженість. Відомо, що 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 вищі її магнітні властивості. Одержання дрібнозернистої структури досягається двома способами: пластичною деформацією (куванням, прокатом та іншими видами обробки тиском); термічною обробкою.

Для підвищення твердості і міцності матеріалу застосовують термічну обробку – загартування. У процесі загартування заготовку нагрівають до температури, при якій вуглець переходить у твердий розчин, а потім здійснюють швидке охолодження.

Здатність сталі гартуватися на визначену глибину називається прогартовуванням. 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 прогартовуваність. Чим менша критична швидкість загартування, тим глибше прогартовування сталі.

Для багатьох деталей та інструментів важливо мати високу міцність по всьому перетину, у всьому обсязі. До числа таких деталей варто віднести: пружини, вали, штампи та ін. Для цих деталей потрібне більш глибоке прогартовування.

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, і водночас глибинні шари матеріалу зубів повинні бути досить в'язкими, тому що в процесі роботи зазнають ударних навантажень. Такі деталі піддаються або високочастотному поверхневому загартуванню, або цементації з наступним гартуванням.

Деталі невеликих розмірів із твердістю матеріалу $HRC < 35$ піддаються загартуванню перед механічною обробкою. Деталі великих розмірів із твердістю $HRC < 35$ піддаються загартуванню після чорнової обдирної операції. Така послідовність пов'язана з прогартовуванням великогабаритних деталей на глибину, порівняну з припуском на чорнову операцію. Якщо гартування 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 операцій обробки різанням. Поверхні деталей, що мають твердість $HRC \geq 60$, гартуються струмами високої частоти чи піддаються місцевій хіміко-термічній обробці: цементації і загартуванню, азотуванню, нітроцементуванню, боруванню.

Хіміко-термічна обробка у структурі технологічного процесу змінює хімічний склад і властивості поверхневого шару деталі. Так, у процесі цементації відбувається дифузійне насичення поверхневого шару деталі вуглецем. Процес цементації застосовується для деталей, від яких потрібна, поряд із загальною міцністю, висока твердість і стійкість проти спрацьовування поверхні. До таких деталей належать шестерні, втулки, кулачкові валики і т. д. Якщо виготовити, наприклад, зубчасті колеса з вуглецевих сталей У10, У12, то висока твердість і зносостійкість бічних поверхонь зубів у роботі буде забезпечена. Але в разі виникнення 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 цементації з наступним об'ємним загартуванням усієї деталі. Якщо треба підвищити міцність деталі, то застосовують леговану сталь з тим же відсотковим вмістом вуглецю. Потім поверхня деталі насичується вуглецем і проводиться загартування. У результаті поверхня гартується на високу твердість, а серцевина виходить міцною і в'язкою.

У процесі азотування відбувається насичення поверхневого шару деталі азотом. Висока твердість азотованого шару пов'язана з високою твердістю нітридів, що знаходяться в дисперсному стані. Прості вуглецеві сталі мало придатні для азотування, тому що азотований шар в них не має високої твердості і водночас 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 та ін. Азотування має ряд переваг порівняно з цементацією: тут не потрібне загартування, процес азотування здійснюється при значно менших температурах (500 – 600°C замість 900 – 950°C).

Ціанування застосовується для деталей, що працюють в умовах тертя. Вміст вуглецю в ціанованому шарі 0,6 – 0,8%, тобто менший, ніж під час цементації, однак стійкість проти спрацьовування його вища завдяки наявності азоту, що утворює нітриди. При рідинному ціануванні деталі нагрівають у соляній ванні і потім піддають загартуванню шляхом занурення в бак. Після загартування деталь необхідно відпустити при температурі 150 – 170°C. Ціанування порівняно з цементацією має наступні переваги: тривалість процесу в кілька разів менша; внаслідок малої витримки при високій температурі не відбувається ріст зерна; на поверхні деталі не утворюється окисний шар. Процес відбувається при температурі 800 – 850°C протягом 45 – 50 хв.

Хімічне нікелювання застосовується для деталей зі сталі, чавуна, бронзи, алюмінію і його сплавів 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.). Структура покриття аморфна, метастабільна. Для збільшення міцності зчеплення нікелево-фосфорного покриття з основним металом проводиться термічна обробка: нагрівання до 200°C з витримкою до 2 – 3 годин. Термічна обробка знижує залишкові напруження, що викликають відшарування покриття від підкладки.

Оксидування – процес штучного утворення окисної плівки на поверхні деталі. Так, анодування поршнів з алюмінієвих сплавів двигунів внутрішнього згоряння підвищує надійність їхньої роботи, зменшує швидкість спрацьовування кільцевих канавок. Є позитивний досвід використання в гідросистемах анодованих циліндрів з алюмінієвих сплавів замість сталевих.

Фосфатування – процес утворення на поверхні металу плівки нерозчинних фосфорнокислих солей. Є позитивний досвід фосфатування поршневих кілець двигунів внутрішнього згоряння, циліндричних гільз і втулок великогабаритних двигунів, шатунів і зубчастих коліс. Тонка фосфатна плівка з наступним насичуванням її маслом захищає від корозії гайки, болти й інші кріпильні елементи. Фосфатне покриття використовується як підшар для дисульфиду молібдену, що збільшує міцність зчеплення й усуває задирки на поверхні.

Сульфідкування – термохімічний процес обробки виробів, виготовлених зі сплавів на залізній основі для збагачення їхніх поверхневих шарів сіркою. Різновидом сульфідкування є сульфоціанування, при якому відбувається насичення поверхні феросплаву сіркою, азотом і вуглецем.

Сульфідний шар і продукти його зношування, маючи високу адсорбційну здатність, прискорюють прироблення і запобігають задиркам. Сульфоціанування дозволяє здійснити заміну бронзових важко навантажених підшипників на сталеві. Довговічність підшипників збільшується на 30 – 40%. Дослідження показали можливість заміни бронзи сульфоціанованим чавуном у черв'ячних колесах, що працюють зі швидкістю зчеплення близько 2 м/с. Таким чином, термічна, хіміко-термічна і хімічна обробки (загартування, цементация, алітування, борування та ін.) за рахунок зміни фізико-хімічного стану матеріалу деталі і її поверхневого шару підвищують стійкість проти спрацьовування, міцність від утомленості, жаростійкість та ін.

Інші способи підвищення стійкості поверхонь деталей проти спрацьовування. Технологічні методи забезпечення оптимальних параметрів поверхневого шару з урахуванням 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. Захисні покриття підвищують жаростійкість, стійкість проти спрацьовування і опір корозії.

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. На рис. 5.4 показані прямокутні зразки зі сталі ШХ15. Режими термообробки: загартування за температури 850°C, відпуск при 150°C.

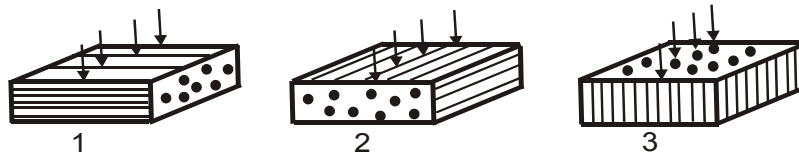


Рис. 5.4. Зразки з волокнистою структурою

Волокнистість структури обумовлена карбідною смугоподібністю. Відхилення значень межі міцності під час вигину зразків 1, 2, 3 в порядку їхнього зображення на рис. 5.4 становить 1,0; 0,72; 0,56. Послідовність виконання операцій механічної й термічної обробки деталей впливає на їхню стійкість проти спрацьовування.

Валки холодної прокатки, оброблені за двома варіантами, мають різну стійкість. 1-й варіант: обточування, гартування з індукційним нагріванням, грубе шліфування, чистове шліфування, полірування до $R_a = 0,16$ мкм. 2-й варіант включає ту ж послідовність усіх операцій, але перед гартуванням введена додаткова операція – шліфування. Валки, оброблені за 2-м варіантом, мають підвищений опір утомленості, більш однорідну структуру поверхневого шару матеріалу і менший ступінь зниження твердості структури від впливу теплових процесів під час шліфування. Дослідження показують, що швидкість спрацьовування напрямних залежить від варіанта поєднання методів обробки поверхонь, що сполучаються. Найбільшу стійкість проти спрацьовування мають пари ковзання, в яких нижні напрямні мають наклеп від зміцнення кульками чи роликками, а верхні – оброблені шабруванням чи шліфуванням. Вибір способу обробки здійснюється конструктором разом з технологом. Ряд технологічних заходів базуються на заміні чи зміцненні поверхневого шару деталей.

Деформаційне зміцнення поверхневого шару. Деформаційне зміцнення засноване на статичному і динамічному впливі на поверхневий шар. До числа основних методів деформаційного зміцнення відносяться: гідро- і віброгалтування, обробка сталевими кульками, що коливаються з ультразвуковою частотою, обкатування роликками і кульками, алмазне вигладжування. Вибір методу деформаційного зміцнення визначається насамперед формою і розмірами деталі.

Гідрогалтування. Деформаційне зміцнення гідрогалтуванням 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 по-верхні. Режим зміцнення гідрогалтуванням визначається експериментально. Він залежить від багатьох факторів: матеріалу деталі, температури нагрівання її в умовах експлуатації, розмірів і форми деталі та ін. Наприклад, лопатки зі сплаву ВТЗ-1 ротора компресора обробляють з частотою обертання ротора (дрібнострумінного колеса) 150 об./хв. Тривалість обробки – 30 хв. Після зміцнення оброблена поверхня має шорсткість $R_a = 0,6 - 0,15$ мкм, ступінь наклепу – 20%.

Віброгалтування проводиться на інерційних дисбалансних установках, у яких робоча камера з оброблюваними деталями здійснює коливні рухи в трьох чи двох напрямках. За наявності коливних рухів із заданою частотою, сталеві кульки, вдаряючись об поверхню деталі, пластично деформують поверхневий шар і згладжують нерівності. Режими віброгалтування і тривалість обробки залежать від матеріалу і технологічних вимог, висунутих до поверхні деталі. Наприклад, лопатки зі сталі ЕІ 9961 обробляються в 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 віброгалтувальної установки міститься до 200 лопаток довжиною до 70 – 80 мм. Після віброгалтування шорсткість поверхні дорівнює $R_a = 0,25 - 0,125$ мкм.

Алмазне вигладжування. Вигладжування є одним із методів оброблювальної зміцнювальної обробки поверхні пластичним деформуванням і полягає в пластичному деформуванні оброблюваної поверхні ковзанням по ній алмазним кристалом, закріпленим на оправці. У процесі обробки нерівності, що залишилися від попередньої обробки, згладжуються частково чи повністю, підвищується твердість і в поверхневому шарі створюються стискаючі напруження. Особливістю алмазного вигладжування, на відміну від методу обкатування поверхні роликком чи кулькою, є застосування як деформаційного 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 за незначних зусиль щодо 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 ділянку контакту, що визначає напружений стан поверхневого шару, залежить від розмірів робочої частини інструмента, глибини його проникнення 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). Винятком є деталі з титану, цирконію і ніобію, у процесі вигладжування яких спостерігається інтенсивна адгезія (схоплення) з алмазним інструментом. Крихкість алмаза обмежує сферу застосування процесу вигладжування для зміцнення переривчастих поверхонь, наприклад, деталей зі шпонковими канавками, шліцами, поперечними отворами і т. д. Переривчастість процесу супроводжується динамічним ударом, що викликає відколювання на робочій поверхні алмаза. Практично складно виконувати вигладжування циліндричних поверхонь з упором в торець.

Вигладжування проводять на токарних, токарно-гвинторізних, розточувальних, алмазно-розточувальних, стругальних, вертикально-фре-зерних і агрегатних з підвищеною точністю верстатах при швидкості 150 – 200 м/хв з інтенсивною подачею мастильно-охолоджувальної рідини. У процесі вигладжування звертають особливу увагу на величину радіального биття шпинделя (не більше 0,01 – 0,02 мм). Вигладжені поверхні відрізняються дзеркальним блиском, мікротвердість збільшується, наприклад, для калібрів зі сталі У10А з $H_{100} = 8\ 320$ МПа до $H_{100} = 12\ 000$ МПа. У результаті обробки підвищується зносостійкість калібрів, шорсткість поверхні зменшується до $R_a = 0,063 - 0,8$ мкм при вихідній шорсткості до вигладжування $R_a = 0,5 - 0,25$ мкм.

Поверхнево-термічна обробка. Поверхнево-термічна обробка підвищує стійкість проти спрацьовування і міцність від утомленості сталевих деталей. Метод полягає в інтенсивному нагріванні поверхневого шару до температури гартування 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 порівняно з іншими методами загартування. Висока швидкість нагрівання при загартуванні СВЧ не викликає появи на поверхні окисного шару. У поверхневому шарі формується дрібний голкоподібний мартенсит.

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 з використанням при цьому явища перенесення металу в процесі тертя. Поверхню знежирюють і покривають сумішшю, що складається з двох частин гліцерину й однієї частини 10-відсоткового розчину соляної кислоти. У процесі тертя нанесене покриття розпушує окисну плівку на поверхні деталі, пластифікує поверхню мідного сплаву, створює умови для схоплювання міді зі сталлю. Товщина антифрикційного шару латуні, нанесеного на сталь при АБО, дорівнює 2 – 3 мкм, бронзи і міді – 1 – 2 мкм. Деталі перед АБО піддаються шліфуванню, точінню, розгортанню чи хонінгуванню. Шорсткість поверхні повинна бути $R_a = 2,5$ мкм. Слід зазначити, що існує принципова різниця в перенесенні матеріалу у разі вибіркового перенесення і в разі антифрикційної безабразивної обробки. У процесі вибіркового перенесення (при терті бронзи) з її твердого розчину відбувається сепарація атомів міді. Атоми легувальних 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 із заданим зусиллям притискається до поверхні оброблюваної деталі і переміщується в поздовжньому напрямку зі встановленою подачею. Метод надзвичайно простий, не вимагає складного устаткування, і додає сталевим та чавунним деталям високих антифрикційних властивостей. Даний метод АБО застосовується для деталей двигунів внутрішнього згорання, наприклад, циліндрів і деталей паливної апаратури: золотникових і

плунжерних пар. Коефіцієнт тертя знижується в 1,5 рази, стійкість проти спрацювання зростає в 2 – 3 рази.

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 поділяється 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, переміщуючись у кристалічних решітках розчинника, утворюють із ним твердий розчин. Механізм дифузії передбачає наявність у кристалічних решітках металу недосконалостей (вакантних вузлів чи дірок). Виникнення атомних дірок пояснюється постійними тепловими коливаннями атомів і зіткненнями їх з іншими атомами. Розрізняють наступні основні методи дифузійного насичення: твердофазний, рідкофазний, газовий і парофазний.

Твердофазний метод дифузійного насичення здійснюється контактним способом. Частки порошку речовини, що дифундує, 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 елемент, що дифундує, у складі хімічної сполуки, з поверхнею металу, що насичується. Активною газовою фазою зазвичай слугують галогени елементів, що дифундують.

Парофазний метод насичення заснований на взаємодії пари елемента, що дифундує, з металом під час нагрівання. Щоб уникнути окислювання парофазне насичення проводять у захисному середовищі (азот, водень, аргон) чи у вакуумі.

Покривання напилюванням. Напилювати покриття на поверхню деталі можна різними методами. Залежно від джерела енергії, що використовується для розпилення запилюваного матеріалу, розрізняють

газовогняні й електричні методи напилювання. При газовогняному напилюванні використовується теплота, що виділяється при горінні суміші пального газу з киснем. Одним із різновидів газовогняного напилювання є детонаційне напилювання, при якому використовується енергія детонації суміші ацетилену з киснем. З електричних методів напилювання використовують електродугове, плазмове і височастотне індукційне.

Газовогняне напилювання. Залежно від складу запилюваного матеріалу розрізняють два види газовогняного напилювання: дрове і порошкове. При порошковому напилюванні матеріал надходить у палиник зверху з бункера через отвір, розганяється потоком газу (суміш кисень – палиний газ), який транспортує і на виході із сопла потрапляє в полум'я (рис. 5.5). Захоплені струменем пального газу розпиленні частки порошку потрапляють на запилювану поверхню. У дрових палиниках, як і в порошкових, подача запилюваного матеріалу в полум'я і розгін розплавлених часток, що утворюються, здійснюються струменем стиснутого повітря. Як палиний газ використовують ацетилен, пропан, водень та ін. Температура полум'я палиника не перевищує 2 900°С.

Плазмове напилювання – перспективний метод покриття. Якщо нагріти газ, молекули якого складаються з декількох атомів, до

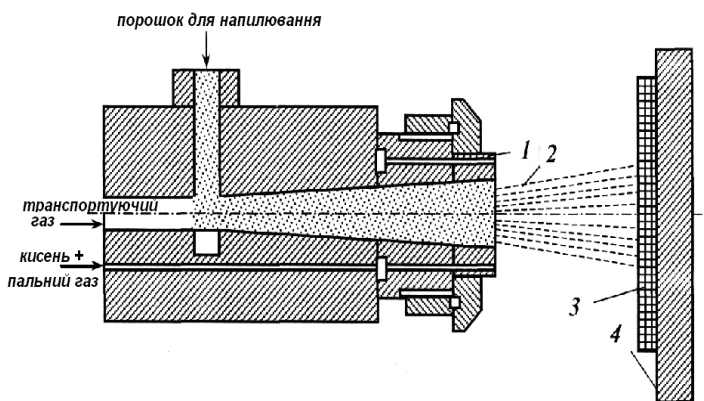


Рис. 5.5. Газовогняне напилювання паром нового матеріалу

Умовні позначення: 1 – сопло; 2 – смолоскип; 3 – покриття; 4 – підкладка

електрон-вольтах (eV).

У процесі подальшого підвищення температури від атомів газу відокремлюються електрони і відбувається його іонізація. Газ, у якому значна частина атомів та молекул іонізована і концентрація електронів і негативних іонів дорівнює концентрації позитивних іонів, називається плазмою. Плазма має високу електропровідність. Найбільш

температури 1 000 К, 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 подати у вигляді:



де U_D – енергія дисоціації в

розповсюдженими плазмо-формувальними газами є аргон, азот, водень, гелій. Параметри цих газів наведені в табл. 5.6.

Таблиця 5.6

Параметри газів, що утворюють плазму

Газ	Потужність пальника, кВт	Напруга на дузі, В	Температура плазми, К
Азот	60	65	7 470
Водень	62	120	5 270
Гелій	50	47	20 270
Аргон	48	40	14 270

Плазмовий струмінь на виході із сопла вогняного пальника має кілька тисяч градусів (7 000 – 20 000°C). Такої температури досить для розплавлювання будь-якої твердої речовини. Для одержання плазми

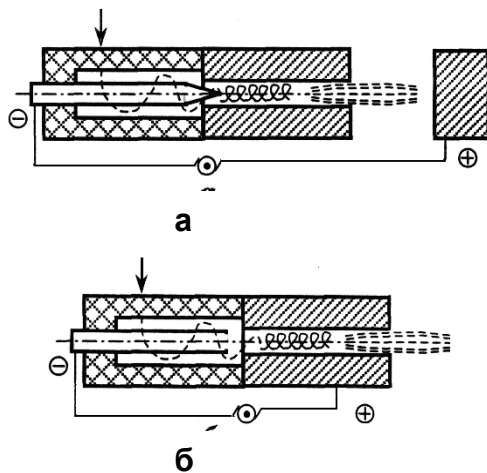


Рис. 5.6. Плазмо-дугові (а) і плазмо-струменеві (б) головки

використовують два типи головок (плазмотронів): плазмово-дугові і плазмово-струменеві. У плазмово-дуговому пальнику (рис. 5.6а) електрична дуга горить між анодом, яким є оброблюваний матеріал, і катодом, виготовленим із вольфраму. Дугу стабілізує закручений потік робочого (плазмо-формувального) газу. У плазмоструменевій головці (рис. 5.6б) 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 вигляді плазмової дуги з температурою 7 000 – 20 000°C. Під впливом такої температури відбувається розплавлювання запилюваної речовини. Плазмове покриття має добре зчеплення запилюваного порошку з підкладкою і високу щільність. Однак процес плазмового напилювання має порівняно низьку продуктивність, високу собівартість, супроводжується шумом і сильним ультрафіолетовим випромінюванням.

5.3. Техніко-економічні показники виробничих процесів

Загальна характеристика показників. Економічну результативність технологічного процесу визначають як сукупність технічних, техніко-економічних і техніко-експлуатаційних показників. До технічних показників належать: коефіцієнти уніфікації, точність обробки, шорсткість поверхні, коефіцієнт використання матеріалу та ін. До техніко-економічних показників належать: собівартість, продуктивність праці, якість, трудомісткість та ін. Техніко-експлуатаційними параметрами машин, апаратів і агрегатів є: габарити (висота, довжина, ширина, м); займана площа (m^2); маса (кг); частота обертання (об./с); ступінь автоматизації; наявність захисних пристроїв; споживана або вихідна потужність; енергоємність; тривалість безвідмовної роботи (гарантійний термін); перелік виконання основних і допоміжних операцій; умови, необхідні для нормальної роботи (температура, вологість повітря, шум, вібрація тощо); зручність керування та ін.

Важливим завданням для економістів є порівняльний аналіз усіх перерахованих вище показників з метою виявлення найбільш оптимального їхнього сполучення для визначення оптимальних режимів проведення технологічного процесу й вибору прогресивного технологічного устаткування. Технологічність виробу означає ступінь оптимальності витрат праці, засобів, матеріалів і часу на виготовлення даного виробу або його ремонт. Її оцінюють порівнянням значень техніко-економічних показників зі значеннями у відповідних нормативах. Таке становище може мати місце в ринковому механізмі господарювання на підприємствах з державним регулюванням. Слід зазначити, що вибір провідних показників за кількістю і важливістю буде визначатися рівнем технологічної системи: елементарної, цехової, підприємства (виготовлення товару) і т. ін.

Залежно від стадії життєвого циклу технологічної розробки, а відповідно, й вірогідності використовуваної інформації, розраховують очікуваний або фактичний економічний ефект [27]. Узагальнюючим показником ефективності технологічного процесу є собівартість виробу (продукції). Собівартість – один із найважливіших якісних показників, що характеризують усі сторони діяльності підприємства. У ній відбивається повнота й ефективність використання матеріальних і трудових ресурсів на випуск продукції, економія у витраті засобів, результати впровадження

нової техніки. Зниження собівартості – найважливіший шлях до збільшення прибутку й рентабельності товарної продукції, підвищення ефективності промислового виробництва. Вона враховує всі трудові й сировинні витрати виробництва і включає: витрати на засоби виробництва, на оплату праці, на послуги інших підприємств, транспортні витрати, витрати на закупівлю сировини, палива, електроенергії та ін. Співвідношення цих витрат характеризує структуру собівартості, що змінюється під впливом розвитку технологічного процесу й удосконалювання виробництва.

Питома вага витрат у різних галузях промисловості різна. Тому витрати в промисловості, залежно від питомої ваги їхньої суми, розділяють відповідно до процесів: трудомісткі (добувні галузі, металургія чорних металів); енергоємні (кольорова металургія й ряд галузей хімічного комплексу); з більшими витратами на амортизацію (нафтовидобувна й електроенергетична галузі); капіталомісткі (турбобудування, приладобудування); матеріалоємні (текстильна, швейна, харчова й інші галузі). Собівартість промислової продукції (робіт, послуг) – це виражені в грошовій формі поточні витрати підприємства на її виробництво й збут. Витрати на виробництво утворюють виробничу (заводську) собівартість, а витрати на виробництво і збут – повну собівартість промислової продукції. Порядок включення в собівартість поточних витрат визначений 9-ю статтею Закону України “Про оподаткування й прибуток підприємства”.

Типові положення з планування, обліку й калькулювання собівартості продукції (робіт, послуг) у промисловості затверджені Постановою Кабінету Міністрів України від 16.05.2002 р. № 630. Типові положення застосовуються на підприємствах, що випускають промислову продукцію, незалежно від форми власності й господарювання. Витрати на виробництво продукції (або собівартість валової продукції) характеризують витрати поточного періоду (року, кварталу, місяця) на виробництво продукції. Собівартість товарної продукції характеризують витрати на виробництво й збут протягом усього циклу. У зв'язку із цим повинне бути забезпечене повне зіставлення планових і звітних даних за складом і класифікацією витрат, об'єктів і одиниць калькулювання, методів розподілу витрат за плановими (звітними) періодами (табл. 5.7).

Класифікація витрат на виробництво

Ознака	Витрати
1. За місцем виникнення витрат.	1. Витрати виробництва, цеху, ділянки, служби
2. За видами продукції, робіт, послуг	2. Витрати на виріб, групи однорідних виробів, одноразові замовлення, реалізовану продукцію
3. За видами витрат	3. Витрати за економічними елементами, витрати за статтями калькуляції
4. За способами перенесення вартості на продукцію	4. Витрати прями, непрями
5. За ступенем впливу обсягу виробництва на рівень витрат	5. Витрати умовно-змінні, умовно-постійні
6. За календарними періодами	6. Витрати поточні, одноразові

1. За місцем виникнення витрати на виробництво групуються за цехами, ділянками, службами й іншими адміністративно відособленими структурними підрозділами виробництв. Залежно від характеру й призначення виконуваних процесів виробництво ділиться на: основне, допоміжне й непромислове господарство. До основного виробництва належать цехи, ділянки, які беруть безпосередню участь у виготовленні продукції.

Допоміжне виробництво призначене для обслуговування цехів основного виробництва: виконання робіт з ремонту основних фондів, забезпечення: інструментом, запасними частинами для ремонту устаткування, різними видами енергії, транспортними й іншими послугами. До них відносяться ремонтні цехи, експериментальні, енергетичні, транспортні та ін. До непромислового господарства належать: неза заводський транспорт, житлово-комунальне господарство й культурно-побутові заклади, підсобні підприємства, які не беруть участі у виробництві товарної продукції.

2. Усі витрати на виробництво включаються в собівартість окремих видів продукції, робіт і послуг (у тому числі виробів, виготовлених за індивідуальними замовленнями).

3. За видами витрати класифікуються за економічними елементами і статтями калькуляції. Під елементами витрат розуміють економічно однорідні види витрат. Витрати за статтями калькуляції – це витрати на окремі види виробів, а також витрати на основне й допоміжне виробництво.

4. За способами перенесення вартості на продукцію витрати поділяються на прямі й непрямі. До прямих відносять витрати, пов'язані з виробництвом окремих видів продукції (на сировину, основні матеріали, куповані вироби й напівфабрикати та ін.), які безпосередньо формують вартість. До непрямих відносять витрати, пов'язані з виробництвом декількох видів продукції (витрати на утримання і експлуатацію устаткування, загальновиробничі витрати), які включаються в собівартість за допомогою розрахункових методів.

5. За ступенем впливу обсягу виробництва на рівень витрат їх ділять на умовно-змінні й умовно-постійні. До умовно-змінних відносяться витрати, абсолютна величина яких зростає зі збільшенням обсягу випуску продукції й зменшується при його зниженні: витрати на сировину й матеріали, що комплектують вироби, напівфабрикати, технологічне паливо й енергію, на оплату праці працівників, зайнятих у виробництві продукції (робіт, послуг) та ін. Умовно-постійні – це витрати, абсолютна величина яких при збільшенні (зменшенні) випуску продукції істотно не змінюється. До них відносять витрати, пов'язані з обслуговуванням і управлінням виробничою діяльністю цехів, а також витрати на забезпечення господарських потреб виробництва.

Показник собівартості – це сукупність матеріальних і трудових витрат підприємства у вартісному вимірі, необхідних для виробництва й реалізації продукції. Відповідно до типового положення з планування, обліку й калькулювання собівартості продукції витрати групуються за наступними елементами: матеріальні витрати, пов'язані із придбанням сировини, насіння, матеріалів, палива, паливно-мастильних матеріалів, електроенергії й води; витрати на основну й додаткову заробітну плату працівників основного виробництва; відрахування на соціальні заходи; витрати, пов'язані з амортизацією основних фондів і нематеріальних активів, тобто відрахування на відновлення, зношування основних засобів виробничого призначення (будинків, споруд, силових й робочих машин); інші витрати (витрати на управління виробництвом, утримання будинків, оренду приміщень і т. д.). Витрати виробництва, безпосередньо пов'язані з виробництвом продукції, називаються виробничою собівартістю (або фабрично-заводською собівартістю). У свою чергу, витрати, пов'язані з виробництвом і реалізацією продукції, називаються повною собівартістю. Співвідношення між різними видами витрат, включених у собівартість продукції, являють собою структуру останньої. Вивчення

структури собівартості продукції необхідне для пошуків резервів зниження витрат на основне виробництво, вдосконалення технологічних процесів і підвищення рівня продуктивності праці.

Продуктивність праці – це здатність конкретної праці у сфері матеріального виробництва створювати за одиницю часу (хвилину, годину, зміну тощо) певну кількість виробів певного ступеня корисності або якості. Показник продуктивності характеризує виробництво продукції (у натуральному й вартісному вимірі), виготовленої в розрахунку на одного працівника або одиницю часу. У практичній діяльності для характеристики продуктивності праці застосовується також показник трудомісткості продукції. Його перевагою є пряма залежність між обсягом виробництва й трудовими витратами у визначенні можливості їхньої оптимізації. У процесі аналізу трудомісткості її диференціюють залежно від витрат праці всіх зайнятих промислово-виробничих категорій працівників, у тому числі трудомісткість: технологічного персоналу; персоналу, що обслуговує виробництво; управлінського персоналу.

Розрізняють *екстенсивні* (кількісні) та *інтенсивні* (якісні) фактори економічного зростання й, відповідно, два типи розширеного відтворення. До екстенсивних факторів відносяться зростання чисельності працівників матеріального виробництва, збільшення кількості залучених у господарювання матеріальних ресурсів, будівництво нових об'єктів такого ж технічного рівня. Серед інтенсивних факторів вирішальне значення має науково-технічний прогрес. Іntenсивні фактори засновані на якісному вдосконаленні застосовуваних трудових ресурсів.

Амортизація устаткування – це відшкодування вартості основних фондів шляхом її перенесення на вартість виробленої продукції. У результаті її реалізації ця сума, накопичуючись, створює амортизаційний фонд. Його кошти витрачаються на часткове відновлення основних фондів (шляхом капітального ремонту) або на повне їхнє відновлення, придбання нових засобів праці, будівництва і т.д. Розмір амортизаційних відрахувань залежить від тривалості амортизаційного періоду, тобто середнього фактичного терміну служби основних фондів. Строк окупності капітальних вкладень відповідно до встановленого нормативу не повинен перевищувати 6,6 років. Коефіцієнт строку окупності основних засобів (E_n) становить:

$$E_n = \frac{1}{6,6} = 0,15. \quad (5.46)$$

У перспективі величина нормативу повинна рости в міру технологічного прогресу, підвищення продуктивності праці, зниження матеріалоемності й фондоємності продукції.

Показник ефективності капіталовкладення (E_k) визначається як відношення приросту річного прибутку ($\Delta\P$), викликаного капітальними вкладеннями, до їхньої суми (K):

$$E_k = \frac{\Delta\P}{K}. \quad (5.47)$$

Строк окупності капіталовкладень може скорочуватися, коли величина ($E_k > E_n$) більша від нормативного коефіцієнта. У цьому випадку капітальні вкладення визнаються ефективними.

Важливим показником, що характеризує ефективність промислового виробництва, є якість продукції. З розвитком ринкового механізму господарювання роль якості продукції і її конкурентоспроможності набуває все більшої значимості.

Так, підвищення якості знарядь праці збільшує їхню продуктивність, надійність, довговічність, знижуючи витрати на ремонт і експлуатацію, поліпшуючи умови праці. Продовження терміну служби як промислової продукції, так і товарів народного споживання, дає можливість повніше задовольняти потреби без збільшення обсягу випуску, що заощаджує матеріальні й трудові ресурси. Проблема якості та конкурентоспроможності продукції заслуговує найретельнішого вивчення. Під якістю продукції прийнято розуміти сукупність властивостей продукції, що спричиняють її придатність задовольняти певні потреби відповідно до її призначення. Показник якості характеризує рівень використання галузевих технологій. Можна виділити кілька груп показників якості:

1. Показники технологічності (коефіцієнт витрати матеріалів, показники трудомісткості продукції, жирність і кислотність продукції молочного тваринництва, сортність продукції землеробства і т. ін.).

2. Показники надійності машин і устаткування характеризують безвідмовність, ремонтпридатність, довговічність засобів виробництва.

3. Показники стандартизації та уніфікації характеризують ступінь використання стандартних і уніфікованих виробів.

4. Патентно-правові показники характеризують якість патентоспроможності продукції й виробів, реалізованих на внутрішньому та зовнішньому ринках.

5. Естетичні показники характеризують якість оформлення продукції для реалізації (оригінальність, виразність і т. д.).

6. Ергономічні показники враховують сукупність гігієнічних, фізіологічних і психологічних властивостей людини.

7. Економічні показники оцінюють витрати на розробку, виготовлення й використання продукції та виробів (тобто випереджають витрати за шести попередніми позиціями).

Таким чином, якість продукції включає розгляд тільки тих властивостей виробу, які пов'язані зі здатністю задовольняти певні потреби як окремих членів суспільства, так і суспільства в цілому. Природно, що основне призначення виробу і його цільова функція повинні визначатися цими потребами. При цьому у виробу можуть бути властивості, що погіршують його якість. Деякі властивості, що знижують якість, можуть виникнути в процесі зберігання й експлуатації. Наявність показників таких властивостей повинна бути зведена до мінімуму. Для засвоєння термінології якості продукції слід розглянути такі поняття, як продукція, виріб, товар, властивості, ознака, показник якості продукції.

Продукція – упередметнений результат народногосподарської діяльності, призначений для задоволення певних потреб суспільства.

Виріб – одиниця промислової продукції, обчислювальна в штуках або екземплярах (верстат, телевізор, книга і т. д.)

Товар – продукція, призначена для продажу населенню з урахуванням призначення й задоволення певних потреб людини.

Ознака – показник, що характеризує спільність (прикмету, знак і т. д.) об'єктів за певною єдиною системою (ієрархією).

Параметр – це величина, що характеризує властивості процесу або явища (наприклад, маса, сила струму, напруга, ємність та ін.).

Властивість продукції – це об'єктивна особливість продукції, що може проявлятися в процесі її створення, експлуатації або споживання.

Властивості продукції умовно можуть бути розділені на прості й складні. Простою називається властивість, що для конкретних умов оцінки рівня якості продукції не ділиться на більш дрібні властивості. Складні властивості діляться на прості й складні. Прикладом складної властивості є показник призначення, а простої – потужність електродвигуна, ємність екскаватора, вміст вуглецю в сталі та ін.

Показник якості – це кількісна характеристика однієї або декількох властивостей продукції, які відображають її якість (розглядаються стосовно до певних умов її створення, експлуатації або споживання).

Одиничний показник якості продукції характеризує одну з її властивостей, а *комплексний* – декілька.

Визначальним називають показник якості продукції, за яким ухвалюють рішення щодо оцінювання її якості. Він може бути одиничним і комплексним. Комплексний показник якості називають також узагальненим.

Груповий – комплексний показник якості продукції, що відноситься до однієї групи її властивостей.

Відносний – відношення оцінюваного показника якості продукції до відповідного йому базового показника.

Інтегральний показник якості продукції – відношення сумарного корисного ефекту від експлуатації або споживання продукції до сумарних витрат на її створення й експлуатацію або споживання.

Індекс якості продукції – це комплексний показник якості різнорідної продукції, що випускається за розглянутий період, рівний середньому зваженому відносних показників якості цієї продукції.

Рівень якості продукції – відносна характеристика якості, заснована на порівнянні значень показників якості оцінюваної продукції з базовими або нормативними значеннями. Якість продукції кількісно визначається: технічним рівнем якості; рівнем якості виготовлення продукції; рівнем якості продукції в експлуатації або споживанні.

Номенклатуру показників якості продукції регламентує ряд нормативно-технічних документів:

1. Стандарт четвертої системи стандартизації “Система показників якості. Номенклатура показників”. Однак стандарти цієї системи не розроблені поки що на всі види промислової продукції і групи товарів народного споживання. Так, наприклад, на товари народного

споживання така номенклатура є на показники якості меблів, взуття, одягу, текстильних товарів та інших груп.

2. Керівні нормативні документи, що містять вказівки за номенклатурою показників РД 50-435-83; РД 50-64-84; РД 50-165-82; РД 50-149-79 та ін.

3. Галузеві методики оцінювання технічного рівня і якості продукції. Так, згідно з РД 50-149-79, показники якості продукції підрозділені за наступними ознаками (табл. 5.8): А – характерними властивостями; Б – способом вираження; У – кількістю характерних властивостей; Г – застосуванням; Д – стадією визначення значень показників.

Таблиця 5.8

Класифікація показників якості

Ознака класифікації	Груповий показник якості продукції
А. За характерними властивостями	призначення; надійність; ергономічність; естетичність; технологічність; транспортабельність; уніфікація; патентно-правова захищеність; екологічність; безпека
Б. За способом вираження	показники натуральних одиниць (м, кг, бали, безмірні); показники вартості одиниць
У. За кількістю характеризованих властивостей	одиничні; комплексні (групові, узагальнені, інтегральні)
Г. За застосуванням	базові; відносні
Д. За ступенем визначення показників	прогнозовані; проектні; продуктивні; експлуатаційні

Основні пояснення характерних властивостей наступні: *показники призначення* характеризують корисний ефект від використання продукції за призначенням і визначають сферу її застосування (продуктивність устаткування, вантажопідйомність автомобіля, вміст корисних речовин у хімічних добривах, термін носіння взуття і под.); *показники надійності* виражають властивості надійності виробів у конкретних умовах їхнього використання (безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність, збережність); *показники технологічності* характеризують ефективність конструктивно-технологічних рішень для забезпечення високої продуктивності праці в процесі виготовлення й ремонту виробів (коефіцієнт складності, коефіцієнт використання матеріалів та інші); *ергономічні*

показники враховують комплекс гігієнічних, антропологічних, фізіологічних і психологічних властивостей виробу й проявляються під час виконання виробничих і побутових процесів; *естетичні показники* – виразність, оригінальність виробу, їхня відповідність середовищу, стилю, моді та ін.; *показники уніфікації* характеризують ступінь використання в продукції стандартизованих частин і рівень уніфікації складових частин з іншими виробами; *патентно-правові показники* характеризують ступінь патентного захисту виробу в країні й за рубежом, а також його патентну чистоту; *показники транспортабельності* характеризують пристосованість продукції до переміщення в просторі (транспортування), що не супроводжується її використанням або споживанням; *показники екологічності* характеризують рівень шкідливих впливів на навколишнє середовище, що виникають у процесі експлуатації або споживання продукції; *показники безпеки* характеризують особливості продукції, що спричиняють безпеку в процесі експлуатації або споживання.

На сьогодні прийняті три підходи до визначення якості: *об'єктивний*, який характеризується кількісним вимірюванням конкретних властивостей за допомогою технічних засобів відповідно до нормативно-технічної документації; *суб'єктивний*, продиктований задоволенням конкретних індивідуальних вимог (запитів, інтересів, традицій, мотивацій і т. д.) як з комплексу показників, так і за окремими властивостями; *емоційний*, який характеризується задоволенням узагальненої пріоритетної вимоги, сформованої під впливом суспільних тенденцій (стилю, моди, уніфікації, типізації тощо).

У процесі використання цих методів використовують деякі загальні терміни. *Суб'єкт діяльності* – це фахівець або група споживачів, що виявляє цінність продукції або її корисність. *Об'єкт оцінки* – властивості, що становлять споживчу вартість або корисність продукції. *Мета* – обумовлена конкретними завданнями в галузі оцінки або управління якістю продукції. *Критерії* – суспільні норми, вимоги, переваги групи фахівців або окремого фахівця, що є суб'єктами оцінки.

Засоби й методи оцінки поділяються за джерелами інформації на: традиційні; експертні й соціологічні. Залежно від способу одержання інформації традиційні методи розподіляються на: вимірювальний, реєстраційний, органолептичний, розрахунковий.

У ринкових відносинах продавця (товаровиробника) і покупця (споживача) такому визначальному критерію товару, як якість, протиставляється *конкурентоспроможність* товару (це ті вироби, які купують, тобто швидко й у більших обсягах порівняно з аналогічною продукцією конкурентів). Визначальними факторами конкурентоспроможності, як відомо, є якість, ціна, асортимент, термін постачання товару на ринок (його відповідність часу платоспроможності, потребі й попиту), обсяг постачання (партії). При цьому ціна і якість є найбільш вагомими факторами. Якісним споживач вважає товар, придбаний нижче від очікуваної вартості. Тобто ціна визначає можливість споживача придбати якісний товар за відповідною йому ціною. Такий стан речей розкриває відносність якості й конкурентоспроможності стосовно до конкретного сегмента ринку (соціальної, економічної групи споживачів). Конкурентоспроможність технічної продукції повинна характеризуватися високими технічними характеристиками, що неможливо створити за невисоких витрат. Однак такі витрати повинні бути раціональними. Прагнення до їхнього зменшення не повинне супроводжуватися зниженням проектованого рівня технічних параметрів.

Таким чином, рівень розвитку технологічних систем впливає на формування техніко-економічних показників і, в остаточному підсумку, на прибутковість підприємств. Тому, вибір оптимальних варіантів технологічних процесів повинен здійснюватися виходячи з науково обґрунтованого підходу до питань організації виробництва, тобто до оцінювання основних показників ефективності: продуктивності (засобів механізації праці, машин, устаткування), собівартості та якості продукції.

Питання для самостійного контролю

1. Розкрийте сутність економічного аналізу варіантів операцій технологічного процесу.
2. Дайте характеристику продуктивності й собівартості виробленої продукції.
3. Що розуміють під технологічною ефективністю виробництва?
4. Як оцінюється собівартість технологічного процесу?
5. За якими ознакам класифікують витрати на виробництво продукції?

6. Як оцінюється повна технологічна собівартість?
7. Як оцінюється показник ефективності капіталовкладення?
8. Назвіть резерви зниження собівартості виробленої продукції.

Література: [21; 24; 27; 40; 41].

Тема 6. Оцінювання та вибір технологічних рішень на підприємстві

6.1. Проектування технологічних процесів виготовлення деталей

Загальні правила розробки технологічних процесів визначені ДСТ14.301-83. Основні її завдання – забезпечити найбільшу продуктивність і необхідну якість за найменшої собівартості обробки. Технологічний процес повинен відповідати вимогам техніки безпеки й промислової санітарії, викладеним у системі стандартів безпеки праці (ССБП), інструкціях та інших нормативних документах. Питання екології повинні бути в центрі уваги, особливо під час розробки нових технологічних процесів.

Основні етапи проектування технологічного процесу наведені на рис. 6.1. Технологічний процес, що розробляється, повинен бути прогресивним і забезпечувати виконання всіх вимог креслення й технічних умов, підвищення продуктивності праці та якості виробів, скорочення трудових і матеріальних витрат на його реалізацію, зменшення шкідливих впливів на навколишнє середовище.

Технологічний процес розробляють на виготовлення виробів, конструкція яких відпрацьована на технологічність із урахуванням необхідності одержання значень базових показників цієї технологічності.

Наявні типові або групові технологічні процеси є основою для розробки нових технологічних процесів, а у випадку їхньої відсутності такою основою вважають раніше ухвалені прогресивні рішення в діючих одиничних технологічних процесах виготовлення аналогічних виробів. Для розробки технологічних процесів використовують вихідну інформацію, яку підрозділяють на базову, керівну й довідкову.

Для проектування технологічного процесу виготовлення виробів необхідно мати наступні вихідні дані: креслення (на паперовому або

електронному носії) і програму випуску виробів (кількість виробів, запланованих до випуску в одиницю часу: рік, місяць, квартал) [17; 22], опис виробу (з описом службового призначення); технічні умови й норми; креслення складальних одиниць і деталей; умови виробництва; місцезнаходження заводу; наявність і перспективи підготовки кадрів; планові строки підготовки й освоєння нового виробу й організації його випуску.

Додатковими даними можуть бути також результати аналізу діючого, а також типових або групового технологічних процесів (відповідно, в процесі вдосконалення наявного процесу й розробки нового).

Таким чином, загальні вихідні дані, необхідні для вирішення завдань у ході проектування технологічних процесів виготовлення машин містять відомості про базову інформацію. Крім базової інформації необхідна керівна й довідкова інформація – паспортні дані устаткування і його технологічні можливості; методи складання машин; нормативи часу; режими обробки; стандарти на оснащення і т. ін.

При вивченні діючого технологічного процесу і його аналізі особлива увага повинна бути звернена на якість виробів, що випускаються. Зокрема, необхідно встановити причини браку за операціями і відповідність виготовлених деталей вимогам креслення й технічних умов. Ретельний аналіз діючого технологічного процесу, виявлення властивих йому недоліків і переваг дозволяє спроектувати новий технологічний процес, вільний від недоліків діючого технологічного процесу при використанні його переваг.

Рекомендується також вивчення діючих і нових спроектованих технологічних процесів обробки даної (подібної) деталі на різних підприємствах (які випускають аналогічну продукцію) в Україні й за кордоном. У процесі вивчення діючого технологічного процесу рекомендується порівнювати його з описаними в літературних джерелах технологічними процесами обробки даної (або аналогічної) деталі.

У процесі аналізу вивчається метод одержання заготовки, її точність і ступінь відповідності розмірам і формі оброблюваної деталі. Аналізується вплив методу одержання заготовки і її точності на зміну послідовності або скорочення кількості операцій (або переходів) механічної обробки деталі. Вивченню підлягає також термічна обробка, якій піддається заготовка (відпал, нормалізація, природне або штучне старіння і т. д.).

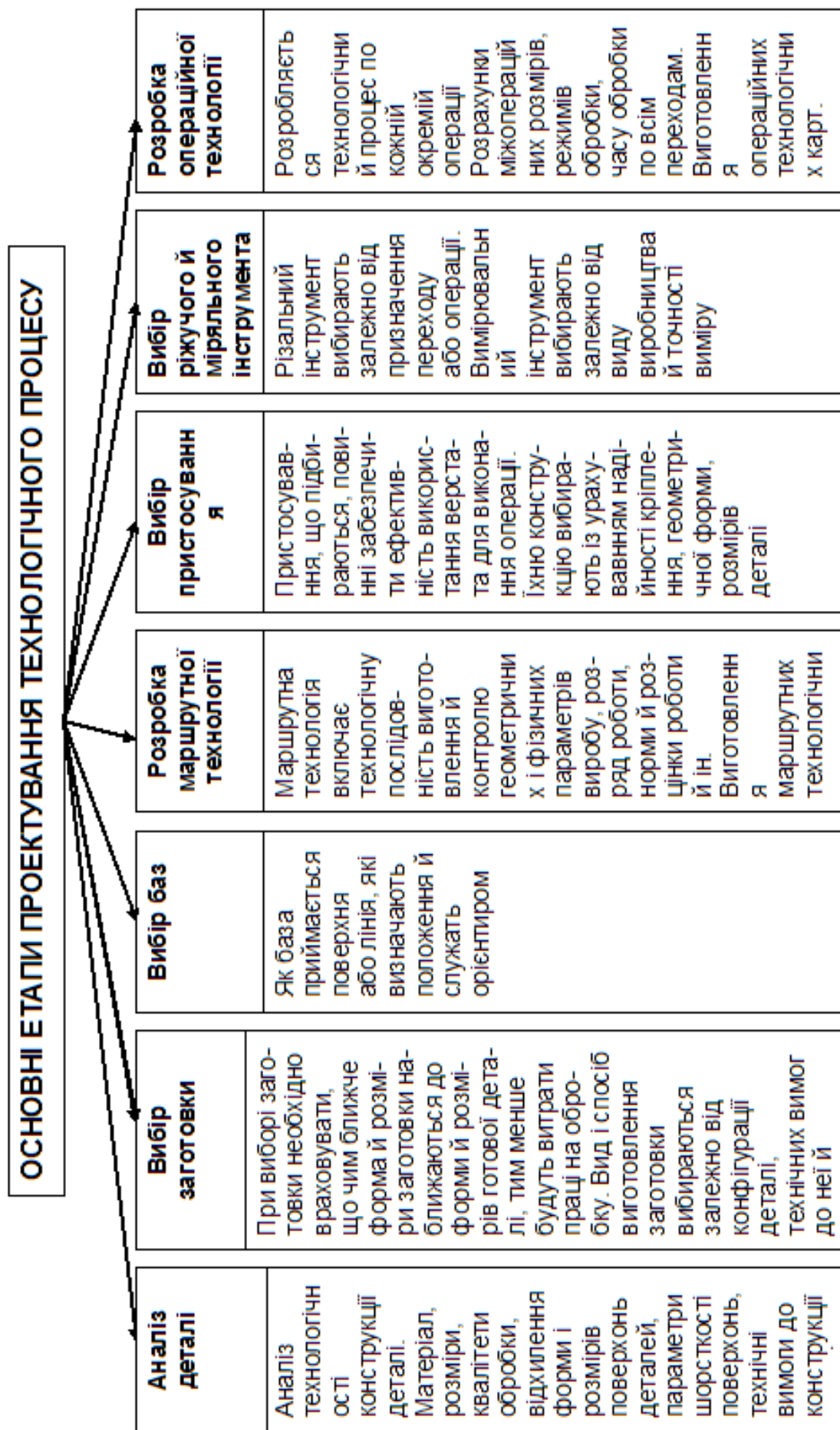


Рис. 6. 1. Загальні відомості про проектування технологічних процесів

Під час аналізу діючого технологічного процесу механічної обробки деталі вивчається послідовність операцій процесу, розбиття операцій на чорнові, чистові й оздоблювальні. Розглядають методи, які застосовуються в діючому процесі, з точки зору забезпечення заданої точності розмірів деталі. Необхідно встановити, наскільки відповідає діючий процес програмі випуску деталей, наскільки він забезпечує задану продуктивність обробки. Потрібно дати характеристику застосовуваного металорізального устаткування, звертаючи увагу на рівень механізації й автоматизації діючого технологічного процесу.

Досліджуваний діючий технологічний процес необхідно характеризувати з погляду диференціації й концентрації операцій.

Далі розглядається застосовуване технологічне оснащення:

а) верстатні пристосування, ступінь їхньої спеціалізації, рівень механізації й автоматизації;

б) різальний інструмент, його типаж, відсоток використання стандартних і спеціальних інструментів, ступінь складності конструкцій інструмента, матеріал різальної частини (особливо слід проаналізувати застосування інструментів, оснащених твердим сплавом, виготовлених з інструментальних сталей нових марок і т. д.);

в) застосовуваний допоміжний інструмент необхідно характеризувати з погляду досконалості його конструкції, швидкості та надійності зміни й закріплення різального інструменту, точності й швидкості заміни та настроювання різального інструменту;

г) застосовуваний контроль-вимірювальний інструмент характеризується ступенем використання спеціальних або універсальних калібрів і контрольних пристосувань, а також рівнем автоматизації (комп'ютеризації) контрольних операцій.

Далі виконують аналіз діючого технологічного процесу з погляду вибору чорнових баз, їхнього впливу на послідовність обробки; розглядається прийнята система базування. Аналізуються припуски на обробку з погляду відповідності нормативам і стандартам. Рекомендується вибіркова перевірка прийнятих припусків шляхом їхнього розрахунку. У разі невідповідності прийнятих і розрахованих припусків необхідно з'ясувати причину. Аналогічно аналізуються міжопераційні розміри й допуски на обробку, а також режими різання, які рекомендується вибірково перевіряти розрахунком. Далі аналізуються витрати основного й допоміжного часу на обробку. Нарешті, діючий технологічний процес необхідно охарактеризувати з погляду використання в ньому типових і групових технологічних процесів.

Наявність вихідних даних дозволяє розпочати проектування технологічного процесу в наступному порядку:

1. Ознайомлення зі службовим призначенням виробу.
2. Обсяг виробництва продукції дозволяє визначити тип виробництва й уточнити відповідність цього обсягу тим умовам, які забезпечують необхідні техніко-економічні показники виробництва.
3. Аналіз креслень виробу, складальних одиниць проводиться з погляду забезпечення службового призначення виробу, здійснюється коректування методів забезпечення точності розмірів, припусків і допусків.
4. Здійснюють проектування технологічного процесу складання виробів.
5. Вибираються вихідні заготовки й методи їхнього виготовлення, проектується технологічний процес їхньої обробки.
6. Проектуються й виготовляються засоби технологічного оснащення.
7. Впроваджується у виробництво технологічний процес виготовлення виробів й здійснюється коректування з метою виправлення похибок, виявлених під час впровадження.

Можна виділити основні етапи проектування: *аналіз вихідних даних* (технологічність конструкції деталі, вид заготовки, технічні вимоги до деталі, програма випуску); *вибір заготовки*; *вибір баз* (як база береться поверхня або лінія, які визначають положення і є орієнтиром); *розробка маршрутної технології* (технологічна послідовність виготовлення й контролю виробу, розряд роботи, норми й розцінки роботи); *вибір устаткування*; *вибір пристосування* (пристосування повинне забезпечити ефективність використання верстата); *вибір різального й вимірювального інструмента* (враховують призначення операції, тип виробництва, точність обробки й вимірювання); *розробка операційної технології* (розробляється технологічний процес для кожної окремої операції й складаються технологічні карти). Технологічна карта містить: номер креслення, матеріал деталі, технічні вимоги, номери, найменування й зміст операцій і переходів із графічним зображенням оброблюваних поверхонь, їх розмірів і відхилень, параметрів шорсткості, найменування устаткування й оснащення, розряд роботи, норми часу.

Застосування комбінованого інструменту, механізація, автоматизація, застосування прогресивного оснащення, збільшення кількості одночасно оброблюваних деталей, відпрацьовування конструкцій на технологічність, зменшення припусків на механічну обробку дозволяють збільшити продуктивність процесу обробки.

Необхідно вибрати тип і організаційну форму виробництва. Тип (дрібно-, середньо-, великосерійне й масове виробництво) і організаційна форма виробництва впливають на проектування технологічних процесів і систем. Разом з тим це питання досить докладно розглянуте в підручнику “Технологія машинобудування” [21]. Враховуючи, що в літературі [17; 21; 31; 40; 47; 48] міститься досить детальний виклад методики розробки маршрутної і операційної технології, вибір обладнання, пристосувань і інструменту, автори більше уваги приділили важкозасвоєваним етапам проектування: забезпечення технологічності конструкції виробу, вибору заготовок і баз для виготовлення деталей.

Для забезпечення технологічності конструкції виробу виконують аналіз конструкторської документації. Поняття “технологічність конструкції виробу” (ТКВ) передбачає таке проектування, що (за дотримання всіх експлуатаційних якостей цього виробу) забезпечує мінімальну собівартість його виготовлення, мінімальну трудо- і матеріалоемність, а також можливість застосування сучасних високопродуктивних методів обробки й складання. Відпрацьовування конструкції виробу на технологічність є безперервним процесом, що починається під час проектування виробу, триває в ході проектування технологічного процесу виготовлення виробу й закінчується під час виготовлення і експлуатації дослідних зразків і серій виробу.

Завдання, розв'язувані технологічністю конструкцій, можна розподілити на три основні групи: конструктивні, технологічні й експлуатаційні.

1. Конструктивні: вибір принципової схеми, що забезпечує простоту компонування виробу (вузла); забезпечення простоти конструктивних рішень вузлів, агрегатів і їхнього складання; розчленовування виробів на частини, що забезпечує зручність підходу, монтажу й регулювання, а також (що особливо важливо) можливість паралельного незалежного складання; зменшення кількості різних найменувань деталей; вибір найпростіших геометричних форм деталей; раціональний вибір матеріалів; вибір заготовок, що забезпечують найменшу витрату матеріалу й мінімальні витрати часу на обробку; обґрунтування вибору баз і системи проставляння розмірів; обґрунтоване призначення шорсткості оброблюваних поверхонь, допусків на складальні розміри й розміри деталей; забезпечення економічно доцільної взаємозамінності деталей, вузлів і агрегатів; уніфікація матеріалів, деталей і їхніх елементів, вузлів і агрегатів.

2. Технологічні: скорочення строків підготовки виробництва й освоєння виробу при заданому обсязі випуску; використання сучасних, найбільш продуктивних технологічних процесів обробки й складання; забезпечення заданої точності виготовлення деталей, складання вузлів і всього виробу в цілому відповідно до технічних вимог; мінімальна витрата матеріалів; забезпечення високої якості продукції; вибір раціональних методів і засобів контролю; максимальне використання типових і групових технологічних процесів виготовлення й складання деталей з використанням (за необхідності) переналагоджуваного оснащення й устаткування.

3. Експлуатаційні: забезпечення надійності й довговічності виробу; стабільність і стійкість експлуатаційних якостей; простота в обслуговуванні виробу під час експлуатації; простота ремонту виробу; скорочення кількості запасних частин; забезпечення малої ваги виробів.

У процесі відпрацьовування конструкції (виробу, вузла або деталі) на технологічність варто керуватися наступними міркуваннями [17].

1. Технологічність конструкції значною мірою залежить від обсягу випуску й типу виробництва. Обсяг випуску й серійність багато в чому визначають доцільність тих або інших раціональних технологічних методів виготовлення виробу. Конструкція виробу, високотехнологічна для одного обсягу випуску й серійності, може виявитися нетехнологічною для іншого обсягу випуску. Досвід показав, що у випадку переходу від меншого обсягу випуску до більшого конструкція зазнає значних змін, а часом – і суттєвої переробки. Ступінь використання прогресивних технологічних методів для серійного виробництва буде значно меншим, ніж для багатосерійного з більшим обсягом випуску.

2. Технологічність конструкції повинна розглядатися щодо всього виробу в цілому. Поліпшення технологічності окремо взятих деталей або вузлів без взаємозв'язку з вимогами технологічності всього виробу може привести до небажаних наслідків.

3. Технологічність конструкції необхідно розглядати як комплексне вирішення завдання, що враховує вимоги до всіх складових частин виробничого процесу виготовлення, починаючи від утворення заготовки й обробки деталей і закінчуючи складанням і випробуванням готового виробу.

У ході аналізу ТКВ необхідно звертати увагу на наступне.

I. Технологічність деталей у зв'язку зі складанням.

1. Кількість деталей у виробі (вузлі) повинна бути найменшою. Це досягається вибором простої та раціональної схеми вузла, об'єднанням декількох деталей в одну (зварений вузол, що складається з декількох деталей, може бути замінений литою конструкцією).

2. Складання вузлів виробу виконується незалежно й паралельно. На загальне складання вузли повинні надходити повністю зібраними й перевіреними (для зменшення обсягу робіт за загальним складанням). Зібрані вузли повинні бути перевірені в умовах, близьких до умов їхньої роботи у виробі. Конструкція вузлів повинна бути такою, щоб під час їхнього регулювання й установки на виробі не було потрібне навіть часткове розбирання.

3. Складання повинне бути зручним, місця складання повинні бути доступними. На деталях варто передбачати західні фаски, західні частини поверхонь (у випадку пресових посадок), засоби для запобігання повертання болта під час затягування і т. д. Крім цього, при складанні переміщення деталей по ділянках з нерухомою посадкою повинне бути мінімальним, а установка деталей на різні посадкові поверхні повинна бути послідовною.

4. При складанні не допускається механічна обробка або вона повинна бути мінімальною.

5. При складанні повинен забезпечуватися найбільш високий рівень взаємозамінності деталей і вузлів.

6. Конструкція виробу (вузла) повинна забезпечувати можливість автоматизації й максимальної механізації процесу складання.

II. Технологічність механічно оброблюваних деталей. Оскільки технологічність конструкцій механічно оброблюваних деталей обумовлена раціональним вибором заготовки, технологічністю форми деталі, раціональним проставлянням розмірів і призначенням оптимальної точності розмірів і параметрів шорсткості поверхонь, необхідно провести аналіз ТКВ за вказаними напрямками. А саме слід ознайомитися з рекомендаціями щодо раціонального вибору заготовки, технологічності форми деталі, проставляння розмірів, економічної точності обробки на різному устаткуванні, взаємного зв'язку якості обробки й шорсткості поверхні.

III. Технологічність литих деталей.

Технологічною конструкцією литих деталей є така, що дозволяє за допомогою недорогого оснащення швидко й дешево виготовляти вилівок, відносно точний за формою й високої якості.

IV. Технологічність гарячештампованих деталей варто оцінювати, керуючись наступними стандартами: ДСТ 7062-90, ДСТ 7505-89. Технологічні вимоги, які висуваються до конструкції деталей, виготовлених вільним куванням і гарячим штампуванням, різні. Так, вільним куванням можна одержати заготовку будь-якої ваги й простої конфігурації при порівняно низькій якості поверхонь, а штампуванням – вагою до 1 – 2 т і складної конфігурації за високої якості поверхонь. Вільне кування рентабельне для одиничного й дрібносерійного виробництва, штампування – для дрібносерійного, великосерійного й масового виробництва. Уже при серії в кілька десятків штук на місяць штампування може бути рентабельнішим від вільного кування. Щоб вирішити, на якому методі зупинитися, варто виконувати порівняльний техніко-економічний аналіз, що враховує вартість матеріалу й виготовлення заготовки, вартість механічної обробки, що буде різною для заготовок, отриманих різними методами й на різному устаткуванні. Кращим буде той варіант, за якого собівартість буде меншою.

Вибір і обґрунтування заготовки. Заготовка – предмет праці, з якого шляхом зміни форми, розмірів, властивостей поверхні й (або) матеріалу виготовляють деталь (ДСТ 3.1109-82). Види заготовок наведені в додатку Б (рис. Б.1). Вибір заготовки впливає на трудомісткість і собівартість технологічного процесу. Алгоритми вибору вихідної заготовки істотно залежать від умов виробництва. Для умов масового, великосерійного й серійного виробництва часто вибір заготовки визначається конструктором, оскільки властивості заготовки в більшості випадків впливають на експлуатаційні властивості деталей і машини в цілому. Водночас в умовах одиничного й дрібносерійного виробництва ініціатива у виборі заготовки частіше належить технологіві. Для укрупнених техніко-економічних розрахунків можна використовувати узагальнені статистичні дані у вигляді таблиць, номограм, графіків і т. д. У літературі описані й інші методики економічного обґрунтування вибору вихідної заготовки [2; 9; 16].

Вибір заготовки й способу її одержання є одним із відповідальних завдань розробки технологічного процесу виготовлення деталі. Правильний вибір заготовки веде до економії металу, забезпечує можливість застосування найбільш раціонального технологічного процесу механічної обробки деталі, знижує потребу в металорізальних верстатах, сприяє скороченню виробничих площ, зайнятих устаткуванням; зменшує витрати різального інструменту, знижує трудомісткість механічної обробки, а отже,

сприяє зниженню собівартості виготовлення деталі [16]. Тому в процесі вибору заготовок варто завжди прагнути до максимального наближення заготовки за формами, розмірами і якістю поверхні до готової деталі при одночасному скороченні відходів.

Спосіб одержання заготовки встановлюють на основі вивчення креслення готової деталі й технологічних умов на її виготовлення. Вирішальне значення під час вибору заготовки мають такі фактори, як матеріал, форма, розмір і вага готової деталі, виробнича програма. Наприклад, якщо в кресленні деталі зазначений матеріал сталь марок Ст. 5, І2ХН3А, 40Х тощо, то заготовки із цих матеріалів одержують куванням, штампуванням або безпосередньо із прокату, якщо ж матеріалом деталі є лита сталь, чавун, кольорові сплави, то заготовки одержують методом лиття. Очевидно, що в разі одиничного або дрібносерійного виробництва заготовка може бути отримана вільним куванням, штампуванням у підкладних штампах або литтям у піщані форми (одержувані ручним формуванням за дерев'яною моделлю), тому що інші способи одержання заготовок (штампування, лиття у форми, машинне формування за металевою моделлю) нераціональні через високу вартість оснащення (штампів, металевих моделей і т. д.).

У випадку серійного й масового виробництва, особливо якщо механічна обробка здійснюється на настроєному обладнанні (автоматах, напіваавтоматах, агрегатних верстатах і т. д.), більшу роль відіграє точність розмірів заготовки, тому що стабільність припусків на механічну обробку дозволяє забезпечувати високу стійкість інструментів і скорочувати простої устаткування. У масовому виробництві варто віддавати перевагу таким прогресивним методам одержання заготовок, як лиття в оболонкові форми, лиття за виплавленими моделями, лиття в кокіль, лиття під тиском, штампування в багатострумкових і закритих безоблойних штампах, штампування витіканням (тисканням), періодична прокатка, штампування на горизонтально-кувальній машині (ГКМ), комбіноване штампування тощо.

Зіставлення різних варіантів одержання заготовки може бути виконане порівнянням собівартості кожного з них. Для цього можна скористатися методикою спрощеного розрахунку собівартості заготовки. Економічне обґрунтування обраного способу виготовлення заготовки можна здійснити шляхом порівняння технологічної собівартості різних варіантів. Технологічна собівартість, тобто сума витрат, що змінюються при

різних варіантах, включає тільки найважливіші види витрат: на матеріал, на заробітну плату робітникам (ливарям, ковалям), на оснащення і його експлуатацію, витрати механічного цеху на обробку заготовки для кожного з варіантів. Обов'язковою умовою для порівняння є зведення варіантів, що зіставляються, до однакового річного обсягу випуску виробів. У тих випадках, коли відсутні необхідні дані для розрахунку технологічної собівартості, можна використовувати заводські дані, а також різні довідкові й нормативні матеріали в літературних джерелах [2; 16; 25]. Від прийнятого способу виготовлення заготовки залежать якість її поверхні, величина припусків на механічну обробку й точність розмірів виготовлення.

Припуски на механічну обробку можуть бути визначені табличним або розрахунково-аналітичним шляхом. При визначенні припусків табличним шляхом та відхилень, що допускаються, за розмірами й масою заготовок, слід користуватися відповідними джерелами [25].

Після встановлення виду заготовки й класу (групи) її точності розробляється креслення заготовки (на основі креслення готової деталі). При цьому необхідно: призначити припуски на механічну обробку (наприклад, табличним методом) відповідно до державного стандарту; вибрати поверхню рознімання; встановити штампувальні або ливарні ухили, радіуси заокруглень; вирішити питання про доцільність прошивання в заготовки наскрізних отворів; вирішити питання, пов'язані з одержанням порожнин у заготовках (розробка конструкції стрижнів для литих заготовок, визначення виду й розмірів позначок при штампуванні і т. ін.); у деяких випадках вирішити спеціальні питання конструювання заготовок (наприклад, зміна конструкції заготовки з метою створення зручних настановних баз для механічної обробки, спрощення конфігурації деталі шляхом введення напусків, розбивка деталі на дві й більше з наступним їхнім зварюванням і т. д.); визначити розміри заготовки й установити допуски на них (проставлення розмірів і допусків на розміри заготовок необхідно виконувати з урахуванням системи базування при механічній обробці заготовки); за встановленими розмірами заготовки визначити її масу, а також коефіцієнт використання матеріалу.

Масу заготовки можна визначити, користуючись таблицями для підрахунку маси деталей або спеціальними комп'ютерними програмами у

складі САПР. Коефіцієнти використання матеріалу $K_{в.м}$ й заготовки $K_{в.з}$ визначаються, відповідно, за формулами:

$$K_{в.м} = \frac{M_d}{M_{в.о}}, \quad K_{в.з} = \frac{M_d}{M_{заг}}, \quad (6.1)$$

де M_d – маса готової деталі;

$M_{в.м}$ – маса вихідного матеріалу для одержання заготовки;

$M_{заг}$ – маса заготовки.

Після проведення всіх розрахунків з конструювання заготовки виконують креслення заготовки. Креслення заготовки оформляється на аркуші стандартного формату (наприклад, формату А1) переважно в масштабі 1:1 (допускається використання масштабів 1:2 і 2:1). Під час креслення великих заготовок у зменшеному масштабі їхні складні перетини варто виконувати в масштабі 1:1.

Контури готової деталі на кресленні заготовки показують штрихпунктирними або тонкими суцільними лініями, припуски й напуски штрихуються в бік, протилежний до штрихування розрізів, щоб виділити метал, який видаляється в процесі механічної обробки. На кресленні заготовки повинні бути наведені всі необхідні розміри, що відносяться до заготовки. На основні й характерні розміри заготовки повинні бути проставлені відповідні допуски.

У технічних умовах на виготовлення заготовки, що зазначаються на кресленні, вказують: клас (групу) точності з відповідним державним стандартом (ДСТ), за яким слід витримувати не зазначені на кресленні допуски на розміри; величини не зазначених на кресленні ливарних або штампувальних радіусів округлень, ухилів; вид термообробки й твердість; величину залишкової задирки, що допускається після обрізання облою; метод очищення поверхні заготовки (дробоструменева обробка, травлення і т. д.); глибину зовнішніх дефектів, що допускаються, (раковин, тріщин і т. д.); величини жолоблення, кривизни, що допускаються, зсуву по площині рознімання, ексцентричності отворів щодо зовнішнього діаметра заготовки.

У процесі розробки технічних умов на заготовку необхідно керуватися даними довідкової літератури й відповідних ДСТ.

У ряді випадків розробляють креслення, що відображає технологію виготовлення заготовки. На цьому кресленні можуть бути зображені

ливарні форми, багатоструменеві штампи і под. (з необхідною кількістю проєкцій, розрізів і перетинів) [31].

Чим більша програма випуску деталей, тим важливіші вимоги до вибору заготовки з погляду максимального наближення її до остаточно обробленої деталі. Тому під час вибору заготовки враховують тип виробництва (дрібно- або середньосерійне, масове).

Приклад. У процесі вибору заготовки із прокату [31], його розрахунковий діаметр ($d_{\text{заг.розр}}$) визначають підсумовуванням найбільшого діаметра деталі ($d_{\text{д.мак}}$) і загального припуску на цей діаметр ($2Z_{\text{заг.д}}$), тобто:

$$d_{\text{заг.розр}} = d_{\text{д.мак}} + 2Z_{\text{заг.д}} \quad (6.2)$$

Розрахунковий діаметр ($d_{\text{заг.розр}}$) коректують за сортаментом і визначають допуски на нього (ДСТ 2590-88). Виконують ескіз частини прокату, де наносять контур деталі й усі необхідні розміри (рис. 6.2).

Довжину вихідної заготовки для однієї деталі ($L_{\text{заг.шт}}$) визначають за формулою (рис. 6.2):

$$L_{\text{заг.шт}} = L_{\text{д}} + 2Z_{\text{заг.л}} + b_{\text{розр}}, \quad (6.3)$$

де $L_{\text{д}}$ – довжина готової деталі;

$Z_{\text{заг.л}}$ – загальний припуск на лінійний розмір (на обробку торця);

$b_{\text{розр}}$ – ширина розрізу прокату.

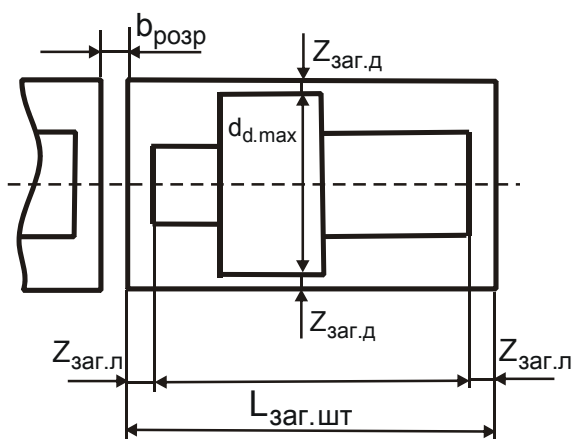


Рис. 6.2. Ескіз заготовки із круглого прокату для деталі типу “вал східчастий”

Для розрахунку норми витрати матеріалу й коефіцієнта його використання виконують наступні обчислення [16].

1. Установлюють величину втрат на закріплення заготовки, наприклад, у цанговому патроні ($L_{\text{закр}}$), що залежить від діаметра прокату й конструктивних розмірів цанги.

2. Визначають кількість деталей ($n_{\text{д.розр}}$), які можна виготовити з одного прокату довжиною $L_{\text{пр}}$:

$$n_{\text{д.розр}} = \frac{L_{\text{пр}} - l_{\text{закр}}}{L_{\text{заг.шт}}} \quad (6.4)$$

Для розрахунку беруть ціле число деталей ($n_{\text{д}}$).

3. Визначають довжину залишку ($l_{\text{зал}}$) через некрatність довжини проката довжині заготовки для однієї деталі, тобто:

$$l_{\text{зал}} = L_{\text{пр}} - l_{\text{закр}} - L_{\text{заг.шт}} \cdot n_{\text{д}} \quad (6.5)$$

4. Визначають масу прокату ($M_{\text{заг.шт}}$), використуваного на виготовлення однієї деталі:

$$M_{\text{заг.шт}} = 0,001 \cdot M_{\text{п.м}} \cdot L_{\text{заг.шт}}, \quad (6.6)$$

де $M_{\text{п.м}}$ – маса погонного метра прокату (ДСТ 2590-88).

5. Знаходять коефіцієнт використання матеріалу заготовки ($K_{\text{в.м}}$) при механічній обробці на верстаті, тобто:

$$K_{\text{в.м}} = \frac{M_{\text{д}}}{M_{\text{заг.шт}}} \quad (6.7)$$

6. Знаходять норму витрати матеріалу на виготовлення однієї деталі:

$$H_{\text{витр}} = \frac{M_{\text{пр}}}{n_{\text{д}}} = \frac{1}{n_{\text{д}}} \cdot 0,001 \cdot M_{\text{пр}} \cdot L_{\text{пр}}, \quad (6.8)$$

де $M_{\text{пр}}$ – маса прутка.

7. Загальний коефіцієнт використання матеріалу ($K_{\text{в.м.заг}}$) з урахуванням усіх втрат під час механічної обробки:

$$K_{\text{в.м.заг}} = \frac{M_{\text{д}} \cdot n_{\text{д}}}{M_{\text{пр}}} \quad (6.9)$$

Вартість заготовки ($C_{\text{заг.шт}}$) для однієї деталі:

$$C_{\text{заг.шт}} = C_{\text{кг}} \cdot H_{\text{витр}}, \quad (6.10)$$

де $C_{\text{кг}}$ – ціна одного кілограма прокату за преїскурантом, грн.

Замість прокату можливе використання кування, штампованої заготовки, котра, у свою чергу, виготовляється із прокату. У цьому випадку норма витрати матеріалу зменшиться. Це приведе до зменшення вартості

заготовки. Однак при цьому з'являються додаткові витрати на штампове оснащення. Необхідно знову визначити вартість заготовки. Остаточо найбільш економічний варіант вибору заготовки встановлюють із урахуванням собівартості всього технологічного процесу. Цю роботу доцільно виконувати за допомогою комп'ютерної системи автоматизованого проектування.

Вибір технологічних баз. Завдання вибору технологічних баз належить до числа важкоформалізованих. Можливі численні варіанти його вирішення, що визначають структуру всього технологічного процесу виготовлення деталі. Рекомендації щодо визначення технологічних баз наведені в технологічній літературі, наприклад у роботах [2; 5; 8; 9; 16, 17; 20; 21; 25; 30; 47; 48]. Тому тут слід відзначити найбільш важливі аспекти вирішення цього завдання.

Відомо, що всі поверхні деталі можна умовно розділити на чотири категорії: основні, допоміжні, виконавчі й вільні. За допомогою основних поверхонь деталь орієнтується в складальній одиниці (вузлі). До допоміжних поверхонь розглянутої деталі приєднуються інші (що сполучаються) деталі (що входять у вузол). Виконавчі поверхні призначені для виконання певної функції (наприклад, поверхня зубів зубчастих коліс). Вільні поверхні деталі є сполучними між перерахованими вище поверхнями. Основні поверхні визначають основні конструкторські бази деталі. Допоміжні поверхні – допоміжні конструкторські бази.

У процесі вибору технологічних баз необхідно керуватися двома принципами базування: принципом сполучення (єдності) баз і принципом сталості баз [47]. Відповідно до першого принципу необхідно прагнути до того, щоб конструкторські, вимірювальні й технологічні бази були сполучені. У цьому випадку відсутня похибка базування, що (за її наявності) включається до складу припуску на обробку. У випадку розбіжності конструкторських і технологічних баз посилюються допуски технологічних розмірів, що вводяться. За неможливості виконання принципу сполучення баз рекомендується використовувати другий принцип базування – принцип сталості баз.

У процесі вибору технологічних баз відповідно до зазначених принципів базування необхідно враховувати наявні на підприємстві технологічні устаткування й відповідні верстатні пристосування, а також базу даних за типовими і груповими технологічними процесами. За можливих декількох (альтернативних) варіантів вибору баз необхідно виконати відповідні техніко-економічні розрахунки (для кожного варіанта побудови технологічного процесу) і вибрати найбільш раціональний або

оптимальний варіант. Цю роботу доцільно виконувати за допомогою комп'ютерної системи автоматизованого проектування.

У процесі вибору чорнових баз варто керуватися наступними основними рекомендаціями [16].

Як чорнові бази слід вибирати ті поверхні, які й у готовій деталі залишаться чорновими (неопрацьованими). При цьому забезпечується найбільш правильне розташування підсистеми оброблених поверхонь щодо неопрацьованих. Якщо з яких-небудь поверхонь деталі потрібно зняти мінімальний припуск, то саме ці поверхні повинні бути прийняті як чорнові бази. Обидві ці рекомендації суперечать одна одній. Технолог-проектант на основі аналізу конструкції деталі й вузла, а також з огляду на технологію одержання заготовки й застосовуване при цьому оснащення, повинен надати перевагу одній рекомендації. На вибір чорнових баз може вплинути й такий фактор, як зручність установлення й закріплення деталі в пристосуванні.

Перша операція повинна бути побудована таким чином, щоб поверхні, оброблювані при її виконанні, могли служити технологічними базами при виконанні наступних операцій. Не слід допускати повторного використання чорнових баз, тому що при цьому оброблені при різних установках поверхні займуть неправильне положення одна відносно одної. Технологічний процес повинен бути побудований таким чином, щоб усі операції виконувалися від одних технологічних баз (координатний метод досягнення точності). Такий принцип побудови технологічного процесу не завжди відповідає проставлянню розмірів на кресленні деталі. У цьому випадку проектант повинен, аналізуючи конструкцію деталі, або довести можливість зміни системи проставляння розмірів на кресленні, або зробити розрахунок технологічних розмірів, що вводяться, і допусків.

Прийняті технологічні бази не повинні давати похибок базування. За наявності похибок базування необхідно розрахунком перевірити їхню величину й оцінити їхній вплив на результативну точність виконуваних розмірів.

Розробка маршруту обробки деталі. Розробка маршрутної технології є відповідальним етапом проектування. Розробку маршруту обробки окремих поверхонь здійснюють на основі табличних або розрахункового [30] методів. Основними вихідними даними для розробки

маршрутної технології є креслення деталі й програма випуску. Розробка маршрутної технології часто виконується на основі аналізу діючого заводського технологічного процесу. У процесі розробки особливу увагу варто приділити вибору технологічних баз заготовки, тому що вибір технологічних баз заготовки визначає маршрут її обробки [8; 47; 48]. Послідовність розробки маршруту обробки деталі наведена на рис. Б.2.

У маршрутній технологічній карті для кожної операції вказують [16]: номер операції, позиції, переходу; найменування операції, позиції, переходу; найменування й тип верстата; найменування пристосування; найменування завантажувального або встановлювано-знімного пристрою; найменування різального інструменту й матеріалу його робочої частини; найменування вимірювального інструмента. У процесі розробки маршрутної технології і її оформлення необхідно зробити орієнтовні розрахунки режимів різання, норм часу, припусків на обробку характерних поверхонь.

Для серійного й дрібносерійного виробництва маршрутна технологія розробляється з урахуванням можливості використання групових налагоджень. Для цього варто виявити номенклатуру деталей, які можуть оброблятися по одному типовому (або груповому) процесу. Типовий (груповий) процес розробляють на найбільш складні й трудомісткі деталі – комплексні деталі, які можуть бути реальними або уявними. Групове налагодження для кожної операції розробляється з урахуванням програми випуску й завантаження устаткування.

У процесі розробки маршрутної технології в умовах виробництва з великою програмою випуску виробів особливу увагу слід приділити питанням автоматизації.

Операційна технологія повинна містити ескізи обробки за операціями (позиціями) із зазначенням базових точок, місць дотику затискачів, розмірів і допусків, одержуваних під час обробки, шорсткості обробленої поверхні. На кожну операцію (позицію) дається ескіз налагодження. На ескізі налагодження показують пристосування із закріпленою деталлю, а також інструменти (інструментальні налагодження) у положенні, що відповідає кінцю робочого ходу. При використанні спеціальних агрегатних верстатів дається компоновальна схема верстата або автоматичної лінії.

Оформлення креслень налагоджень на механічну обробку й складання. На кресленнях налагодження (установа) необхідно дати графічні ілюстрації до розробленого технологічного процесу в такій формі,

що дозволила б сформулювати судження про зміст усього процесу в цілому, а не тільки деяких довільно обраних операцій [16]. Отже, вибір операцій, які необхідно ілюструвати кресленнями установів, повинен бути зроблений досить ретельно. Цей етап проектування необхідно виконуватися лише після того, як будуть виконані попередні етапи, в тому числі етап розробки й оформлення на картах технологічного процесу. У протилежному випадку можлива переробка вже готових креслень установів, викликана змінами в технологічному процесі. Бажано, щоб кожний аркуш містив кілька креслень установів, тобто ілюстрував кілька операцій або позицій. Число креслень установів на аркуші визначається складністю установка. У середньому на 1 аркуші можна розташувати 2 – 4 установи.

Кожний установ постачають написом, що містить номери операцій і позицій. Масштаб креслень установів вибирається залежно від розмірів оброблюваної деталі, пристосувань, інструментів і т. ін. Бажано користуватися одним масштабом для всіх установів. На кресленні кожного установка, як правило, зображуються: пристосування, оброблювана деталь (заготовка), різальний інструмент, допоміжний інструмент та інші елементи кріплення різального інструменту, вимірювальний інструмент (у випадку, якщо він застосовується для контролю розмірів деталей у процесі обробки).

Пристосування (верстатне або складальне) зображують, як правило, в одній проекції, що дозволить наочно показати базування оброблюваної деталі, її закріплення, а також пристрій самого пристосування. Крім того, повинні бути показані: пристрої, призначені для напрямку інструмента (кондукторні втулки, втулки, що направляють, і т. ін.), пристрої, що служать для базування й фіксації навісних кондукторних плит щодо пристосувань (у випадку, коли ілюструються операції, виконувані на одно- і багатопозиційних агрегатах та інших аналогічних верстатах). Показуються також люнети. На кресленнях установів фрезерних операцій показуються габарити й обмежники положення інструмента в процесі настроювання його на розмір. У випадках, коли в ході виконання даної операції передбачене автоматичне завантаження верстатів, на кресленні установка також необхідно показати пристрій для автозавантаження (частково або повністю).

Кондукторні втулки, опорні пластини й штирі, встановлювальні пальці й інші елементи пристосування, що слугують для базування й закріплення оброблюваної деталі, повинні зображуватися відповідно до нормалей і

ДСТ. Якщо однієї проекції недостатньо для чіткого пояснення роботи пристосування або базування деталі, то необхідно зобразити другу проекцію повністю або частково.

У разі ілюстрації кресленнями установів операцій, виконуваних на однакових пристосуваннях, допускається таке пристосування показувати на установках тільки один раз. Крім того, на установках, що ілюструють операцію, виконувану на багатошпindelних токарських верстатах і багатопозиційних агрегатних верстатах, а також в інших подібних випадках (наприклад, на автоматичних лініях) установ деталі в пристосуванні досить навести один раз на одній із позицій, причому допускається сполучення завантажувальної й робочої позиції на одному установі.

Оброблювану деталь (заготовку) зображують у робочому положенні (тобто встановленою й закріпленою в пристосуванні) штрих-пунктирними або тонкими лініями.

Різальний інструмент показують у положенні, що відповідає кінцю його робочого ходу. Стандартний інструмент (різці, свердла, зенкери, розгорнення, фрези та ін.) зображують відповідно до нормалей і стандартів.

Елементи кріплення різального інструменту бажано показувати без спрощення. Допоміжний інструмент для стрижневого або насадного інструмента (оправлення, подовжувачі, плаваючі патрони і под.) бажано показати в розрізі, повному або частковому. Те ж саме стосується напрямних пристроїв борштанг. Державки для кріплення різців та іншого інструмента (особливо для випадків багатоінструментальної обробки), також повинні бути показані докладно: необхідно показати елементи державок, призначені як для кріплення інструмента, так і для регулювання його положення щодо базових елементів верстата або пристосувань.

Вимірювальний інструмент, застосовуваний для вимірювання розмірів деталей безпосередньо в процесі обробки, елементи систем автопідналагодження тощо також показують на установках досить докладно, тобто в розрізі, частковому або повному.

Крім вищенаведених елементів установів, на кресленнях показують також цикли роботи (циклограму) верстатів (агрегатних головок, супортів). Показують схеми розташування позицій на верстатах, а також компоновання (агрегатних) верстатів. Для інших багатопозиційних

верстатів (токарських багатшпиндельних автоматів і напівавтоматів) досить навести схему розташування позицій.

Напрямок подач і головного руху вказується на установках стрілками з відповідними позначеннями.

Вище зазначалося, що кресленнями установів ілюструють такі операції технологічного процесу, які дозволяють сформувавши чітке уявлення про весь процес у цілому. У зв'язку з цим бажано вказати операції, на яких виконується обробка основних і допоміжних базових поверхонь. Це, як правило, перші операції, де встановлення деталей здійснюється по чорнових поверхнях. Далі повинні бути показані всі або більшість характерних операцій технологічного процесу. Показують послідовно токарські, фрезерні, свердлильні та інші операції. Однотипні операції й позиції можуть бути показані тільки один раз.

На кресленнях установів проставляють розміри для настроювання. У випадку обробки на токарських, розточувальних і свердлильних верстатах проставляються номінальні розміри діаметрів отворів, для осьових розмірів вказуються розміри, що зв'язують базову торцеву поверхню деталі з торцями уступів, канавок і т. д. Під час обробки на фрезерних і стругальних верстатах проставляють розміри, що зв'язують базові поверхні пристосувань із їхніми робочими (настановними) поверхнями, а також розміри настановних щупів.

Необхідно дотримуватися наступних вимог [16]:

а) креслення установів операцій або позицій бажано розташовувати відповідно до порядку виконання операцій технологічного процесу, а не впереміж;

б) зображувати установи (налагодження) необхідно в робочому положенні оброблюваної деталі (заготовки) на верстаті, у пристосуванні і т. ін. Наприклад, у ході обробки деталі на токарському верстаті патрон необхідно розташовувати ліворуч, а не праворуч; вісь деталі – горизонтально, а не вертикально; напрямок обертання шпинделя, зазначений стрілкою на кресленні, повинен відповідати напрямку обертання на верстаті і т. д.;

в) витримувати певну “щільність” креслення, не залишаючи багато вільного місця на аркушах;

г) не допускати зайвого схематизму в зображенні креслень установів.

Особливості проектування технологічного процесу складання.
Залежно від обсягу випуску (заданої програми) встановлюють доцільну

організаційну форму складання, визначають її такт і ритм. Здійснюють технологічний аналіз складальних креслень із позиції відпрацьовування конструкції на технологічність. Роблять розмірний аналіз конструкцій виробів, що збираються, виконують розрахунки розмірних ланцюгів і встановлюють раціональні методи досягнення точності складання (повна, неповна, групова взаємозамінність, регулювання й пригін).

Визначають доцільний у даних умовах ступінь диференціації або концентрації складальних операцій. Установлюють послідовність з'єднання всіх складальних одиниць і деталей виробу й розробляють схеми загального складання й вузлових зборок виробу. Вибирають найбільш продуктивні, економічні й технічно обґрунтовані способи складання, контролю, випробувань.

Вибирають необхідне стандартне технологічне й допоміжне устаткування й технологічне оснащення (пристосування, різальний, монтажний і вимірювальний інструменти). За необхідності проектують спеціальні засоби технологічного оснащення. Здійснюють технічне нормування складальних робіт і розраховують економічні показники складання. Розробляють планування розміщення устаткування, робочих місць. Оформляють технічну документацію на складання.

Після вивчення машини, окремих її агрегатів і складальних одиниць, аналізу технічних умов на їхнє виготовлення й складання розпочинають розчленовування виробу на складові частини з огляду на наступне:

1) складальну одиницю не слід розчленовувати в процесі складання, транспортування й монтажу;

2) складальним операціям передують підготовчі й приганяльні роботи, які виділяють у самостійні операції, оскільки вони пов'язані з такими видами обробки, як обпилювання, шабрування, притирання, свердління отворів, вигинання і под.;

3) габаритні розміри складальних одиниць установлюють із урахуванням наявності підйомно-транспортних засобів;

4) складальна одиниця повинна складатися з невеликої кількості деталей, тому що зайва диференціація призводить до ускладнення організації складальних робіт;

5) передача на складання окремих деталей повинна бути мінімальною, винятком є базові деталі;

б) виріб варто розчленовувати так, щоб його конструкція дозволяла здійснювати складання з найбільшою кількістю складальних одиниць.

Послідовність складання в основному визначається конструкцією виробу, компонуванням деталей і методами досягнення необхідної точності.

У процесі проектування нових і реконструкції наявних заводів розроблені технологічні процеси є основою всього проекту. Вони визначають потреби в устаткуванні й робочій силі, виробничих площах, технологічному оснащенні (приспосованні й інструменті), матеріалах, енергетиці, транспортних засобах та ін. Аналогічне призначення технологічних процесів у ході постановки виробництва нових об'єктів на діючому заводі; при цьому виявляють можливість використання наявного й необхідність придбання нового технологічного обладнання й оснащення.

6.2. Визначення оптимальних параметрів технологічного процесу

Оптимізація – це процес визначення екстремуму деякої кількісної величини об'єкта дослідження, що подається у вигляді функцій. Основною метою процесу є забезпечення заданих характеристик якості виробів найбільш продуктивним шляхом за мінімальних витрат. Звідси впливають два головних критерії оптимальності: максимальна продуктивність і мінімальна собівартість.

Оптимізація технологічної собівартості виготовлення масляного бака. Технологічна собівартість масляного бака повинна враховувати вартість листового матеріалу і вартість зварювальних робіт. Її можна подати у вигляді витрат:

$$C = \alpha \cdot S + \beta \cdot l, \quad (6.11)$$

де S – площа листового матеріалу марки 1Х18Н9Т, необхідного для виготовлення масляного бака обсягом $V = 2000$ л;

l – довжина зварювального шва, м;

α – вартість одиниці площі матеріалу, з якого виготовлений масляний бак, грн;

β – вартість одиниці довжини зварювального шва, грн.

Постановку оптимізаційної задачі можна розглядати у 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, надаючи різних значень параметрам L , B і H , одержимо різні варіанти конструкції бака. Для найбільш економічного варіанта виготовлення бака треба визначитися з критерієм, за яким слід оцінювати найкращий варіант. Вибір найвигіднішого варіанта можна здійснити, наприклад, за вартістю використовуваного матеріалу і вартістю зварювальних робіт. На рис. 6.3 наведена розгортка листового матеріалу і пунктирною лінією – траєкторія зварювального шва:

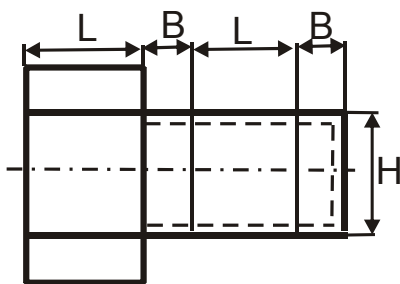


Рис. 6.3. Розгортка листового матеріалу для виготовлення бака

$$\begin{aligned} l &= 2(L + 2B) + H; \\ S &= 2[LB + (L + B)H]. \end{aligned} \quad (6.12)$$

Постановку задачі для визначення оптимальних розмірів масляного бака обсягом $V = 2000$ л можна записати так:

$$\begin{aligned} F &= S \rightarrow \min, \\ V &= 2000 \text{ л.} \end{aligned} \quad (6.13)$$

Після підстановки у вираз (6.13) значення S , одержимо:

$$\begin{aligned} F &= 2[LB + (L + B)H] \rightarrow \min, && \text{(цільова функція)} \\ LBH &= 2000, && \text{(обмеження)} \\ 0 < L, B, H < \infty && \text{(граничні умови).} \end{aligned} \quad (6.14)$$

Цільова функція показує, в яких умовах площа листового матеріалу для виготовлення масляного бака, буде мінімальною. Граничні умови показують зміни параметрів. Обмеження показує залежність обсягу масляного бака від розмірів його сторін.

Для визначення мінімуму функції $S = 2[LB + (L + B)H]$ при $L = \frac{2000}{BH}$

використаємо необхідну ознаку екстремуму.

Якщо функція в точці $P(H_0B_0)$ має екстремум, то:

$$\frac{\partial S}{\partial H} \Big|_{H_0B_0} = 0 ; \quad \frac{\partial S}{\partial B} \Big|_{H_0B_0} = 0 , \quad \text{тобто} \quad \begin{cases} \frac{\partial S}{\partial H} = 2 \cdot \left(-\frac{2000}{H^2} + B \right) = 0 \\ \frac{\partial S}{\partial B} = 2 \cdot \left(-\frac{2000}{B^2} + H \right) = 0 \end{cases} .$$

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:

$$H_0 = B_0 = \sqrt[3]{2000} = 12,596 \text{ дм},$$

$$L_0 = \frac{2000}{\sqrt[3]{2000^2}} = \sqrt[3]{2000} = 12,6 \text{ дм}.$$

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:

$$F = 2(L + 2B) + H \rightarrow \min;$$

$$L \cdot B \cdot H = 2000 \tag{6.15}$$

$$0 < L ; B ; H < \infty .$$

Результати розв'язку задач з математичними моделями (6.14) і (6.15) наведені в табл. 6.1.

Таблиця 6.1

Результати розрахунку моделей

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. 6.1 видно, що залежно 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.

Мінімальну площу $S = 9,53 \text{ м}^2$ має бак кубічної форми зі сторонами 1,26 м, а мінімальну довжину зварювального шва $l = 7,6$ м має бак зі сторонами $L = 1,26$ м, $B = 0,63$ м, $H = 2,52$ м. Щоб урахувати одночасно вартість листового матеріалу і вартість зварювальних робіт, необхідно визначити сумарну технологічну собівартість $C = \alpha \cdot S + \beta \cdot l$.

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 $C_{\text{зад}}$, має вигляд:

$$\begin{aligned}
 F_1 &= V \rightarrow \max; \\
 V - L \cdot B \cdot H &= 0; \\
 S - 2 \cdot [L \cdot B + (L + B)H] &= 0; \\
 C - \alpha S - \beta l &= 0; \\
 l - 2 \cdot (L + 2B) - H &= 0; \\
 0 < L, B, H, S, l < \infty; \\
 C &= C_{\text{зад}}.
 \end{aligned}
 \tag{6.16}$$

У ході розв'язування задачі із заданою математичною моделлю при заданих значеннях $\alpha = 0,1$; $\beta = 0,8$; $C_{\text{зад}} = 3; 4; 5; 6$ отримано наступні оптимальні величини технологічних параметрів (табл. 6.2).

Таблиця 6.2

Розрахункові значення технологічних параметрів

$C_{\text{зад}}$	$V, \text{ м}^3$	$L, \text{ м}$	$B, \text{ м}$	$H, \text{ м}$	$S, \text{ м}^2$	$l, \text{ м}$
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

Оптимізація завантаження металорізальних верстатів. Потрібно оптимізувати завантаження зубошліфувальних верстатів при виготовленні партії зубчастих коліс ($m = 3$ мм, $z = 45$, $\alpha = 20^\circ$) шостого ступеня точності в кількості 50 одиниць.

У механічному цеху є один зубофрезерний 5Д32 і один зубодовбальний 5А12 верстат, три зубошліфувальних моделі: 5851 (МАОГ), 5831 (НАІЛС) 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 наведена в табл. 6.3.

Таблиця 6.3

Вартість обробки зубчастих вінців

Тип верстата і ступінь точності	Моделі зубошліфувальних верстатів		
	5831	5833	5851
9-й ступінь, зубодовбання 5А12	0,6 гр	0,9 гр	1,5 гр
8-й ступінь, зубофрезерування 5Б32	0,4 гр	0,8 гр	1,4 гр

Кількість деталей, що розподілена між зубошліфувальними верстатами, наведена в табл. 6.4.

Таблиця 6.4

Розподіл деталей між верстатами

Тип верстата	5831	5833	5851
5А12	X	Y	30 – X – Y
5Б32	26 – X	14 – Y	X + Y – 20
Сума	26	14	10

Технологічна собівартість зубошліфувальних робіт у процесі обробки 50 зубчастих коліс шостого ступеня точності дорівнює [3]:

$$C = 0,6X + 0,9Y + 1,5 \cdot (30 - X - Y) + 0,4 \cdot (26 - X) + 0,8 \cdot (14 - Y) + 1,4 \cdot (X + Y - 20);$$

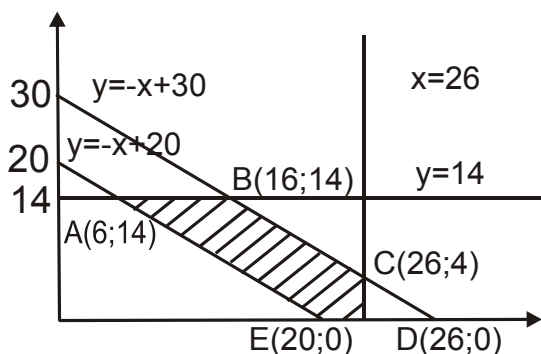
$$C = 40,6 + X - Y.$$

Кількість прошліфованих деталей на верстатах не може бути від'ємною величиною:

$$\begin{cases} X \geq 0; \\ Y \geq 0; \\ 30 - X - Y \geq 0; \end{cases} \quad \begin{cases} 26 - X \geq 0; \\ 14 - Y \geq 0; \\ X + Y - 20 \geq 0. \end{cases}$$

Наведені нерівності є рівняннями прямих ліній, побудова яких на графіку (рис. 6.4) дозволяє оптимізувати цільову функцію $C: C \rightarrow \min$.

Технологічна собівартість у критичних точках A, B, C, D, E дорівнює:



$$\begin{aligned} C_A &= 40,6 + 6 - 14 = 32,6 \text{ грн;} \\ C_B &= 40,6 + 16 - 14 = 42,6 \text{ грн;} \\ C_C &= 40,6 + 26 - 4 = 62,6 \text{ грн;} \\ C_D &= 40,6 + 26 = 66,6 \text{ грн;} \\ C_E &= 40,6 + 20 = 60,6 \text{ грн.} \end{aligned}$$

Рис. 6.4. Область допустимих значень оптимізованих параметрів

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 наведений у табл. 6.5.

Заробітна плата шліфувальників за зазначений календарний проміжок часу складе:

$$\begin{aligned} \text{на верстаті 5831: } & X \cdot 0,6 + (26 - X) \cdot 0,4 = 3,6 + 8 = 11,6 \text{ грн;} \\ \text{на верстаті 5833: } & Y \cdot 0,9 = 14 \cdot 0,9 = 12,6 \text{ грн;} \\ \text{на верстаті 5851: } & (30 - X - Y) \cdot 1,5 = (30 - 6 - 14) \cdot 1,5 = 15 \text{ грн.} \end{aligned}$$

Оптимізація витрат на перевезення заготовок. Ливарний цех заводу розташовується на відстані a від залізниці (пункт С на рис. 6.5). Механічний цех, куди постачаються 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.

Розподіл деталей між верстатами

Тип верстата	5831	5833	5851
5A12	$X = 6$	$Y = 14$	$30 - 6 - 14 = 10$
5Б32	$26 - 6 = 20$	$14 - 14 = 0$	$6 + 14 - 20 = 0$

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 слід відкрити нову станцію М і до неї підвести по прямій лінії шосе СМ, щоб загальні транспортні витрати були мінімальними.

Розв'язок: Нехай $BM = x$; $BC = a$; $AC = b$. Тоді $AB = \sqrt{b^2 - a^2}$; $AM = AB - BM = \sqrt{b^2 - a^2} - x$; $CM = \sqrt{a^2 + x^2}$. Вартість перевезення Р одиниць ливарних заготовок залізницею АМ складе $P\alpha(\sqrt{b^2 - a^2} - x)$, а шосейною

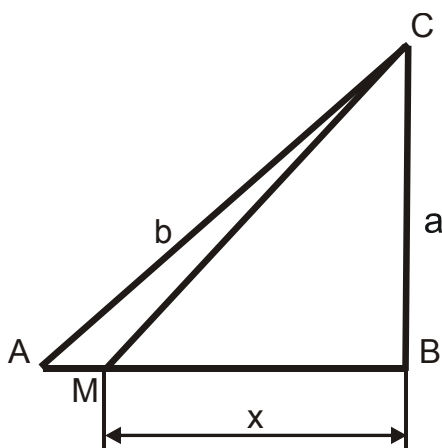


Рис. 6.5. Розрахункова схема

дорогою на відстань МС – $P\beta \cdot \sqrt{a^2 + x^2}$. Загальна вартість перевезень маршрутом СМА виражається функцією:

$$S(x) = P\alpha(\sqrt{b^2 - a^2} - x) + P\beta \cdot \sqrt{a^2 + x^2}, \quad (6.17)$$

де $0 \leq x \leq AB$ чи $0 \leq x \leq \sqrt{b^2 - a^2}$.

Функція (6.17) є цільовою функцією задачі. Потрібно знайти таке значення аргументу x , при якому функція $S(x)$ набуде найменшого значення на відрізку $(0, \sqrt{b^2 - a^2})$. Похідна функції (6.17) 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:

$$\frac{P(\beta x - \alpha \sqrt{a^2 + x^2})}{\sqrt{a^2 + x^2}} = 0, \quad (6.18)$$

одержимо: $x_1 = \frac{a\alpha}{\sqrt{\beta^2 - \alpha^2}}$, $x_2 = -\frac{a\alpha}{\sqrt{\beta^2 - \alpha^2}}$.

Оскільки 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 кри-

тичної точки похідна змінює знак з мінуса на плюс. Отже, при $x = \frac{a\alpha}{\sqrt{\beta^2 - \alpha^2}}$

вартість перевезення заготовок за маршрутом СМА має мінімальне значення. Підставляючи $\beta = 1,3\alpha$, одержимо:

$$x = \frac{a}{0,69}.$$

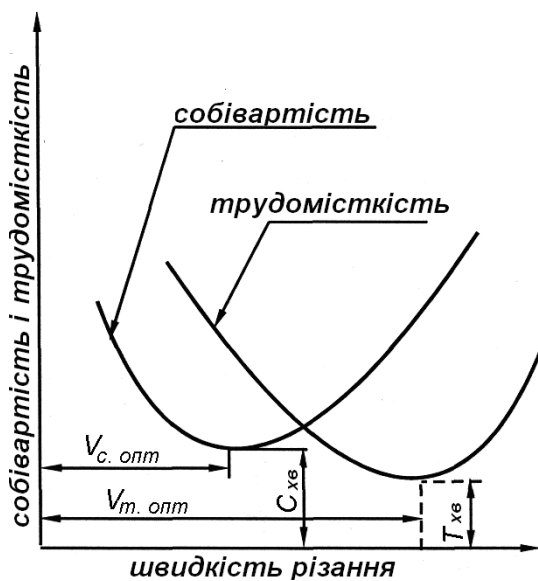


Рис. 6.6. Залежність технологічної собівартості від швидкості різання

Оптимізація режимів механічної обробки. Слід зауважити, що оптимальні режими обробки, які дають найбільшу продуктивність, як правило, не забезпечують мінімальної собівартості.

На рис. 6.6 наведена залежність трудомісткості й собівартості обробки від швидкості різання. Зі збільшенням швидкості різання трудомісткість і собівартість обробки спочатку знижуються, а потім, перейшовши деякі мінімальні значення V_C^0 і V_T^0 , зростають (у зв'язку зі збільшенням спрацювання різального інструмента і витрат часу на його заміну).

При цьому важливо зазначити, 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 від оптимальної швидкості за продуктивністю.

Вибір швидкості різання за найбільшою продуктивністю чи найменшими витратами здійснюється для кожного конкретного випадку з урахуванням 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 зі сталі 12Х2Н4А діаметром $\varnothing 30_{+0,1}$ мм при точності за 7-м квалітетом обробки із шорсткістю $R_z = 6,3$ мкм на токарному верстаті моделі 1К62 і протягування отримані наступні результати [3]:

Технологічна вартість при протягуванні та розточуванні – 0,11 грн. Трудомісткість (штучно-калькуляційний час) при протягуванні – 1,05 хв, а при розточуванні – 3,63 хв.

Наведений приклад показує, що при зіставленні ефективності технологічних процесів не слід обмежуватися тільки визначенням собівартості обробки. З огляду на важливість цих критеріїв оптимальності, слід здійснити пошук компромісу між ними. У цьому випадку слід розв'язувати задачу багатокритеріальної оптимізації.

Розрахунок оптимальних режимів різання за критерієм собі вартості обробки. Вибір оптимальних режимів різання виконаємо за умови забезпечення мінімально можливої собівартості обробки. З урахуванням лише змінних статей витрат собівартість обробки C визначимо за залежністю [47]:

$$C = N \cdot \tau_o \cdot S_1 \cdot k_d + M \cdot \text{ц} , \quad (6.19)$$

де N і M – відповідно кількість виробів, що виготовляються, і використаних інструментів;

τ_o – основний технологічний час обробки, с;

S_1 – тарифна ставка робітника, грн/год.;

k_d – коефіцієнт, що враховує всілякі нарахування на тарифну ставку робітника;

ц – ціна інструмента, грн.

При поздовжньому точінні:

$$t_o = i \cdot \frac{L}{S_{\text{пр}}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{дет}} \cdot \text{П} \cdot L}{V \cdot t \cdot S} , \quad (6.20)$$

де $i = \frac{\Pi}{t}$ – кількість поздовжніх ходів інструмента;

L – довжина ходу інструмента, м;

$S_{\text{пр}} = V \cdot \frac{S}{\pi \cdot D_{\text{дет}}}$ – поздовжня подача, м/с;

Π – величина припуску, що знімається, м;

t – глибина різання, м;

V – швидкість різання, м/с;

S – поздовжня подача, м/об.;

$D_{\text{дет}}$ – діаметр деталі, м.

Чисельник у залежності (6.20) дорівнює об'єму матеріалу, що знімається, а знаменник – продуктивності обробки Q .

Стійкість інструмента T пов'язана із величиною τ_o залежністю $T = n \cdot \tau_o$, де n – кількість деталей, оброблених одним інструментом.

З використанням результатів багатofакторного планування експерименту стійкість інструмента T виражається [49]:

$$T = \frac{C_4}{V^{m_1} \cdot t^q \cdot S^p}, \quad (6.21)$$

де C_4 , m_1 , q , p – постійні для певних умов обробки.

Підставляючи залежності (6.20) і (6.21) у залежність $T = n \cdot \tau_o$, маємо:

$$n = \frac{C_4}{\pi \cdot D_{\text{дет}} \cdot \Pi \cdot L \cdot V^{m_1-1} \cdot t^{q-1} \cdot S^{p-1}}, \quad (6.22)$$

$$M = \frac{N}{n} = \frac{\pi \cdot D_{\text{дет}} \cdot \Pi \cdot L \cdot N \cdot V^{m_1-1} \cdot t^{q-1} \cdot S^{p-1}}{C_4}. \quad (6.23)$$

Позначимо $\mathcal{V}_{\text{сум}} = \pi \cdot D_{\text{дет}} \cdot \Pi \cdot L \cdot N$ – сумарний об'єм матеріалу, що знімається, із всіх деталей. Підставимо залежності (6.20) і (6.23) в (6.19):

$$C = \mathcal{V}_{\text{сум}} \cdot \left(\frac{S_1 \cdot k_D}{V \cdot t \cdot S} + \frac{C}{C_4} \cdot V^{m_1-1} \cdot t^{q-1} \cdot S^{p-1} \right). \quad (6.24)$$

При $m_1, q, p > 1$ має місце екстремальна залежність C від V, t і S . Експериментально встановлено: $m_1 > q > p, m_1 > 1$. Параметри p й q залежно від умов обробки можуть бути більшими й меншими від одиниці. Розглянемо випадок $m_1 > 1, 0 < p < 1, 0 < q < 1$. Залежність (6.19) буде:

$$C = \vartheta_{\text{сум}} \cdot \left(\frac{S_1 \cdot k_D}{V \cdot t \cdot S} + \frac{c}{C_4} \cdot \frac{V^{m_1-1}}{t^{1-q} \cdot S^{1-p}} \right). \quad (6.25)$$

Зі збільшенням t і S собівартість C безупинно зменшується, а зі збільшенням V – змінюється за екстремальною залежністю. Визначимо екстремальні значення V і C з умови $C'_V = 0$:

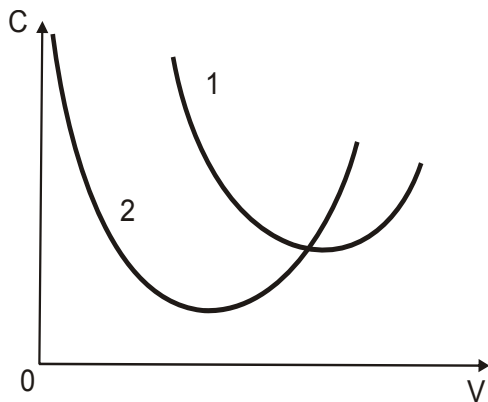


Рис. 6.7. Залежність C від V при $S = \text{const}$ ($S_1 < S_2$)

$$V_{\text{екс}} = \left[\frac{S_1 \cdot k_D \cdot C_4}{(m_1 - 1) \cdot c \cdot t^q \cdot S^p} \right]^{\frac{1}{m_1}}. \quad (6.26)$$

Значення $V_{\text{екс}}$ тим менше, чим більші t й S . Друга похідна C''_V в точці екстремума – додатна величина, тому має місце мінімум функції $C = f(V)$ (рис. 6.7). Підставимо залежність (6.26) в (6.25):

$$C = \vartheta_{\text{сум}} \cdot m_1 \cdot \left(\frac{S_1 \cdot k_D}{m_1 - 1} \right)^{1 - \frac{1}{m_1}} \cdot \left(\frac{c}{C_4} \right)^{\frac{1}{m_1}} \cdot \frac{1}{t^{\frac{1-q}{m_1}} \cdot S^{\frac{1-p}{m_1}}}. \quad (6.27)$$

Собівартість обробки C тим менша, чим менші параметри $\vartheta_{\text{сум}}, S_1, k_D, c$ і більші C_4, t, S . Зменшити $\vartheta_{\text{сум}}$ можна зменшенням припуску Π , що знімається (при заданих значеннях $L, D_{\text{дет}}$). Продуктивність обробки Q в точці мінімуму функції C дорівнює:

$$Q = \left(\frac{C_4 \cdot S_1 \cdot k_D}{(m_1 - 1) \cdot c} \right)^{\frac{1}{m_1}} \cdot t^{\frac{1-q}{m_1}} \cdot S^{\frac{1-p}{m_1}}. \quad (6.28)$$

Зі збільшенням t і S продуктивність Q збільшується. Отже, досягти зменшення C при одночасному збільшенні Q можна збільшенням t і S ,

а також зменшенням $V_{\text{екс}}$ згідно із залежністю (6.26). Підставимо залежність (6.26) у (6.21):

$$T = \frac{(m_1 - 1) \cdot c}{S_1 \cdot k_D}. \quad (6.29)$$

Як видно, оптимальна стійкість інструмента T не залежить від параметрів режимів різання, а визначається економічними параметрами S_1 , k_D , c . Параметри S_1 й k_D впливають на собівартість обробки C і стійкість інструмента T . Отже, між C і T не існує цілком однозначної залежності. Параметр c може змінюватися в більших межах, ніж S_1 і k_D . Тому за рахунок зниження c можна зменшувати параметри C й T , тобто економічно ефективно працювати з мінімально можливими значеннями T . Зменшення c веде до збільшення Q й $V_{\text{екс}}$. Оскільки $q < p$, то глибина різання t в залежність (6.28) входить більшою мірою, ніж подача S . У зв'язку з цим доцільно, в першу чергу, збільшувати t до величини припуску Π , що знімається, тобто обробку виконувати за один прохід інструмента.

Подачу S необхідно збільшувати з урахуванням технічних обмежень, наприклад, потужності верстата, міцності інструмента й привода верстата, шорсткості обробки і т. ін. Очевидно, при заданій площі поперечного перерізу зрізу ефективно збільшити глибину різання й зменшити подачу, що узгоджується із практичними даними. Залежність (6.27) з урахуванням (6.28) набуде вигляду:

$$C = g_{\text{сум}} \cdot \frac{S_1 \cdot k_D}{Q} \cdot \frac{1}{1 - \frac{1}{m_1}}. \quad (6.30)$$

По суті, отримано залежність (6.25), у якій другий доданок виражений через перший. Значення C , яке визначене із залежності (6.30), завжди більше від першого доданка в залежності (6.25) у $\left(1 - \frac{1}{m_1}\right)$ раз. Зменшити C можна, збільшуючи Q шляхом збільшення t й S і зменшення c , відповідно до залежності (6.28). При цьому швидкість різання повинна встановлюватися відповідно до залежності (6.26). Таким чином показано, що зменшення собівартості обробки C досягається за рахунок збільшення продуктивності Q .

Різного роду обмеження обробки, наприклад, точність і шорсткість обробки, приводять до обмеження параметрів режиму різання t й S , і згідно з (6.28), продуктивності Q . Собівартість C за залежністю (6.30) набуває відносно великих значень. Тому зменшити C можна виконанням обробки у дві й більше операції.

Оптимізація умов застосування автоматизованого устаткування. Зниження собівартості і підвищення продуктивності та якості виготовлення деталей належать 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 слід розглянути залежність технологічної собівартості, що враховує витрати на заробітну плату і вартість різального інструмента, тобто аналогічну залежності (6.19):

$$C = N \cdot \tau \cdot S_1 \cdot k_D + M \cdot \zeta, \quad (6.31)$$

де $\tau = \tau_1 + \tau_2$ – основний і допоміжний час обробки, с.

Вважаючи, що $\tau_1 = \frac{l}{S}$, $\tau_2 = 0$, одержимо: $T = n \cdot \tau_1$; $T = \frac{A}{S^k}$, де l – довжина оброблюваної поверхні на технологічному переході, 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 урахуванням $M = \frac{N}{n}$ і $n = \frac{A}{l} \cdot \frac{1}{S^{k-1}}$.

Тоді маємо:

$$C = N \cdot l \cdot \left(\frac{S_1 \cdot k_D}{S} + \frac{\zeta}{A} \cdot S^{k-1} \right). \quad (6.32)$$

Залежно від показника степеня k собівартість зі збільшенням S може зменшуватися ($k \leq 1$) чи змінюватися за екстремальною залежністю ($k > 1$), проходячи точку мінімуму. Прирівнюючи похідну $C'_S = 0$ до нуля, можна одержати екстремальне значення подачі:

$$S_{\text{екстр}} = \left[\frac{S_1 \cdot A \cdot k_D}{(k-1) \cdot \zeta} \right]^{\frac{1}{k}}. \quad (6.33)$$

Мінімальне значення собівартості обробки

$$C_{\text{екстр}} = N \cdot l \cdot S_1 \cdot k_d \cdot \frac{k}{(k-1)} \left[\frac{(k-1) \cdot \psi}{S_1 \cdot k_d \cdot A} \right]^{\frac{1}{k}}. \quad (6.34)$$

Вплив параметрів N і l на $C_{\text{екстр}}$ більш значний порівняно з параметрами S_1 , k_d , ψ і A при $k > 1$. Зменшити собівартість можна за рахунок оптимізації траєкторії переміщення інструмента під час обробки складних деталей на верстатах із ЧПК. Застосування верстатів із ЧПК знижує витрати на виготовлення оснащення, але при цьому додаються витрати на підготовку керівних програм ψ_2 і вартість верстата ψ_1 :

$$C_{\text{екстр}} = N \cdot l \cdot S_1 \cdot k_d \cdot \frac{k}{(k-1)} \left[\frac{(k-1) \cdot \psi}{S_1 \cdot k_d \cdot A} \right]^{\frac{1}{k}} + \psi_1 + \psi_2. \quad (6.35)$$

Відомо, що верстати з ЧПК ефективно застосовують у процесі виготовлення складних деталей.

Під час обробки деталей на багаторізцевих верстатах технологічна собівартість визначається формулою [47]:

$$C = N \cdot l \cdot \left(\frac{S_1}{z} \cdot \frac{k_d}{S} + \frac{\psi}{A} \cdot S^{k-1} \right) + \psi_3, \quad (6.36)$$

де r – кількість інструментів, які одночасно працюють;

ψ_3 – вартість багаторізцевого верстата, грн.

Прирівнюючи похідну C'_S до нуля, можна одержати екстремальне значення подачі багаторізцевого верстата:

$$S_{\text{екстр}} = \left[\frac{S_1 \cdot A \cdot k_d}{(k-1) \cdot r \cdot \psi} \right]^{\frac{1}{k}}. \quad (6.37)$$

Екстремальне значення технологічної собівартості можна подати у вигляді наступної залежності:

$$C_{\text{екстр}} = N \cdot l \cdot S_1 \cdot k_d \cdot \frac{1}{z} \cdot \frac{k}{(k-1)} \cdot \left[\frac{(k-1) \cdot r \cdot \psi}{S_1 \cdot k_d \cdot A} \right]^{\frac{1}{k}} + \psi_3. \quad (6.38)$$

З аналізу отриманих залежностей (6.37) і (6.38) видно, що зі збільшенням кількості інструментів, які одночасно працюють, $S_{\text{екстр}}$ і $C_{\text{екст}}$ зменшуються. Для кожного значення N існує оптимальне значення z . Даний аналіз справедливий для показника степеня $k > 1$. Для $k \leq 1$ відповідно до залежності (6.36) екстремум функції C від S відсутній. За цих умов зі збільшенням подачі S собівартість безупинно зменшується. Обмеженням збільшення S є необхідна якість і точність обробки.

Оцінювання рівня технологічної підготовки виробництва. Вирішення проблеми підвищення ефективності виробництва і створення конкурентоспроможної машинобудівної продукції вимагає широкого застосування прогресивних наукомістких технологій, що забезпечують істотне підвищення продуктивності праці, поліпшення якості й зниження собівартості виробленої продукції. В основу технологічної підготовки виробництва необхідно покласти умову оптимальної собівартості виробленої продукції, що з урахуванням змінних статей витрат, наприклад, металообробного виробництва математично описується [47]:

$$C = N \cdot \tau \cdot S_1 \cdot k + M \cdot \zeta + S_2 \cdot P \cdot \tau, \quad (6.39)$$

де N – кількість оброблюваних деталей, шт.;

M – кількість споживаних інструментів, шт.;

$\tau = z \cdot \tau_0$ – норма часу на обробку однієї деталі, год;

τ_0 – основний час на обробку однієї деталі, год;

z – коефіцієнт, що враховує частку допоміжного часу на обробку однієї деталі стосовно основного часу;

S_1 – тарифна ставка робітника, грн/год;

k_d – коефіцієнт, що враховує всілякі нарахування (податки) на заробітну плату робітника;

ζ – ціна одного інструмента, грн;

S_2 – вартість одиниці енергії, грн;

P – споживана потужність процесу, кВт.

У формулі (6.39) враховані три основні складові витрати, пов'язані із заробітною платою робітника, вартістю інструментів і споживаної енергії під час обробки на верстаті. Перетворимо формулу (6.39) з урахуванням співвідношень:

$$M = \frac{N \cdot \tau_0}{T}; \quad t_0 = \frac{\vartheta}{Q}; \quad P = E \cdot Q; \quad C_0 = \frac{C}{n_1 \cdot \vartheta}, \quad (6.40)$$

де T – період стійкості інструмента до його повного зношування, год;

ϑ – об'єм металу, що знімається при обробці з однієї деталі, м³;

Q – продуктивність обробки, м³/год;

E – енергоємність обробки, Дж/м³ (чи Вт·год/м³);

C_0 – вартість знімання одиниці об'єму металу, грн/м³ (питома собівартість обробки).

Тоді:

$$C_0 = \frac{S_1 \cdot z \cdot k_D}{Q} + \frac{c}{Q \cdot T} + S_2 \cdot E. \quad (6.41)$$

Параметр C_0 визначається сумою трьох доданків, які мають цілком конкретний фізичний зміст: $C_{01} = \frac{S_1 \cdot z \cdot k_D}{Q}$ – витрати на заробітну плату,

пов'язані зі зніманням 1 м³ металу; $C_{02} = \frac{c}{Q \cdot T}$ – витрати за інструментом, пов'язані зі зніманням 1 м³ металу; $C_{03} = S_2 \cdot E$ – витрати електроенергії, пов'язані зі зніманням 1 м³ металу.

Добуток $Q \cdot T$ визначає об'єм металу, що знімається одним інструментом за період його стійкості T . Формула (6.41) містить постійні (S_1 , S_2 , z , k_D , c) і змінні (Q , T , E) величини. Зменшити C_0 можна за рахунок збільшення Q , $Q \cdot T$ і зменшення E .

Слід розглянути приклад розрахунку параметрів C_{01} , C_{02} , C_{03} , C_0 для конкретного технологічного процесу обробки.

Під час шліфування кілець із твердого сплаву торцем алмазного круга на органічній зв'язці досягнута продуктивність обробки $Q = 400$ мм³/хв ($Q = 24 \cdot 10^{-6}$ м³/год). Час роботи круга до його повного зношування дорівнює $T = 0,72$ години. Енергоємність обробки дорівнює $E = 20 \cdot 10^3$ кВт·год/м³. Значення постійних величин: $S_1 = 5,6$ грн/год; $S_2 = 0,2$ грн/кВт·год; $z = 4$; $k_D = 3$; $c = 60$ грн. Підставляючи вихідні дані у формулу (6.41), маємо:

$$C_0 = 2,8 \cdot 10^6 + 3,47 \cdot 10^6 + 4 \cdot 10^3 = 6,27 \text{ грн/м}^3.$$

Найбільшого значення набуває параметр $C_{02} = 3,47 \cdot 10^6$ грн/м³. Параметр $C_{03} = 4 \cdot 10^3$ грн/м³ значно менший від параметрів C_{01} , C_{02} і тому його в розрахунках можна не враховувати. Очевидно, зменшити питому собівартість обробки C_0 можна, в першу чергу, за рахунок зменшення доданка C_{02} . Це досягається, наприклад, застосуванням більш зносостійких алмазних кругів на металевих зв'язках. Експерименти показали, що час роботи такого круга до повного зношування істотно збільшується період стійкості, він дорівнює $T = 6$ годин. Продуктивність Q і енергоємність E обробки при цьому залишаються приблизно тими ж. Ціна алмазного круга на металевій зв'язці більша, ніж алмазного круга на органічній зв'язці й становить $\zeta = 90$ грн. З урахуванням вихідних даних параметр C_0 визначиться так:

$$C_0 = 2,8 \cdot 10^6 + 0,625 \cdot 10^6 = 3,425 \cdot 10^6 \text{ грн/м}^3.$$

Як бачимо, застосування більш зносостійких алмазних кругів на металевих зв'язках дозволило зменшити доданок C_{02} в 5,55 разів, а питому собівартість обробки C_0 – в 1,83 разів.

У цьому випадку параметр C_0 обумовлений складовою C_{01} , тому що $C_{02} \ll C_{01}$. Тому наступним етапом зменшення C_0 необхідно розглядати зменшення доданка C_{01} за рахунок збільшення продуктивності обробки Q або за рахунок зменшення коефіцієнта Z , що визначає частку допоміжного часу обробки стосовно основного часу. Зменшення коефіцієнта Z – це автоматизація операції обробки; застосування, наприклад, верстата-автомата, що забезпечує виконання умови $Z \rightarrow 0$ ($Z < 1$). У цьому випадку доданок $C_{01} \rightarrow 0$, однак при цьому в залежність (6.41) необхідно ввести новий доданок C_{04} , що враховує витрати на придбання верстата-автомата. Природно, це приведе до збільшення C_0 . Ефект буде досягнутий у тому випадку, якщо сума C_{01} і C_{04} буде меншою від початкового значення $C_{01} = 2,8 \cdot 10^6$ грн/м³. З урахуванням доданка C_{04} формула (6.41) буде:

$$C_0 = \frac{S_1 \cdot z \cdot k_D}{Q} + \frac{\zeta}{Q \cdot T} + S_2 \cdot E + \frac{\zeta_1}{N \cdot g}, \quad (6.42)$$

де ζ_1 – ціна верстата-автомата, грн.

Тут $C_0 = \frac{C_1}{N \cdot \vartheta}$ – витрати верстата-автомата, пов'язані зі зніманням

1 м^3 металу. У разі високої вартості верстата-автомата зменшити доданок C_{04} можна за рахунок збільшення кількості оброблюваних деталей N і об'єму металу ϑ , що знімається з оброблюваної деталі, тобто чим більший сумарний об'єм металу, що знімається, $N \cdot \vartheta$, тим менше C_{04} . Отже, придбання верстата-автомата ефективно у випадку великої програми оброблюваних деталей. У процесі обробки невеликої партії деталей основний шлях зменшення питомої собівартості обробки C_0 полягає у зменшенні доданка C_{01} за рахунок збільшення продуктивної обробки Q .

Дослідами встановлено, що зі збільшенням сили притиску алмазного круга до оброблюваної деталі (твердосплавного кільця) продуктивність Q може бути збільшена в 2 рази, тобто до значення $Q = 800 \text{ мм}^3/\text{хв}$ (чи $Q = 48 \cdot 10^6 \text{ м}^3/\text{год}$).

Коефіцієнт $z = 7$. Стійкість круга при цьому зменшується в 3,5 рази і становить $T = 1,71$ годин. Енергоємність обробки E зменшується, однак несуттєво, а отже, доданком C_{03} у формулі (6.41) можна знехтувати. З урахуванням нових вихідних даних маємо:

$$C_0 = 2,45 \cdot 10^6 + 1,1 \cdot 10^6 = 3,55 \cdot 10^6 \text{ грн/м}^3.$$

Як бачимо, перший доданок C_{01} дещо зменшився (від $2,8 \cdot 10^6$ до $2,45 \cdot 10^6$), однак збільшився другий доданок C_{02} (від $0,625 \cdot 10^6$ до $1,1 \cdot 10^6$), що в остаточному підсумку привело до невеликого збільшення питомої собівартості обробки C_0 (від $3,425 \cdot 10^6$ до $3,55 \cdot 10^6$). Збільшення C_0 відбулося внаслідок відносно великого значення коефіцієнта z . Отже, зменшення основного часу обробки τ_0 за рахунок збільшення продуктивності обробки Q (коли зберігається великий допоміжний час обробки) малоефективно з погляду зниження собівартості обробки.

Із цього можна зробити висновок, що найбільш перспективним напрямком зменшення C_0 необхідно розглядати зменшення коефіцієнта z . Лише при невеликому значенні z , коли зміна (збільшення) продуктивності обробки Q практично не приведе до зростання z , з'являється можливість зменшення C_0 за рахунок збільшення Q .

Розглянутий вище приклад є підтвердженням того, що застосування прогресивних наукомістких технологій (якими є, наприклад, технології шліфування алмазними кругами на високоміцних металевих зв'язках з їх безперервним електроерозійним виправленням) виявляється неефективним (або малоефективним) у зв'язку з низьким рівнем автоматизації й механізації праці, а також у зв'язку із застосуванням застарілого технологічного обладнання, заснованого на "ручній обробці", і т. ін. Зменшити коефіцієнт z можна також застосуванням нових кінематичних схем обробки партії деталей з більш високою продуктивністю.

По суті, залежність (6.42) відкриває нові можливості оптимізації технологічних процесів, вибору найбільш ефективних варіантів обробки на основі техніко-економічного аналізу.

Аналізуючи доданки C_{01} , C_{02} , C_{03} , C_{04} для різних видів обробки, можна вийти на оптимальні режими різання, характеристики інструментів, устаткування і т. ін., тобто вийти на проектування оптимальної маршрутно-операційної технології механічної обробки.

Науковий підхід до вибору оптимальних способів обробки. Питання підвищення точності й продуктивності механічної обробки надзвичайно актуальні для машинобудування. Їм присвячені численні наукові праці, в яких установлені аналітичні залежності для визначення параметрів точності й продуктивності обробки з урахуванням пружних переміщень, що виникають у технологічній системі. Стосовно лезової обробки, величина пружного переміщення y описується залежністю [24]:

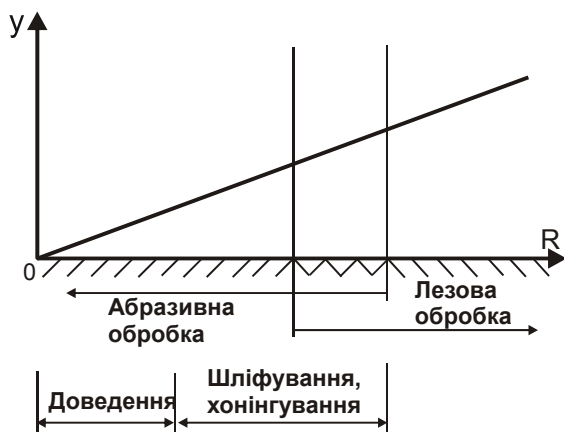


Рис. 6.8. Характер зміни величини пружного переміщення y від R за умови $\alpha = \text{const}$

$$y = \frac{R \cdot b}{c} \cdot (4 \cdot \text{HV})^{0,67} \cdot (\alpha \cdot \tau_{3p})^{0,33}, \quad (6.43)$$

де $\alpha = a/R$;

a і b – товщина і ширина зрізу, мм;

R – радіус округлення вершини різального інструмента, мм;

c – жорсткість технологічної системи, Н/м;

HV , τ_{3p} – відповідно твердість і межа міцності на зрізання оброблюваного матеріалу, Н/м².

Умова стружкоутворення під час різання виконується при значеннях $\alpha > 0,04$. Із залежності (6.43) випливає, що основним шляхом зменшення величини y й відповідно підвищення точності обробки є зменшення радіуса R . Це, зокрема, досягається за рахунок переходу від лезової до абразивної обробки (рис. 6.8). Крім того, зменшити y можна зменшенням ширини різання b і співвідношення $\alpha = a/R$ (товщини зрізу a) до мінімально можливого значення, а також збільшенням $s \rightarrow \infty$ (у тому числі за рахунок застосування методів пластичного деформування металів, наприклад, під час обробки високоточних отворів з використанням рейберів). Залежність (6.43) при поздовжньому (тонкому) точінні (рис. 6.9) набуває вигляду:

$$y = \frac{t \cdot R}{s \cdot \cos \varphi} \cdot (4 \cdot HV)^{0,67} \cdot (\alpha \cdot \tau_{зр})^{0,33}, \quad (6.44)$$

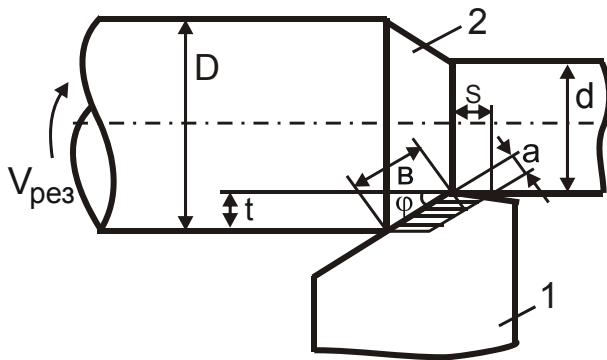


Рис. 6.9. Розрахункова схема поздовжнього точіння:

Умовні позначення: 1 – різець;
2 – оброблювана деталь

де t – глибина різання, м;

φ – кут різця в плані;

$a = S \cdot \cos \varphi$ – товщина зрізу, мм;

S – поздовжня подача на один оберт деталі, мм/об.

Із залежності (6.44) випливає, що зменшити величину y можна зменшенням параметрів t , R і збільшенням s . Однак зменшення глибини різання t веде до зниження продуктивності обробки. Отже, ефективно збільшувати жорсткість s і зменшувати радіус R . Оскільки величина s обмежена, основним шляхом зменшення y слід вважати зменшення радіуса R , тобто необхідно забезпечити високу гостроту різальної крайки інструмента. Це досягається застосуванням як лезових, так і абразивних інструментів. Більші можливості в цьому плані мають алмазно-абразивні інструменти завдяки високій гостроті різальних крайок алмазних зерен. При цьому важливо забезпечити своєчасне видалення з робочої поверхні шліфувального круга зерна, що затупилися, тобто зі збільшеним радіусом R .

Наведена, як приклад, залежність (6.44) відкриває нові можливості аналізу й вибору оптимальних способів фінішної обробки. Наприклад, за зміною радіуса R можна проаналізувати з єдиних позицій усі відомі способи лезової і абразивної обробки з погляду забезпечення найбільшої точності й продуктивності обробки. При цьому велике значення має управління коефіцієнтом α шляхом устанавлення правильного співвідношення між товщиною зрізу a й радіусом округлення різальної крайки інструмента R .

Як відомо, з погляду поліпшення процесу стружкоутворення під час різання коефіцієнт α необхідно збільшувати за рахунок збільшення товщини зрізу a і зменшення радіуса R . Виходячи із залежності (6.44), з метою зменшення пружного переміщення y в технологічній системі коефіцієнт α слід зменшувати до мінімально можливого значення, за якого можливе стружкоутворення. Наприклад, експериментально встановлено, що процес стружкоутворення при мікрорізанні одиничним зерном найбільш інтенсивно відбувається при значеннях коефіцієнта $\alpha > 0,35$. Як відзначалося вище, при $\alpha < 0,04$ процес стружкоутворення припиняється, тобто оброблюваний метал піддається лише пружному й пружно-пластичному деформуванню без відділення стружки.

Таким чином, існує оптимальне (з погляду забезпечення високої точності обробки) значення коефіцієнта α . Однак даний коефіцієнт входить у залежність (6.44), маючи відносно невеликий степінь – 0,33. Тому, вирішувати завдання зменшення величини пружного переміщення y необхідно, насамперед, за рахунок зміни параметрів, які входять у залежність (6.44), маючи більший степінь, – це параметри t , R , s . Як зазначалося вище, більш ефективно – за рахунок зменшення радіуса R . Однак при цьому варто мати на увазі те, що зі зменшенням R збільшується коефіцієнт $\alpha = a/R$. Тому для підтримки на заданому рівні коефіцієнта α необхідно зменшувати товщину зрізу a й відповідно поздовжню подачу S і продуктивність обробки.

Із цього випливає, що між параметрами, які входять у залежність (6.44), існує складний зв'язок. З одного боку, радіус R входить у чисельник залежності, а з іншого боку – у знаменник залежності, але маючи менший степінь – 0,33. У підсумку радіус R входить у залежність в степені 0,67 і його необхідно зменшувати з метою зменшення величини y . Коефіцієнт α

при цьому буде збільшуватися, а продуктивність обробки залишиться незмінною. При такому підході не буде порушуватися умова стружкоутворення $\alpha > 0,04$, тому що коефіцієнт α буде збільшуватися зі зменшенням R , підсилюючи інтенсивність процесу стружкоутворення.

Запропонований теоретичний підхід принципово відрізняється від відомих і описаних у науково-технічній літературі підходів, які не враховують коефіцієнт α у розрахункових залежностях. Через неврахування коефіцієнта α у розрахункових залежностях умови різання, що рекомендуються, можуть перебувати в інтервалі значень $\alpha < 0,04$, де процес різання (стружкоутворення) нездійснений. Урахування коефіцієнта α під час розрахунків, по суті, забезпечує виконання фізичного закону збереження енергії в процесі різання. Аналізуючи залежність (6.44), слід звернути увагу на те, що параметри H_V і $\tau_{зр}$, які визначають твердість і міцність оброблюваного матеріалу, не однаковою мірою впливають на величину пружного переміщення y . Твердість H_V більшою мірою впливає на y , ніж межа міцності оброблюваного матеріалу на зрушення $\tau_{зр}$. Це означає, що пружні переміщення й точність обробки, у першу чергу, визначають твердість матеріалу, тобто чим твердіший матеріал, тим важче досягти необхідної точності обробки.

Із залежності (6.44) можна зробити ще один висновок. Зменшуючи α до значень, нижчих ніж 0,04, ми переходимо в область пластичного деформування металу (без відділення стружки), що приводить до зменшення величини y . Зменшення коефіцієнта α слід забезпечити за рахунок зменшення товщини шару деформаційного металу a .

Співвідношення $t/\cos \varphi$ в залежності (6.44) дорівнює ширині різання. Чим менша ця величина, тим менше y . У цьому плані ефективна, наприклад, обробка вигладжувачем та іншими інструментами для пластичного деформування оброблюваного матеріалу, що забезпечують зменшення ширини обробки. Даний процес обробки може бути здійснений з мінімальними товщинами a , що передбачає вихід практично на нульові значення y . Радіус R при цьому не відіграє тієї визначальної ролі в процесі, як під час різання. Радіус R повинен набувати значень, за яких $\alpha = a/R \rightarrow 0$ (за рахунок зменшення товщини a). Із цього випливає ефективність застосування різних інструментів для обробки металів

пластичним деформуванням, особливо обробки поверхонь отворів, коли контактна жорсткість (що входить у залежність (6.44)) необмежено збільшується $c \rightarrow \infty$ й приводить до виконання умови $y \rightarrow 0$.

Слід розглянути зв'язок між продуктивністю обробки Q і величиною y (під час точіння), виходячи із залежності:

$$Q = a \cdot b \cdot V = (y \cdot c)^3 \cdot \left(\frac{\cos \varphi}{4 \cdot t \cdot R \cdot HV} \right)^2 \cdot \frac{V}{\tau_{зр}}, \quad (6.45)$$

де V – швидкість різання, м/с;

t – глибина різання, м;

φ – кут різця в плані.

На рис. 6.10 наведена структурна схема умов підвищення продуктивності обробки Q . Виходячи із залежності (6.45), найбільше впливають на продуктивність обробки Q величини y й c , що мають третій степінь. Отже, зменшення y (тобто підвищення точності обробки) істотно знижує продуктивність обробки Q і вимагає застосування технологічного устаткування підвищеної жорсткості. Якщо можливості збільшення жорсткості системи обмежені, необхідно зменшити параметри t , R і φ , які входять у залежність (6.45) і мають другий степінь. Зменшення R передбачає застосування лезових інструментів з високоміцних матеріалів, наприклад, синтетичних надтвердих матеріалів: синтетичних алмазів, кубічного нітриду бору і т. ін. При цьому інструмент повинен мати високу стійкість, тобто тривалий час зберігати високу гостроту різальної крайки й виконувати різання з досить малими значеннями радіуса R .

Найбільшого ефекту від зменшення радіуса R можна досягти в процесі абразивної й, головним чином, алмазно-абразивної обробки, застосовуючи дрібнозернисті інструменти й процеси алмазного шліфування, хонінгування, притирання і т. ін. Наприклад, для підтримання в процесі шліфування високої гостроти зерен алмазного круга ефективно використовувати безконтактні електрофізикохімічні методи виправлення круга на металевій зв'язці або комбіновані процеси алмазного шліфування із введенням у зону різання додаткової електричної енергії у формі електричних розрядів або електрохімічного розчинення металевої зв'язки й продуктів обробки.

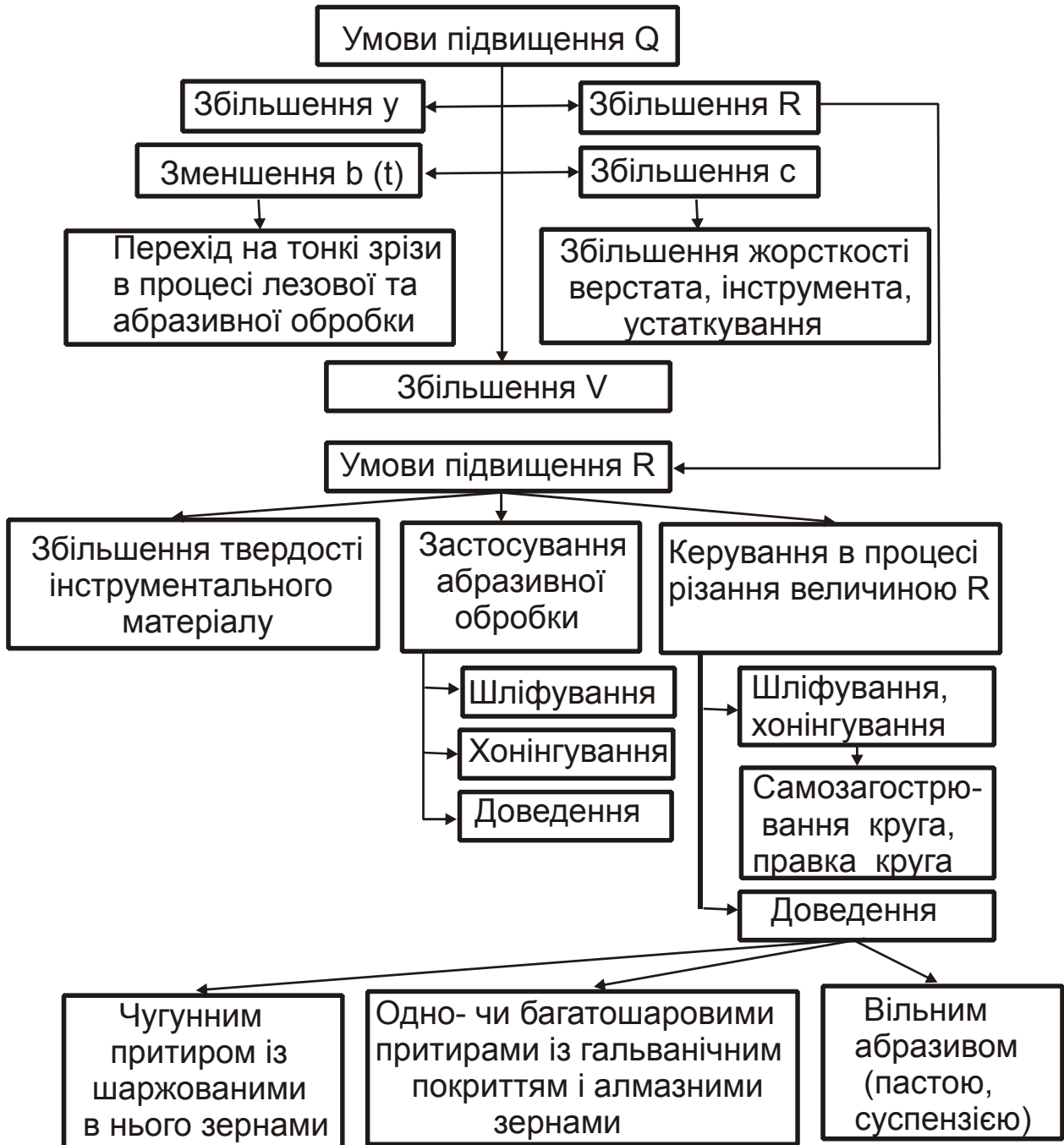


Рис. 6.10. Узагальнена структурна схема умов підвищення продуктивності обробки Q

Можливості процесів шліфування в плані зменшення величини R і відповідно забезпечення високої продуктивності обробки Q при заданому значенні u визначили їх широке практичне використання. На сьогодні існують десятки різних кінематичних схем шліфування, які знайшли застосування для обробки поверхонь деталей і агрегатів різного ступеня складності. Для виявлення їхніх потенційних можливостей важливо з єдиних позицій на

основі створення математичних моделей провести їх порівняльну оцінку, приймаючи як цільову функцію продуктивність, а основне технологічне обмеження – точність обробки.

Із залежності (6.45) випливає надзвичайно великий вплив характеристик оброблюваного матеріалу на продуктивність обробки Q . Зі збільшенням міцності $\tau_{зр}$ й особливо твердості H_V оброблюваного матеріалу продуктивність обробки істотно зменшується. Цим пояснюються складності фінішної обробки деталей з високоміцних матеріалів.

Зі збільшенням швидкості різання V під час точіння прямо пропорційно збільшується продуктивність обробки Q . Однак зростання V обмежене дією теплових процесів, які виникають під час різання і приводять, по-перше, до погіршення якості оброблюваних поверхонь, по-друге, до втрати різальних властивостей інструмента, його зношування, затуплення й збільшення R , що, відповідно до залежності (6.45), знижує продуктивність обробки Q . Отже, зменшення V вимагає застосування інструментальних матеріалів, здатних протистояти дії температурного фактора або забезпечити швидке відведення тепла із зони різання. До них варто віднести синтетичні надтверді матеріали. Зменшити температуру різання можна також за рахунок використання ефективних мастильно-охолоджувальних технологічних середовищ.

Як видно, продуктивність обробки Q визначається механічними й тепловими процесами, що відбуваються в зоні різання, і виражається узагальнено зв'язком параметрів V і R . Чим більше V , тим більший (очевидно) параметр R , що в остаточному підсумку може привести до зменшення продуктивності обробки Q . Виходячи із цього, можна припустити про існування оптимальних співвідношень між параметрами V й R , за яких продуктивність обробки Q досягає максимального значення, тобто пошук ефектів обробки необхідно виконувати на основі аналізу співвідношення параметрів V і R , важливого резерву інтенсифікації механічної обробки. Для реалізації запропонованих шляхів підвищення продуктивності обробки Q необхідно забезпечити умову стружкоутворення під час різання, тобто задане значення $\alpha = a/R$, що визначається із залежності:

$$\frac{a}{R} = \left(\frac{y \cdot c \cdot \sin \varphi}{t \cdot R} \right)^3 \cdot \frac{1}{(4 \cdot HV)^2 \cdot \tau_{зр}}. \quad (6.46)$$

На рис. 6.11 наведена структурна схема умов забезпечення заданого значення a/R . Із залежностей (6.45) і (6.46) впливає однаковий характер впливу параметрів процесу на продуктивність обробки Q і відношення a/R , тобто по суті, відношення a/R визначає продуктивність обробки. Більшому значенню a/R відповідає більше значення Q .

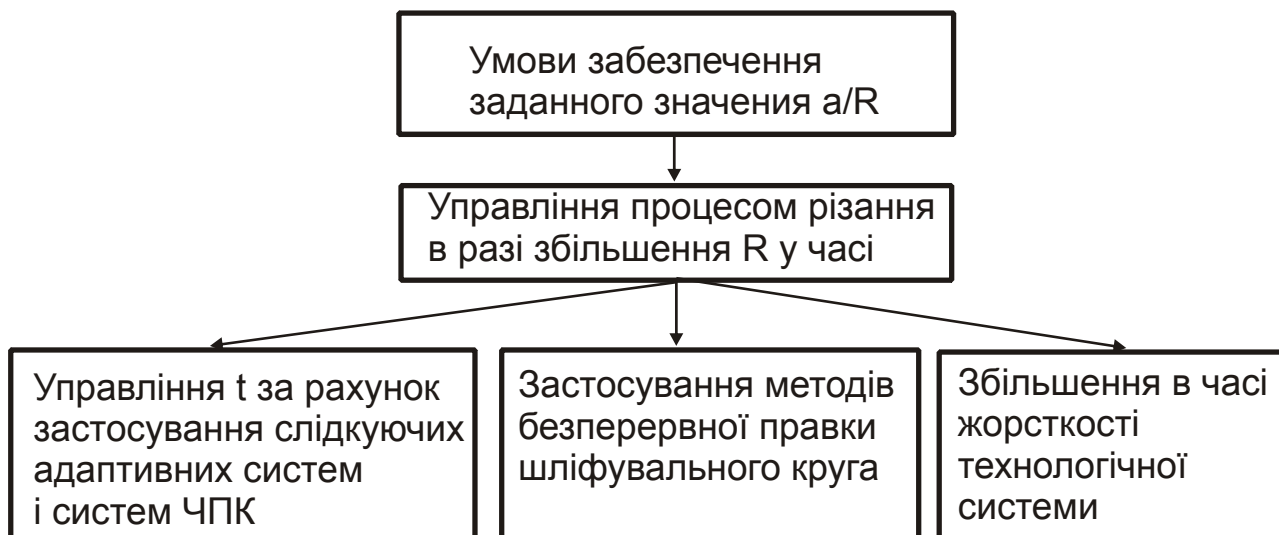


Рис. 6.11. Структурна схема умов забезпечення заданого значення a/R

Проведений теоретичний аналіз визначає основні шляхи вирішення завдань підвищення продуктивності й точності фінішної обробки. На основі запропонованого наукового підходу з'являється можливість цілком обґрунтованого вибору оптимальних способів і умов обробки високоточних поверхонь, проведення науково обґрунтованої структурно-параметричної оптимізації обробки.

6.3. Основи стандартизації та її вплив на ухвалення рішень

Стандартизація значно поширена у всіх промислово розвинутих країнах. Стандарти мають силу закону – вони обов'язкові для всіх підприємств і організацій. Продукція машинобудівних заводів повинна бути стандартизована. До неї висуваються вимоги щодо технологічності, що визначають мінімальні витрати під час виготовлення, експлуатації та ремонту; вимоги щодо точності, взаємозамінності, міцності, твердості, теплостійкості, стійкості проти спрацьовування; вимоги економного використання сировини, матеріалів, палива, енергії і трудових ресурсів у процесі виробництва машин; вимоги щодо електробезпеки, радіаційної

безпеки, аварійної сигналізації. Залежно від характеру машинобудівної продукції встановлюється програма випробувань на надійність, вирішується їх періодичність, правила й умови приймання виробів.

Застосування стандартизації в машинобудуванні пов'язане з особливостями розвитку цієї галузі промисловості. Вона характеризується ускладненням конструкцій машин; щораз вищими робочими параметрами (швидкостями, тиском, температурами та 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 металоємності і застосуванням нових технологічних процесів із широким використанням комп'ютерних технологій у кооперації з багатьма заводами. В умовах ринкової економіки продукція машинобудівних заводів повинна відповідати рівню кращих вітчизняних і закордонних зразків.

В умовах широко розгалужених господарських зв'язків, спеціалізації та кооперування в машинобудівній промисловості проблема підвищення якості й економічності виробництва машин набуває міжгалузевого характеру. Якість кінцевого виробу залежить від якості матеріалів, заготовок, купованих і одержуваних з кооперації вузлів і деталей. Це викликає необхідність узгодження вимог до якості на кожній стадії життєвого циклу виробу. Це узгодження найбільш успішно здійснюється за програмно-цільового методу планування, розробки та впровадження стандартів, що дозволяють встановити вимоги до якісного рівня виробів і його складових частин, матеріалів. Постійно розробляючи і впроваджуючи стандарти, а також систематично переглядаючи діючі, можна планомірно підвищувати якість продукції. Така керівна роль стандартизації передбачається планами розвитку народного господарства високорозвинених промислових країн.

Підвищення технічних характеристик, надійності і довговічності машин, приладів та інших виробів передбачається в планах державної стандартизації, а потім реалізується в стандартах. Проведена при цьому уніфікація і стандартизація оптимальних конструкцій машин і їхніх вузлів та деталей, забезпечення повної взаємозамінності створюють умови для подальшої спеціалізації й 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, неможливе без забезпечення єдності вимірювань.

Закон України від 11 лютого 1998 р. “Про метрологію і метрологічну діяльність” визначає правові основи забезпечення єдності вимірювань. З метою встановлення єдиних організаційних форм і методів проведення робіт зі стандартизації на всіх рівнях управління народним господарством розроблена Державна система стандартизації (ДСС). Вона встановлює структуру органів і служб стандартизації, їхні основні завдання, права й обов'язки (рис. 6.12). Система служб стандартизації побудована на основі управління народним господарством, органічно поєднує в єдине ціле всі ланки, погоджує плани робіт зі стандартизації з перспективними планами розвитку всіх галузей промисловості.

Центральним органом державного управління стандартизацією в країні є Державний комітет України по стандартах, метрології і сертифікації (Держстандарт України), що проводить єдину технічну політику в галузі стандартизації, метрології, якості і сертифікації в країні, спрямовану на вдосконалення виробництва і управління, поліпшення якості продукції і зміцнення обороноздатності країни.

Основними нормативно-технічними документами, що встановлюють єдину організаційно-методологічну основу проведення робіт зі стандартизації, є комплекс стандартів, що визначає єдиний порядок планування, розробки, оформлення, затвердження, реєстрації, видання, звертання і впровадження всіх категорій стандартів, а також нагляду за їх впровадженням і дотриманням.

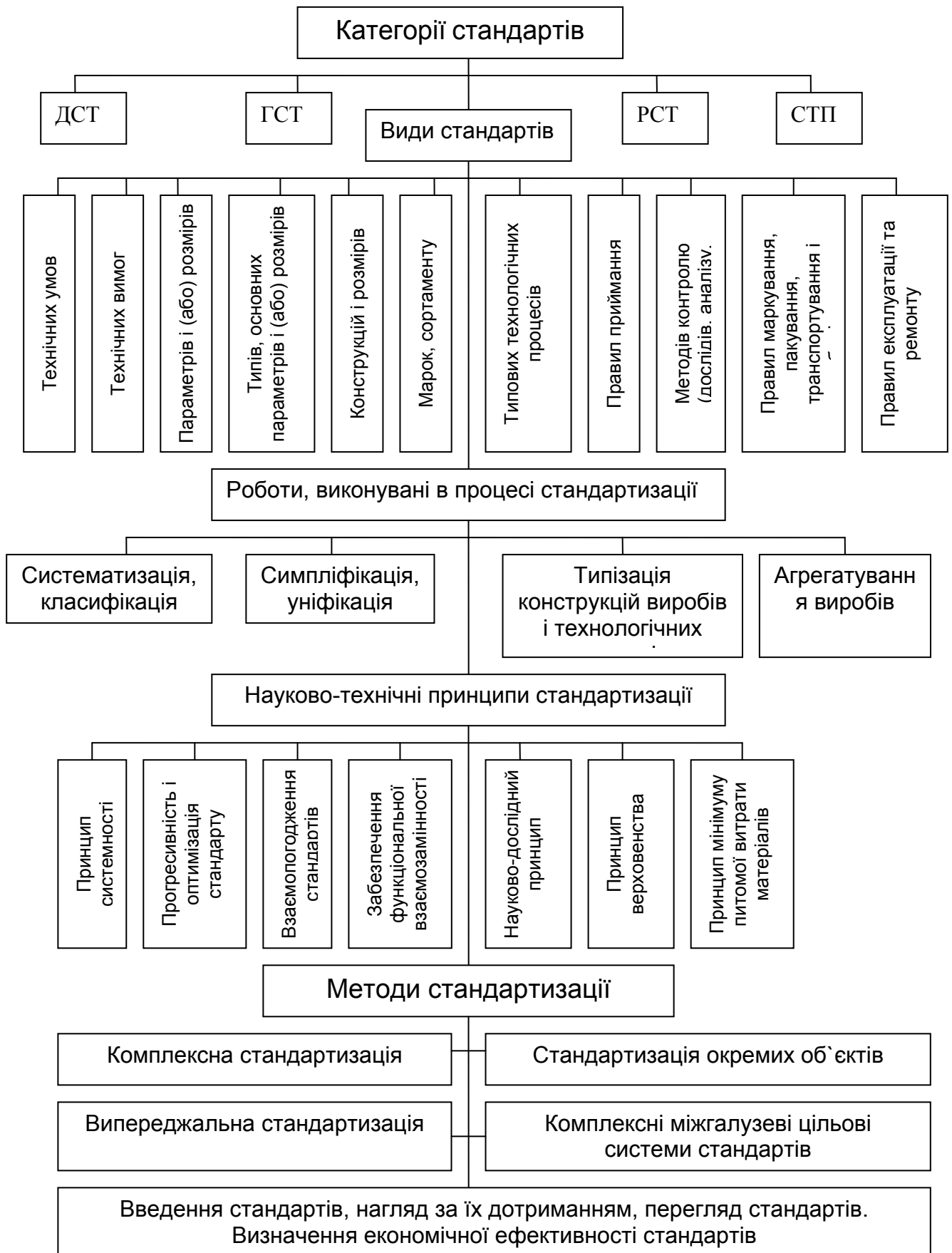


Рис. 6.12. Структура органів і служб стандартизації [6]

Головна мета ДСС – за допомогою стандартів, що встановлюють показники, норми і вимоги, які відповідають передовому рівню вітчизняної і закордонної науки, техніки і виробництва, сприяти створенню конкурентноспроможної високоякісної продукції. Недотримання вимог стандартів, затримка впровадження нових стандартів завдають великих матеріальних збитків господарству. У зв'язку з цим велике значення має державний нагляд за впровадженням і дотриманням стандартів і технічних умов. Державний нагляд за дотриманням стандартів повинен проводитися на стадіях розробки (проекування), виробництва, випробування, збереження, транспортування і ремонту продукції. Нагляд за впровадженням і дотриманням стандартів є одним із напрямків нагляду за якістю продукції, яка випускається. Основними методами, що використовуються в роботах зі стандартизації продукції, є класифікація, селекція й уніфікація. Класифікація продукції полягає в її систематизації і групуванні за найбільш істотними ознаками, такими як геометрична форма і розміри, матеріали і конструктивно-технологічні рішення. Селекція продукції становить 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 доцільної для задоволення потреб людей без проведення додаткових проектно-конструкторських робіт. Уніфікація продукції полягає в раціональному скороченні кількості типів і параметричних (розмірних) рядів продукції однакового чи близького цільового (функціонального) призначення. Вона супроводжується типізацією шляхом комбінації (сполучення) найбільш вдалих конструктивно-технологічних рішень. 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 на рис. 6.13 [7].

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 зі стандартизації однакова і не залежить від того, яку продукцію випускає завод, – прилади чи автомобілі. Робота зі стандартизації на цих заводах будується за одним принципом.

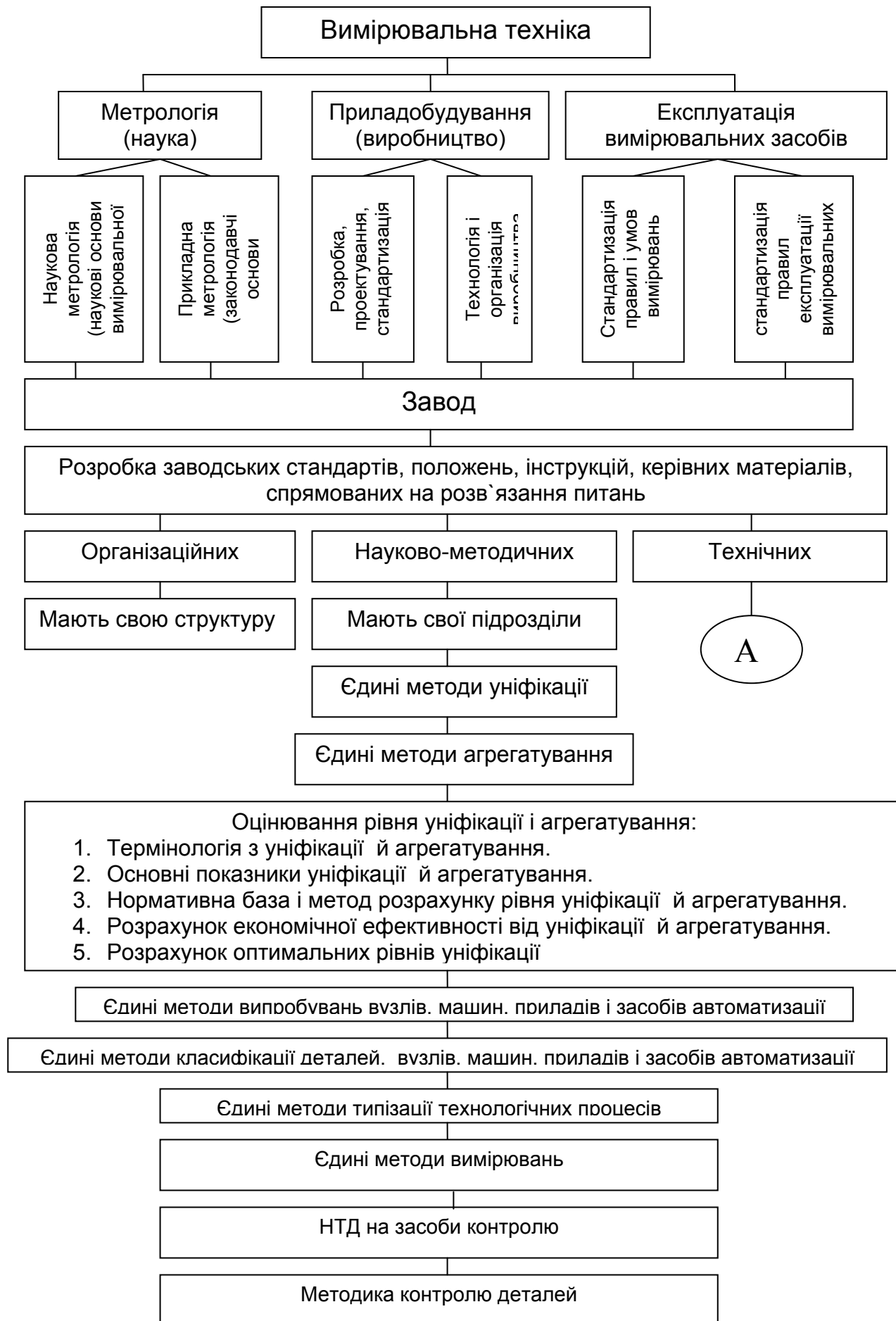


Рис. 6.13. Структурна схема розробки заводських стандартів [6]

Заводи з технологічною спеціалізацією (ливарні, ковальські, механічні, складальні та ін.) мають різний зміст і структуру робіт зі стандартизації. Наприклад, для складального цеху різко скорочується обсяг робіт зі стандартизації об'єктів виробництва, тому що цех одержує готові деталі з механічних цехів, а в ряді випадків вузли і деталі надходять у рамках кооперації з інших заводів. Основними об'єктами стандартизації тут є два види технологічних процесів: складання й випробування. Для заводської стандартизації найбільш доцільний розподіл виробництва 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 та 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 урахуванням потреб даного заводу; доповнювальний 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.

Структура і функції служб стандартизації на заводах. На машинобудівних заводах існують системи побудови служб стандартизації: централізована, децентралізована і змішана. За централізованої системи на заводі створюється відділ стандартизації, що підпорядковується головному інженеру. За даної форми 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.

За децентралізованої системи 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. За цієї системи 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.

За наявності змішаної системи на заводі організовується невеликий центральний відділ стандартизації, що здійснює загальне методичне

керівництво, планування і контроль за діяльністю груп, які входять до складу різних служб заводу і підпорядкованих керівництву цих служб. Працівники зі стандартизації окремих служб центральному відділу не підпорядковуються, що значно знижує роль центрального відділу як керівного і координаційного центру. Держстандартом розроблене типові положення про відділ стандартизації на заводах. Відповідно до цього положення основним завданням служб зі 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 розроблюваних конструкціях; перевірка комплектності документації; перевірка правильності оформлення креслень; перевірка відповідності стандартам правильності постановки розмірів, посадок, різьб та інших конструктивних елементів.

У технічних документах повинна бути забезпечена однаковість стилю, лаконічність викладу, правильність посилань на літературу і стандарти, правильність термінології та позначень.

Основними функціями служб стандартизації на заводах є [6]: 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 у галузі стандартизації; класифікаційний облік і шифровка заводської технічної документації; забезпечення всіх служб підприємства необхідною нормативною документацією зі стандартизації; підготовка висновків за проектами державних і галузевих стандартів; організація робіт з уніфікації, типізації об'єктів і засобів виробництва, технологічних процесів і технічної документації та ін.; організація обліку, збереження, звертання і внесення змін в усі екземпляри стандартів і технічних умов; організація і планування робіт зі стандартизації і контролю за їхнім виконанням.

У процесі впровадження стандартів керуються наступними загальними положеннями: впровадження здійснюється з моменту зародження нових конструкцій – у дослідно-конструкторських бюро і

відділах, у дослідних цехах заводів; одночасно із впровадженням організовується облік застосування діючих стандартних виробів і деталей; за необхідності розробляються і застосовуються заводські стандарти.

Нормативні документи зі 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 під час розробки, виготовлення, експлуатації та збереження 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 в разі необхідності встановити нові вимоги, що перевищують чи доповнюють вимоги державних стандартів. Стандарти науково-технічних та інженерних товариств і союзів України (СНТУ) 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, яка випускається і 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 зі стандартизації слід віднести: міждержавні стандарти; регіональні стандарти; міжнародні стандарти (ISO); національні стандарти. Міжнародні, міждержавні, регіональні й 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 за призначенням, якщо вона не відповідає вимогам, передбаченим діючими стандартами чи технічними умовами.

Відповідальність за відповідність нормативних документів вимогам актів чинного законодавства, а також за їхній науково-технічний рівень несуть розробники й організації, що провели їхню експертизу, а також організації, що затвердили ці документи. Таким чином, стандарти є нормативною базою управління якістю продукції та сертифікації.

Національні системи стандартів. У машинобудуванні діють наступні національні системи стандартів.

ЄСКД – 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 також забезпечує єдність графічних зображень, механізацію й автоматизацію розробки документів. Система ЄСКД забезпечує готовність промисловості до організації виробництва будь-якого виробу на будь-якому підприємстві в найкоротший термін.

ЄСТД – 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 та ін.). ЄСТД 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 залежать 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.

ЄСТПВ – єдина система технологічної підготовки виробництва. Ця система включає 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 із 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 створення 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 і випуск якої освоїти, дотримання цих вимог 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 урахуванням інтересів споживачів і своєчасної заміни такої продукції більш сучасною.

ССБП – система стандартів безпеки праці. Ця система встановлює єдині правила щодо безпеки людей у процесі роботи. Введення системи в дію забезпечує значне зниження виробничого травматизму і професійних захворювань.

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 чинних 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 щодо 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 державного нагляду є: продукція виробничо-технічного призначення, товари народного споживання та 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).

У разі порушення вимог стандартів органи державного нагляду дають вказівки на усунення виявлених недоліків, забороняють відвантаження замовнику недоброякісної продукції, в окремих випадках порушують питання про притягнення до адміністративної чи кримінальної відповідальності громадян, винних у випуску недоброякісної продукції. Одночасно з проведенням державного нагляду здійснюється і відомчий нагляд за впровадженням і дотриманням стандартів.

Сертифікація продукції є найважливішим механізмом управління якістю продукції, вона дає споживачу підтвердження про безпеку, забезпечує контроль за відповідністю екологічної чистоти, а також підвищує її конкурентну здатність. У сучасному світі відбувається поворот від оцінки якості продукції до оцінки систем управління якістю на підприємствах, що виробляють цю продукцію. Сертифікація дозволяє

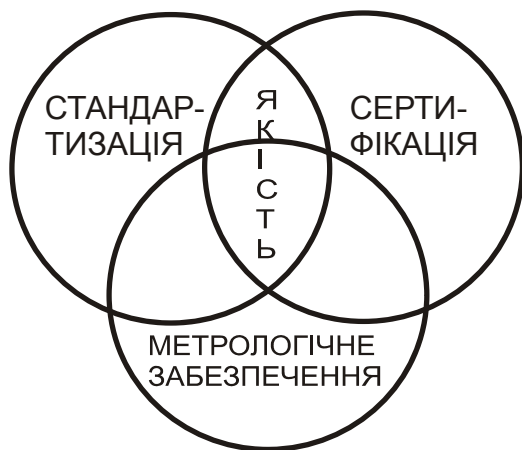


Рис. 6.14. Схема забезпечення якості продукції

оцінити відповідність продукції встановленим вимогам. Контроль параметрів і випробування підтверджують відповідність машинобудівної продукції, що випускається, стандарту ISO серії 9 000 і 10 000. Система забезпечення якості включає: стандартизацію, метрологічне забезпечення і сертифікацію. На рис. 6.14 наведена схема забезпечення якості продукції.

За стандартом ISO 8402-86, якість – сукупність властивостей і характеристик продукції, що додають їй здатності задовольняти встановлені чи запропоновані потреби, а управління 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 основі позитивних результатів випробувань за стандартними методиками.

Держстандарт України є центром з організації робіт зі здійснення державного контролю і нагляду за дотриманням суб'єктами господарської діяльності обов'язкових вимог з стандартизації, метрології та 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, вирішуючи купити продукцію, в першу чергу, звертають увагу на її якість. Конкуренсноспроможною може стати лише та продукція, що має за інших рівних показників меншу виробничу вартість (тобто ціну) і високу якість.

Із підвищенням якості продукції зростають витрати на її виготовлення. Однак новий підхід до створення продукції високої якості полягає в пошуку нових рішень, що забезпечують необхідну якість за мінімальних витрат. Це рішення може бути реалізоване при створенні високих комп'ютерних технологій. Алгоритм виготовлення і контролю конкурентноспроможної продукції наведений на рис. 6.15.

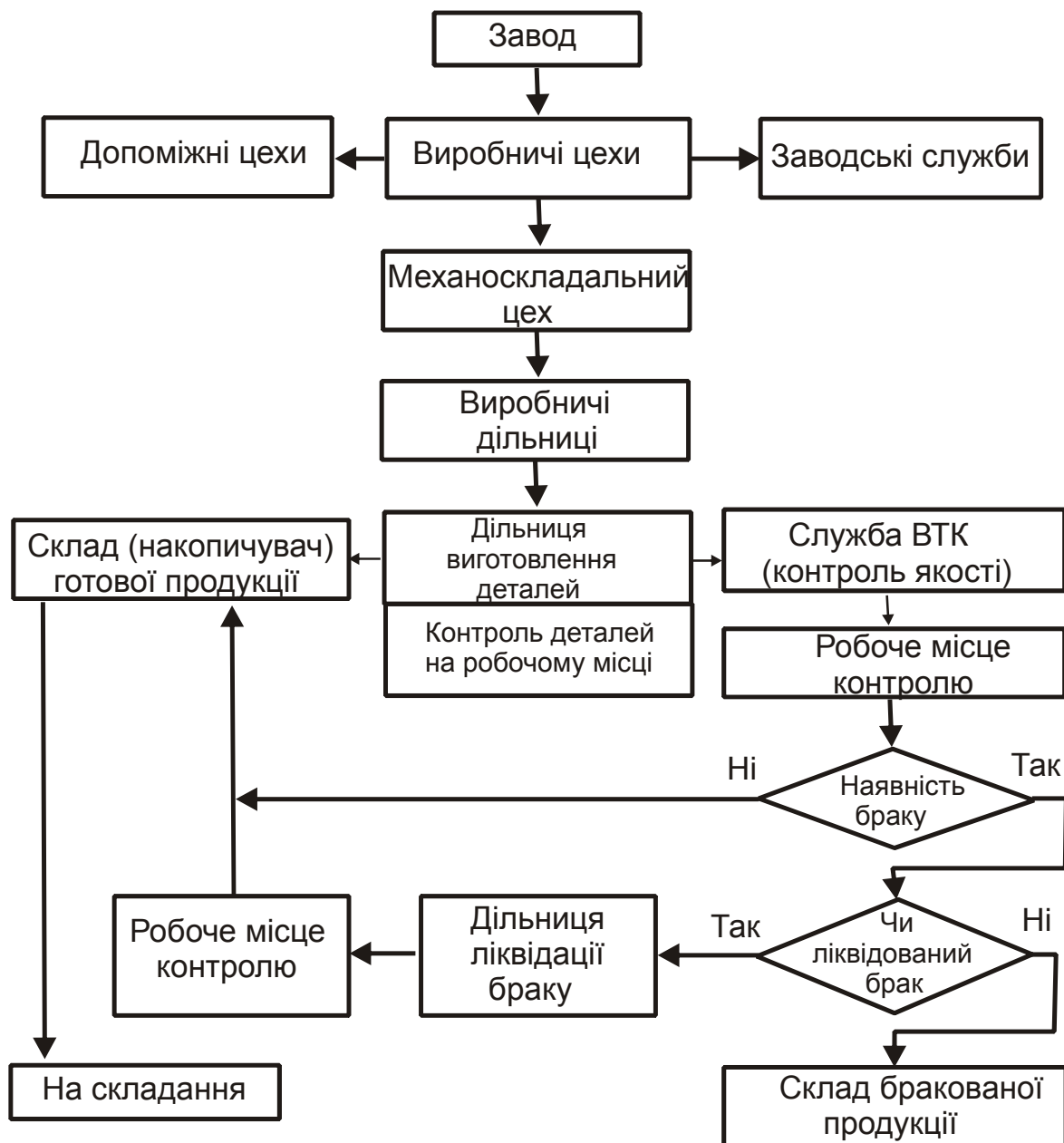


Рис. 6.15. Схема виготовлення і контролю продукції

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 управління якістю охоплює всі стадії й етапи життєвого циклу продукції. Життєвий цикл продукції є сукупністю взаємозалежних процесів зміни стану продукції в процесі її створення й використання.

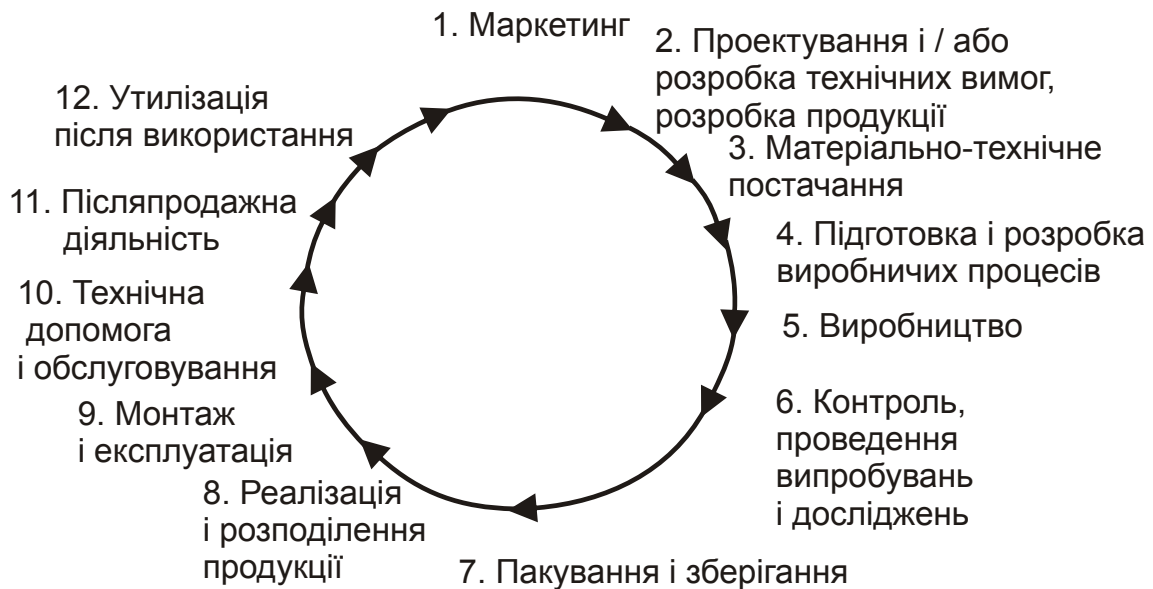


Рис. 6.16. Стадії життєвого циклу продукції

Існує шість стадій життєвого циклу продукції: маркетинг – проектування – виробництво – зберігання – експлуатація (споживання) – утилізація (рис. 6.16). 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 зберіганні повинна бути збережена сформована під час виготовлення якість продукції (в період транспортування, збереження, підготовки до продажу і реалізації). На стадії експлуатації до управління 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.

6.4. Особливості технологічного менеджменту

У процесі конкурентної боротьби підприємств за ринок роль технології зростає значними темпами. Застосовувані методи менеджменту реалізуються підприємствами під впливом змін внутрішнього і зовнішнього середовища. Зріс вплив політичних, соціальних та інших умов на менеджмент підприємств, що не завжди встигає адаптуватися до змін зовнішнього середовища, особливо це характерно для ринкових умов України.

На сьогодні велика кількість промислових підприємств проходить процедуру досудової або судової санаційної реструктуризації.

За таких умов керівництво підприємства повинне прагнути: створити більш гармонійну рівновагу між різними напрямками своєї діяльності; опанувати технологічний потенціал підприємства для більш ефективного його використання в умовах антикризового управління; спрогнозувати на перспективу розвиток технологічних ресурсів свого підприємства. Потенційна конкурентоспроможність підприємства значною мірою закладена в сьогоднішніх технологічних можливостях. Сучасний менеджмент технологічних ресурсів надає підприємствам можливість адаптації до технологічних змін, а іноді й до створення технологічних проривів.

З літератури [18] відома поява нової сфери діяльності підприємств, що одержала назву “менеджмент технологій”, або “менеджмент технологічних ресурсів”. Модель менеджменту технологічних ресурсів базується на шести ключових функціях: активних (оптимізації, збагачення й захисту) і підтримувальних (інвентаризації, оцінювання і спостереження).

Мета оптимізації – постійно піклуватися про отримання користі від технологічного потенціалу.

Мета збагачення – досягати зростання технологічного потенціалу (унікати його девальвації).

Мета захисту – вживати заходів для захисту від зовнішніх і внутрішніх загроз (введення нововведень без їхнього захисту обертається даруванням своїх ідей конкурентам).

Інвентаризація передбачає, що необхідно знати потенціал технологічних ресурсів, яким треба управляти.

Оцінювання означає вміння визначати вартість технологічних ресурсів.

Мета спостереження – проводити виявлення небезпечних сигналів із внутрішнього й зовнішнього середовища. Основна теза прихильників менеджменту технологічних ресурсів: “Ресурси підприємства (персонал і сфера управління; фінансові; технічні й технологічні; маркетингові й комерційні) приблизно рівноцінні”.

У місію менеджменту технологічних ресурсів входить управління технологічними ресурсами; їхня розробка, придбання, використання, експлуатація й відмова від технологічних систем наприкінці їхнього життєвого шляху (утилізація).

У підрозділі 2.2 (частина 1) авторами було показано, що технологічні ресурси підприємства невичерпні, тому що маються на увазі не тільки технології, наявні в активі підприємства, але й технології зовнішнього середовища, які можуть бути інтегровані в технологічні активи підприємства.

Якщо підприємство тільки споживає технологічні системи для підвищення конкурентоспроможності своєї продукції, то воно займається менеджментом технологічних ресурсів. При цьому підприємство не витрачає ресурсів на науково-дослідні розробки, технології розглядаються як зовнішня змінна (технологія в потрібний момент може бути запозичена), а маркетинг є провідним чинником на підприємстві.

Основним завданням технологічного менеджменту є управління впливом технології на менеджмент підприємства для того, щоб продати товар краще, швидше, дешевше й забезпечити підприємству правильну орієнтацію в інноваційному процесі.

Таким чином, технологічний менеджмент як метод управління технологічним потенціалом виробничої системи характерний для таких підприємств, для яких технологічні системи є не тільки споживаними, але й виробленими на підприємстві. При цьому технологія є стратегічною рушійною силою на підприємстві. Розробники технологій, створюючи їх, переслідують наступні цілі:

- підвищити конкурентоспроможність своєї продукції;
- викликати попит на саму технологію, перетворивши її на товар.

У другому випадку підприємство значну частину фінансових ресурсів, персоналу спрямовує на виконання науково-дослідних розробок, намагаючись при цьому підтримувати високий рівень товарообігу. Персонал таких підприємств має більш високий відсоток інженерного складу. Для таких підприємств характерним є технологічний менеджмент, тому що технологія на підприємствах є вирішальною.

Г. К. Крижний [18] звертає увагу на перетин технологічного управління всіма ресурсами підприємства, так само, як і управління якістю, коли підприємство стає на шлях досягнення й підтримки загальної (тотальної) якості (рис. 6.17).

Особливості технологічного менеджменту порівняно з менеджментом технологічних ресурсів [18]:

технологічний розвиток на підприємстві є пріоритетним і на нього виділяються підвищені довгострокові асигнування;

влада перебуває, головним чином, у руках інженерів. Персонал має підвищений рівень технологічної кваліфікації;

відстеження технологічної ситуації в навколишньому середовищі має особливу значущість;

процес науково-дослідних розробок спрямований на досягнення реального результату;

потрібна розробка методики оцінювання вартості ноу-хау;

у сфері комерції й маркетингу підприємство завжди перебуває в ситуації створення ринку нових виробів більш високого рівня.

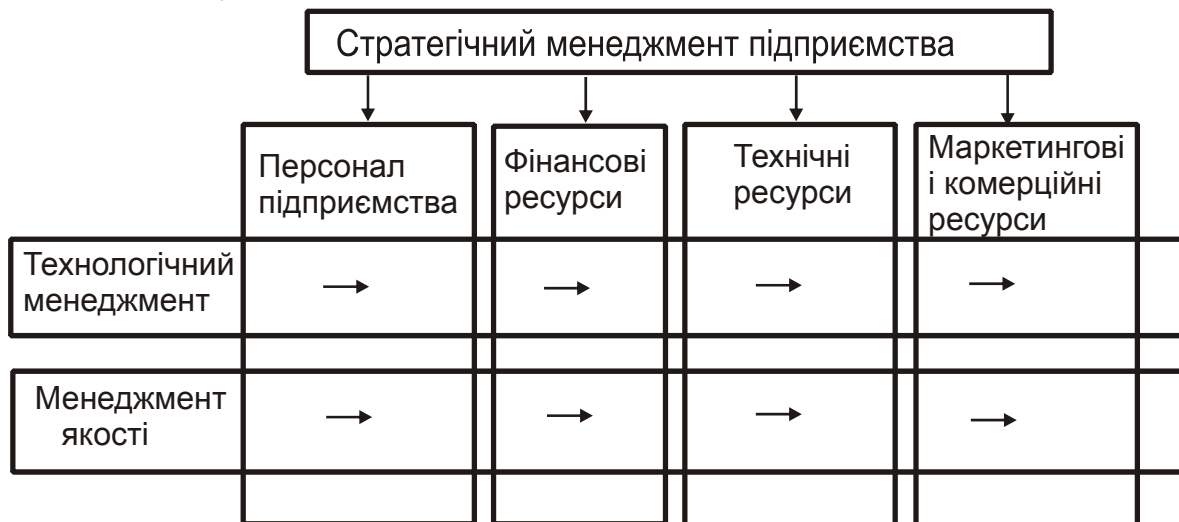


Рис. 6.17. Перетин технологічного менеджменту і управління якістю всіх ресурсів підприємства [19]

Технологічний менеджмент – це набір методів, призначених для поліпшення функціональних характеристик діяльності підприємства. Одним із завдань технологічного менеджменту є ефективне використання технологічних ресурсів. Це ставить перед підприємством нові проблеми: утилізації технологічних систем, товарів, промислових і побутових відходів; ліквідації некваліфікованих робочих місць; зниження безробіття; підвищення кваліфікації персоналу підприємства.

На порядок денний стало питання навчання фахівців, далеких від технології, технологічному менеджменту в наступних напрямках [18]: інтеграція технології в стратегію підприємства; швидкі й ефективні зміни технологічних процесів; вимірювання й оцінювання технологічного

потенціалу; шляхи досягнення успіху технологічних трансфертів; скорочення строку проектування нових товарів; управління складними проектами; управління технологією і її внутрішнім іміджем; управління ефективністю технічного персоналу.

Ці напрями можна подати наступними етапами виробничого процесу: розробки і виготовлення товару, організації виробництва [18].

Перший етап характеризується: проблемою управління розробниками; управління їхньою творчістю; проведенням процесу розробки за плановою собівартістю; забезпеченням технологічності конструкції.

Другий етап характеризується ефективністю створеної підприємством технології порівняно із отриманою ззовні в процесі переміщення виробництва товару. При цьому організація виробництва повинна забезпечити більш високі виробничі показники, ніж у конкурентів. Як приклад можна навести організаційну структуру виробничих підрозділів, яку використали в Японії. “Виробництво без надмірностей” було створене із застосуванням наступних дій [18]:

- “точно в термін” – правило для управління потоками;
- вишукуються шляхи безперервного покращення процесів;
- акцент робиться на наукоємні технології;
- систематично використовуються бази даних для проектування і виробництва;
- створюються партнерські стосунки з постачальниками; також формуються прямі стосунки з клієнтами і постачальниками;
- стає потрібною універсальна кваліфікація робочої сили;
- абсолютний пріоритет віддається швидкості проектування для зменшення мінімальних серій запуску.

“Виробництво без надмірностей” споживає менше прямої робочої сили, менше виробничих площ, менше капіталовкладень у машини, менше часу на розробку нових або на модифікацію наявних продуктів, менше складів і вимагає меншої кількості керівників.

Третій етап характеризується організацією виробничого процесу. У роботі [19] наводяться чотири виміри, що характеризують зв'язок організації й технології: позиція технології серед основних показників підприємства; здатність підприємства здійснювати трансферт технології в якості покупця і продавця; можливість для підприємства зорієнтувати свою філософію на “полегшену” організацію, за якої воно оптимізує використання своїх ресурсів і бореться з марнотратством; організація системи спостереження за розвитком технології в зовнішньому середовищі підприємства.

Вплив технології залежить від положення технології в стратегії підприємства:

технологія посідає провідне місце в стратегії підприємства. Вона одна дозволяє генерувати нові вироби або нові послуги. Вона перетворює організаційну структуру в систему постійних інновацій. Культура підприємства повинна прийняти ризик і можливість помилки;

технологія займає місце звичайного компонента розвитку підприємства, прискорюючи інновацію в процесах і у виробках;

додавання технологічної змінної до вже наявної (“виріб” і “ринок”) веде до більш тонкої сегментації ринку;

поняття технологічної придатності стає таким же значним, як і дослідження попиту з боку споживачів.

Здатність підприємства реалізовувати трансферти технології, тобто позбутися або дуже швидко отримувати виробничі технології, технології проектування або організаційні технології, залежить від двох факторів: здатності підприємства здійснювати стратегічне прогнозування в процесі управління своїм портфелем технологій; наявності досвіду підприємства в управлінні змінами і його здатності постійно навчатися.

Трансферт технології полягає в розпорядженні промисловими знаннями й досвідом як товарами, що мають свій власний цикл життя. Отже, підприємство може купити або передати технології без обов'язкової їхньої прямої експлуатації. При цьому підприємство повинне вирішувати: розробити технологію самому чи придбати її.

“Полегшений” менеджмент використовує мінімум ресурсів і концентрується на статистично значимих подіях. Якщо говорити про ресурси, то зайвими є склади безпеки, логістичні буфери, призначені для амортизації. Японські підприємства пішли на зведення цих запасів до нуля, оскільки вони омертвляють капітал і є марнотратством. Відсікання “зайвого” вимагає досконалого оволодіння виробничим процесом, постійного його вдосконалювання. До мінімуму скорочуються видатки, прямо не пов'язані з виготовленням продукції, зменшується кількість керівників. Зусилля менеджерів спрямовуються на найбільш важливі проблеми й усунення вузьких місць.

Цей управлінський підхід дає три головних вигоди:

1. Скорочення або усунення перебоїв у виробництві, підвищення ефективності машин, зменшення незавершеного виробництва, скорочення строків освоєння нових виробів завдяки досконалому оволодінню технологічними процесами.

2. Легкість управління виробництвом завдяки скороченню кількості контрольованих даних, зростанню довіри до операторів.

3. Зростання прибутку підприємства завдяки зниженню вартості використовуваного капіталу, скорочення управлінського персоналу й підвищення гнучкості технологічних процесів.

Відстеження технологічного розвитку є єдиним ефективним методом передбачення впливу інновацій. Недостатньо довірити цю роботу як додаткове завдання тільки відповідальним за науково-дослідну розробку. Відстеження є справою і служби маркетингу, і виробництва, і розробників. Якщо технологічне спостереження й можна представити як підвищені й неприпустимі витрати, то тільки за умови, що немає чіткого бачення шляхів використання в майбутньому всього того, що повинно відстежуватися. За наявності в підприємства здатності ефективно маневрувати відмова від однієї технології й освоєння нової, придбаної, стає звичайним управлінським актом, що може плануватися й бути рентабельним. Витрати на зміну технології збільшуються на вартість зволікань, пов'язаних із такою заміною.

Питання для самостійного контролю

1. Які чинники впливають на вибір технологічних рішень на підприємстві?
2. Опишіть порядок визначення оптимальних параметрів технологічного процесу.
3. Які існують моделі процесів?
4. Як виконується пошук оптимальності процесу?
5. Назвіть завдання стандартизації.
6. Яким чином стандартизація впливає на якість виробів?
7. Опишіть методи, що використовуються в стандартизації продукції.
8. Які функції служб стандартизації на заводах?
9. Які документи зі стандартизації відносять до категорії нормативних?
10. Які роботи передбачає система забезпечення якості продукції?
11. Назвіть вихідні дані для проектування технології виготовлення деталі.

Література: [9; 21; 27; 40; 41].

Тема 7. Галузеві особливості технологічного розвитку України

7.1. Фактори мікро- і макросередовища

В умовах переходу України до ринкових форм господарювання на функціонування, модернізацію й розвиток систем технологій впливають численні фактори, що належать до мікро- і макросередовища.

Першою групою факторів мікросередовища є підприємства (фірми), їхня технічна оснащеність, підрозділи й ешелони управління, що мають вплив на ухвалення рішень із різних питань функціонування й розвитку технологічних систем товарного виробництва. При цьому під товаром розуміють усе те, що може задовольнити потребу і пропонується ринку з метою залучення уваги, придбання, використання або споживання.

Друга група факторів – це постачальники необхідних матеріальних цінностей і послуг, а також організація їхнього виробництва.

Третя група факторів мікросередовища – торговельні посередники підприємства, фахівці з організації руху товарів, агентства з надання маркетингових послуг і служби кредитно-фінансової діяльності.

Четверта група факторів мікросередовища – це різні клієнтурні ринки: споживчий ринок, ринок виробників, ринок державних установ та ін. Під ринком мається на увазі сукупність наявних і потенційних покупців товару.

П'ята група факторів мікросередовища – різноманітні конкуренти, з якими стикаються підприємства.

До *шостої* групи факторів відносять різні контактні аудиторії. Під контактною аудиторією мається на увазі будь-яка група, що проявляє реальний або потенційний інтерес до підприємства або впливає на його здатність до досягнення поставленої мети. Це контактні аудиторії фінансової сфери у вигляді банків, інвестиційних кампаній, брокерські фірми фондової біржі, акціонерів, які впливають на здатність підприємства забезпечити себе капіталом; це контактні аудиторії державних установ, цивільні групи дії, місцеве населення; контактні аудиторії підприємства у вигляді власних робітників та службовців, керівників і членів Ради директорів.

До *основних факторів макросередовища*, які впливають на системи технологій, відносять політичні, демографічні, економічні, природні, науково-технічні, інноваційні й фактори культурного оточення.

Соціально-економічне становище України. Політична спрямованість України базується на моделі регульованого соціально орієнтованого ринкового господарювання, в якому ринкові принципи поєднуються із сильним державним керівним впливом на макроекономічні процеси й соціальний стан суспільства [6].

Народногосподарський комплекс України характеризується низьким технологічним рівнем, малоефективним використанням ресурсів. Енерго- і матеріалоємність національного доходу України в 1,5 – 2 рази вища, ніж в індустріально розвинених країнах. Наявні технології не відповідають світовим екологічним нормам, а техніка промислових підприємств перебуває у стані зношеності – 50% і вище.

З'явилася нагальна потреба в інтеграції України у світове господарство, впровадження передових технологій за ефективного використання наявних ресурсів і реалізації високого наукового потенціалу, який мають вітчизняні наукові центри.

Прискорення підйому економіки вимагає значних іноземних інвестицій.

Мінерально-сировинні ресурси України. Україна має великі запаси багатьох корисних мінерально-сировинних ресурсів. Так, у її межах перебувало понад 70% загальносоюзних запасів марганцевих руд, 60% – первинних каолінів, 31% – залізних руд, 25% – коксівного вугілля і 15% – звичайного кам'яного вугілля, використовуваного на електростанціях. В Україні розвідані значні запаси паливно-енергетичних ресурсів, серед яких провідне місце займає кам'яне й буре вугілля. Основні запаси кам'яного вугілля зосереджені в Донбасі (98%), серед яких велику цінність становить коксівне вугілля як сировина для коксохімічної промисловості і як дефіцитна експортна продукція. Глибина залягання вугільних шарів цього регіону досягає 1 200 м (у середньому 500 – 750 м), при товщині шарів 0,5 – 2 м.

У Львівсько-Волинському басейні зосереджено до 2% від загальних запасів кам'яного вугілля, що перебуває на глибині 300 – 700 м, з товщиною шарів 0,5 – 1 м. За оцінкою фахівців, забезпеченість України кам'яним вугіллям сягає 200 років. Електроенергетика України базується на теплових електростанціях. Гідроелектростанції виробляють тільки 4% від загальної кількості електроенергії при 9-відсотковій частині потужностей усіх електростанцій. Значне місце в електроенергетиці України зай-мають такі потужні атомні електростанції, як Запорізька, Хмельницька, Південноукраїнська й Ровенська. Однак

розвиток атомної енергетики пов'язаний із рядом проблем і, насамперед, з безпекою їхньої експлуатації й питаннями навколишнього середовища. Україна має у своєму розпорядженні значні запаси бурого вугілля, найбільші з яких зосереджені в Дніпропетровському басейні (2,4 млрд т, із яких 0,5 млрд т можна добувати відкритим способом).

Україна має відносно невеликі запаси нафти, які сконцентровані в Дніпровсько-Донецькому, Прикарпатському, Причорноморсько-Кримському регіонах. Незначні залишки запасів горючого газу, які зосереджені поблизу нафтових, перебувають у Харківській, Дніпропетровській, Полтавській і Сумській областях.

На півночі Кіровоградської й півдні Черкаської областей виявлені великі запаси горючих сланців, які за своїми характеристиками близькі до Прибалтійських. У північній частині України є невеликі запаси торфу, яких вистачить приблизно на найближчі 50 років, але його варто використати як добриво й сировину для хімічної промисловості.

Важливим джерелом теплової енергії в Україні можуть бути термальні води. Практичний інтерес становлять геотермічні ресурси Карпат і Криму. На Закарпатті температура води на глибині 450 м досягає 40°C, а на глибинах 1 000 і 2 000 м – відповідно 70°C і 100°C. У Криму температура води на глибині 1 000 м досягає 70°C, а на глибині 2 000 м – 100°C [6].

Україна має у своєму розпорядженні корисні й багаті запаси залізних руд. Це, насамперед, район Кривого Рогу, де видобувають оксидні руди (червоний і магнітний залізняк) з вмістом заліза від 40 до 70%. Залізні руди із вмістом 30 – 40% заліза (бурі залізняки) зосереджені на Керченському півострові. Запаси розвіданих покладів залізних руд розраховані на 100 років їхнього видобутку.

Особливою гордістю мінеральної сировини України є марганцеві руди і графіт. Найбільшими у світі є запаси марганцевої руди в Нікопольському й Велико-Токмацькому районах. Україна була основним районом залягання графіту. Найбільші поклади цієї сировини для атомної промисловості, виробництва гуми й олівців знаходяться в Кіровоградській, Запорізькій, Дніпропетровській і Донецькій областях. В Україні є найбагатші запаси титанових руд (у Дніпропетровській, Житомирській областях). Іршанський збагачувальний комбінат постачає концентрат Запорізькому титаномагнієвому комбінату. Для виробництва алюмінію сировинною базою можуть бути боксити Дніпропетровської

області, алуніти Закарпаття й нефеліни Приазов'я. Невеликі запаси нікелевих і мідних руд розвідані в різних районах України. Ртуть роблять із покладів руди в районі Донбасу.

Україна має у своєму розпорядженні необмежені запаси мінеральної нерудної, флюсової, вогнетривкої формувальної сировини для чорної металургії й інших галузей промисловості. До цих матеріалів відносяться вапняки, доломіт, плавиковий шпат, каоліни, кварцовий пісок та інші матеріали, різні види сировини для одержання цементу й інших будівельних матеріалів.

В Україні є унікальні родовища кухонної солі (Артемівське, Слов'янське та ін.). Розвідано поклади калійної солі й фосфоритів для добрива. Україна має у своєму розпорядженні граніт, мармур і кольорові камені. В Україні є можливості для створення потужної золотодобувної промисловості. Як промислове відзначено Державним комітетом Мужієвське родовище золота в Закарпатті. Концентрація золота в ньому вважається середньою. В одній тонні руди міститься 6 – 7 мг золота, тобто для одержання 1 кг золота необхідно переробити 140 – 160 т породи. На сьогодні розвідані досить багаті родовища золота (Криворізьке, Нікопольське), які вимагають значних інвестицій.

Таким чином, Україна має досить багаті сировинні ресурси, що дозволяє їй створити потужні сучасні технологічні системи. Слід особливо зазначити, що альтернативними екологічно чистими джерелами енергії є вітрова енергетика й енергетика сонячних кремнієвих батарей. У Миколаївській області успішно пройшли випробування вітрові двигуни потужністю в 2 кВт, які за своїми характеристиками перевершують аналогічні американські установки.

7.2. Технологічні процеси видобутку сировини і енергії

7.2.1. Основні відомості про видобуток, збагачення і використання сировини та палива

Сировина в промисловості. Корисними копалинами називають гірничі породи й мінерали, які видобувають з глибин землі для використання у виробництві промислової продукції. За фізичним станом корисні копалини розподіляють на тверді, рідкі й газові. Залежно від використання та складу корисні копалини розподіляють на рудні, нерудні та паливо.

Руди є корисними копалинами, які у своєму складі мають метал в обсязі, необхідному для його промислового одержання. Поліметалічними називають руди, у складі яких є декілька корисних металів.

До нерудних копалин відносять мінерали, які використовуються для цілей промисловості (для металургії – вапняк, для будівельної промисловості – вапняк, граніт, пісок та інше, для хімічної промисловості – апатити, фосфорити, сіль, слюда та інше).

До палива відносять: кам'яне та буре вугілля, горючі сланці, нафту, газ та інше.

Родовище корисної копалини становить природне скупчення корисної копалини в шарах земної кори. За складом розміщення в земній корі копалини розподіляють на оселені, пластові та гніздові.

Геологічними запасами називають ті корисні копалини, які виявлені в землі розрахунковими методами.

Балансовими називають ті запаси корисних копалин, котрі за якістю відповідають вимогам промисловості, а за кількістю їх видобуток можна вважати економічно вигідним.

Промисловими запасами вважають ту кількість корисних копалин, яку можливо отримати в процесі їх видобутку.

Земна кора на 99,5 відсотків складається з 14 хімічних елементів: кисню – 49,13%, кремнію – 26,0%, алюмінію – 7,45%, заліза – 4,2%, кальцію – 3,25%, натрію – 2,4%, магнію – 2,35%, калію – 2,35%, водню – 1,0% та інших.

Найбільший інтерес для промисловості становить та сировина, яка найбільш часто зустрічається в земній корі і однорідна за складом та властивостями (руди, пісок, вапняк, глина, вода, паливо, газ та ін.).

Рудна сировина за своїм призначенням розподіляється на руди чорних, кольорових та рідкісних металів. Руди чорних металів взагалі є магнітними, червоними, бурими та вапняковими залізняками. Магнітний залізняк (Fe_3O_4) містить до 72% заліза, решта – силікати. Ця руда має магнітні властивості, дуже щільна, важко відновлюється, чорного кольору. Червоний залізняк Fe_2O_3 має до 60% заліза і таку ж пусту породу. В бурому залізняку $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ є до 20 – 65 % заліза, все інше – силікатна порода. Вапнякові руди FeCO_3 мають до 45% заліза з незначними домішками сірки та фосфору.

Руди кольорових металів відрізняються найбільшою кількістю корисного компоненту. Так, мідні руди ділять на багаті й бідні. У багатих рудах кількість міді понад 6%, у бідних – від 4,5 до 2,0%.

Руди рідкісних металів частіше є монометалевими, в яких міститься хром, золото, платина та інше, а також біметалевими, такі як мідно-молібденові, свинцево-цинкові, або поліметалевими, в яких є свинець, цинк, мідь, срібло, золото, нікель, вісмут, уран тощо.

Нерудна сировина, або мінерально-хімічна використовується як для видобутку різних неметалів (сірки, фосфору тощо), солей, мінеральних добрив, так і для будівельних матеріалів. Найбільш важливими видами нерудної сировини можна вважати: самородну сірку, апатити, фос-форити, природні солі (калійні, кухонну сіль, сода), а також алмаз, графіт. До будівельних матеріалів можна віднести: граніт, діабаз, базальт, андезит, пемзу, туф, гіпс, вапняк, вапно, глину, пісок, гравій, піщаник, а також мармур, гнейс, кварцит. Перше місце в земній корі займає кремній, друге – глина. У природному вигляді в будівництві використовуються: мармур, граніт, гравій, вапняк, глина, гіпс, базальт, діабаз. Інші матеріали використовують для виробництва цементу, бетону, цегли, фарфору, фаянсу, кераміки, а також різних хімічних речовин.

Паливна мінеральна сировина. Вугілля є паливом, у якому до 55 – 97% вуглецю, від 2 до 6% – водню, а інше – кисень, азот, сірка, фосфор, поташ – можуть займати від 5 до 30%. Залежно від рівня зміни кількості органічних компонентів вугілля розподіляють на: антрацит, кам'яне та буре вугілля.

Антрацит має 90 – 97% вуглецю, 1 – 3% водню, 1% кисню і азоту, теплотворну здатність 6 500 – 7 500 ккал/кг. Він займає майже 3% всесвітніх запасів вугілля. Кам'яне вугілля належить до коксувальних та енергетичних ресурсів і найбільш поширене за використанням у техніці. Буре вугілля використовується, головним чином, для енергетичних цілей, а також як сировина для хімічної промисловості.

Паливні сланці використовують для одержання мінеральних масел, бітуму, горючих газів. Зі сланцевого масла одержують смолу, бензин, лак, а золу і шлак використовують для виготовлення цементу, цегли, матеріалів для покриття будівель тощо.

Торф має зольність від 5 до 20% і теплоту згорання 2 500 – 3 500 ккал/кг. Він використовується як місцеве паливо, а також для одержання воску, парафіну, фенолу, антисептиків і як добриво.

Рідке паливо – нафта – становить складну суміш вуглеводів і органічних кисневих, азотних і сіркових сполук темно-коричневого кольору, питомою вагою 0,73 – 1,04 г/см³. Нафта питомою вагою до 0,9

г/см³ має назву легкої, а з більшою питомою вагою – важкої. Теплотвірна здатність нафти 10 000 – 11 000 ккал/кг. За місткістю головного вуглеводневого компонента нафти підрозділяються на три групи: метанова (парафінова), нафтенова й ароматична. Існують і змішані метано-нафтенові нафти.

Газове паливо підрозділяють на природне і штучне. Природне паливо, у свою чергу, поділяється на природні гази, які одержують з газових родовищ, і нафтові промислові гази, які одержують у процесі видобутку нафти. Газ складається, головним чином, з метану, пропану, бутану, ізобутану, етану, азоту, сірководню, вуглекислого газу, парів, інших вуглеводів, гелію і аргону. Теплотвірна здатність газів 7 500 – 9 000 ккал/м³. Газомісткість нафти досягає 170 м³/т. Тиск газу в родовищах дуже різний і досягає 200 ат.

Рослинна і тваринна сировина об'єднує: дерево, бавовну, масло, жир, молоко, шкіру, зерно, картоплю та інше, які переробляють або в продукти харчування, або в продукти промислового чи побутового призначення. Тваринна і рослинна сировина збирається, головним чином, сезонно, потребує виняткових умов збереження, розділення й очищення, у зв'язку з чим виникає чимало відходів. Дуже важливе значення надається комплексній переробці сировини. Наприклад, насіння соняшника використовують для одержання олії, стебла – для одержання поташу, лушпайки – для одержання хімічної речовини фурфуролу, а жмих – для годівельних речовин тваринам і крохмалепатоконих речовин. Комплексне використання дерев'яних порід з поділом їх на деревину, кору, коріння, листя має велике значення для одержання різноманітних хімічних речовин та будівельних матеріалів.

Поняття про видобуток корисних копалин. Видобуток копалин попереджує їх розвідка, яка ділиться на попередню і детальну. Попередня розвідка (свердління, копання шурфів, штолень, штреків) дозволяє виявити форму залягання корисної копалини, кількість, мінералогічний та хімічний склад, потужність копалин. Детальна розвідка повністю виявляє кількість корисних копалин, умови їх розміщення, а також розподіл пластів у землі.

Існує декілька методів розвідування корисних копалин: сейсмометричний – заснований на зміні швидкості проходження в землі гнучких коливань від місцевих вибухів; гравіметричний – заснований на зміні сили ваги маси в різних частинах землі залежно від центра її поверхневих шарів; магнітометричний – заснований на зміні магнітного

силового поля на ділянках землі, де залягають руди магнітних металів; електрометричний – заснований на різних величинах електропровідності гірничих мінералів.

Видобуток корисних копалин виконується підземним (шахтним) та відкритим способами.

Підземний спосіб видобутку починають з проходки – видобутку породи і встановлення стволу, закріплень, а також виконання підготовчих робіт. Потім починають виконувати очисні роботи – вибірку корисних копалин. Видобуток кам'яного вугілля здійснюють гірничими комбайнами, врубово-навальними та свердлильними машинами, а також використовують вантажно-транспортні машини, рухомі механізовані кріплення, закладні машини. Підземним способом видобувають руди і вугілля. Руди мають велику міцність, у зв'язку з чим кріплення виробіток в деяких випадках не виконують.

Відкритим способом видобувають вугілля, руди, мінеральні, будівельні матеріали, торф. Операції з видобутку підрозділяють на розкривні і видобувні, які об'єднують відбій, навантаження, доставку і розвантаження зайвих речовин і корисних копалин.

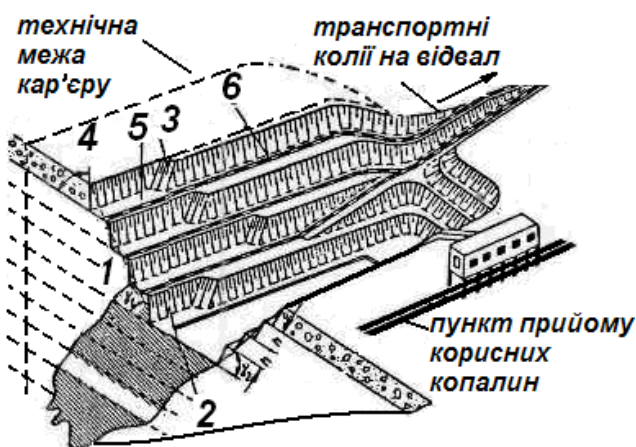


Рис. 7.1. Схема вугільного кар'єру

Залежно від глибини родовище поділяється на горизонтальні шари (рис. 7.1), які розробляють окремо і яким у міру вироблення надають форми сходинки – уступів у шарах, що розкривають 1 та видобувають 2. Торець уступу 3 називають забоєм. В горі уступу – верхній майданчик 4, знизу – нижній майданчик 5. На майданчиках розмішують гірниче устаткування

та залізничні колії 6. У процесі виконання розкривних робіт зайві породи спрямовують у пустий простір відпрацьованих кар'єрів (внутрішні звалища) або вивозять їх за територію саморозвантажувальними вагонами в зовнішні звалища. Відокремлення і розпушування міцних порід (руди, вугілля) виконується вибухом, для чого свердлять шурфи, в яких розміщують вибухову речовину. Збирають корисні копалини різними машинами (екскаваторами, саморозвантажувачами, конвеєрами та іншими). Собівартість видобутку корисних копалин відкритим способом значно менша, ніж підземним.

Видобуток нафти виконується двома способами буріння свердловин: ударним і круговим. Ударний спосіб використовується рідко, а круговий буває роторним і турбінним. Найбільш поширене турбінне буріння за допомогою турбобура, в якому основною частиною є багатоступінчата турбіна, яка перетворює енергію рідини, яка протікає крізь неї, в механічну і приводить до обертання валу – турбобура, на кінці якого є долото для руйнування породи.

Існує декілька способів експлуатації нафтових свердловин: фонтанний, компресорний та глибинно-насосний. Найбільш поширеним є фонтанний спосіб, у якому пластовий тиск перевищує тиск нафти в самій свердловині.

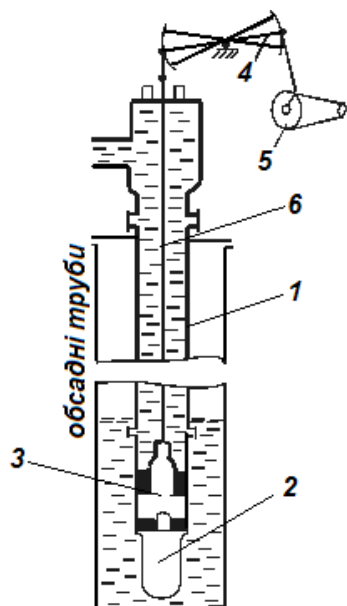


Рис. 7.2. Схема роботи насосної установки

Компресорний спосіб використовують тоді, коли свердловина перестає фонтанувати. Тоді в свердловину вводять дві колони труб (частіше концентрично). Стиснутий газ або повітря нагнітають в свердловину по одній трубі, а по другій підіймається газонафтова суміш, яку відсилають до газорозподільвача.

Глибинно-насосний спосіб використовують тоді, коли фонтанування немає у зв'язку з дуже слабким тиском (рис. 7.2).

Принцип дії устрою наступний: у свердловину вводять колону насосних труб 1 діаметром від 51 до 148 мм, на кінці якої розміщено фільтр 2, який захищає насос від потрапляння в нього піску. Газ відходить через обсадні труби. Усередині труб встановлено

плунжерний насос 3, який працює від балансиру 4 та електродвигуна 5. Балансир, гойдаючись, надає зворотного поступального руху штангам 6, які сполучені з плунжерним насосом 3. Продуктивність насосів – від 4 до 300 м³ нафти за добу.

Газ видобувають через свердловини, як і під час видобутку нафти. Від свердловин газ іде в сепаратори, де він вивільняється від води та механічних домішок, потім його транспортують у збірний колектор, який є газозбірним кільцем усього промислу. Звідти газ подають на компресорні станції магістрального газопроводу для передачі споживачам.

Збагачення сировини – це процес відокремлення зайвої породи від сировини, що приводить до одержання концентратів (корисних

мінералів) і хвостів – відходів. Існує гравітаційне, флотаційне, електростатичне та електромагнітне збагачення.

Гравітаційне збагачення засноване на використанні різниці в питомій вазі корисних копалин і зайвої породи. Це збагачення використовується в процесі видобування золота, платини, вольфраму та інших речовин.

Рідинне гравітаційне збагачення здійснюють у шлюзах, осадкових машинах та на концентраційних столах. Збагачення в шлюзах має наступний зміст: суміш дуже роздробленої руди в розчині (пульпу) подають на похилий шлюз, де має місце розподіл частинок у зв'язку з різною питомою вагою. Більш важкі частинки (руда) осідають на дно, а легкі (зайва порода) відходять з потоком рідини. Збагачення на концентраційних столах виконується аналогічно, тільки відрізняється безперервним розвантаженням концентрату у зв'язку з коливанням концентраційного стола.

В осадкових машинах відокремлення мінеральних частинок відбувається під дією пульсівного підйомного струменя води. Дуже часте повторення змінного руху струменя води сприяє відокремленню і концентрації важких частинок у нижніх шарах машини, а зайва порода зноситься рідиною.

Повітряне гравітаційне збагачення виконується на основі розділення корисної та пустої породи в потоці повітря. Сепаратори, осадкові машини та концентраційні столи працюють так, як і в процесі рідинного збагачення.

До фізико-хімічних методів збагачення відносять: флотацію, яка заснована на різному змочуванні корисних мінералів і зайвої породи сировини. У ванну з рідиною (водою, керосином, рідким склом тощо) засипають подрібнену до 0,3 – 0,5 мм руду. Через днище ванни подають повітря, яке, проходячи крізь рідину, утримує пульпу в нерухомому стані. При цьому, частинки, погано змочені рідиною, приклеюються до бульбашок повітря і накопичуються на поверхні ванни, утворюючи піну. Змочені частинки осідають на дно. Піну збирають ковшами, а частинки з дна розвантажують у посуд.

Для поліметалічних руд використовують селекційну флотацію, при якій спочатку за допомогою спеціальних флотореагентів відокремлюють один компонент, а потім таким же чином послідовно за допомогою нового флотореагенту відокремлюють другий компонент.

Електромагнітне збагачення засноване на властивостях частинок мінеральної сировини заряджатися в електростатичному полі різними за розміром і полюсами зарядами залежно від хімічного складу і фізичного

стану сировини. Під впливом елементів сепаратора частинки з різними зарядами одержують різні траєкторії руху і розділяються (рис. 7.3).

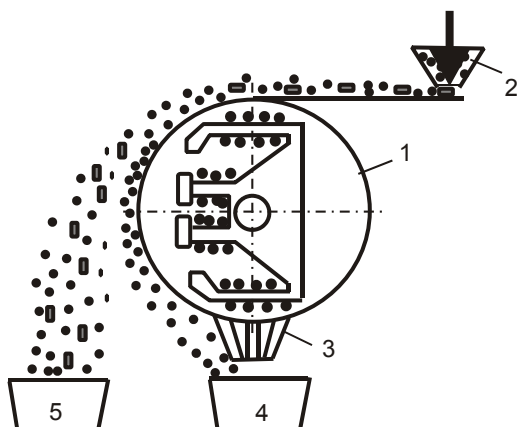


Рис. 7.3. **Схема роботи магнітного сепаратора**

Під час обертання барабана 1, всередині якого змонтовано магніт, частинки з магнітними властивостями 2 прилипають до поверхні барабана, а потім відокремлюються металевою щіткою 3 і потрапляють у ящик 4, а зайва порода відлітає в ящик для сміття 5.

Якщо є дуже незначні включення магнетитів (Fe_3O_4) в руді, її дуже подрібнюють (до 0,08 мм) і пропускають разом із водою крізь закритий магнітний сепаратор, у якому магнітні частинки

забираються барабаном знизу вгору, а немагнітні – змиваються водою. З по-верхні барабану магнітні частинки знімають металевими щітками і подають у приймач концентратів.

Хімічні способи збагачення засновані на різних властивостях розділення частинок сировини в розчині і відокремленні таким чином корисних компонентів. Такий спосіб дозволяє відділити золото від срібла внаслідок реагування їх зі ртуттю, ціанистим натрієм та хлором. Обпалення мінералів з метою розплавлення карбонатів або відділення кристалізаційної води, обпалення органічних сумішей також є типовими хімічними засобами збагачення.

Комплексне використання сировини. Більшість корисних копалин становлять комплексну сировину, і безвідходна їх переробка дозволяє одержати з однієї породи різні метали, неметали, кислоти, солі, будівельні матеріали та інше. Прикладом комплексної переробки твердого палива може бути коксохімічне виробництво, в якому із вугілля крім коксу та коксового газу одержують сірковуглець, аміак і велику кількість органічних сполук, які використовують для одержання пластмас, фарб, штучних тканин, вибухових речовин, ліків тощо. Переробка нафти дозволяє одержати бензин, мастила, метан, етан, пропан, бутан, пентан, етилен, пропілен, бутилен, ацетилен, сірководень, а також сировину для одержання пластмас, каучуку, хімічних тканин, кислот, фарб та ліків.

Актуальною проблемою є заміна харчової сировини, яка використовується в техніці, на мінеральну. У промисловості ще широко використовують зерно, картоплю – для одержання спиртів, тваринні й

рослинні жири – для одержання оліфи, мила, мильних засобів, яйця – для одержання альбуміну, який використовують для оздоблення шкіри. Усі ці виробництва можна перевести на штучну хімічну сировину.

7.2.2. Енергія і вода в промисловості

Вода в промисловості. Головні запаси води знаходяться в океані, прісна вода займає всього 3% від загальних запасів. Добова потреба в прісній воді на одну людину у США та Європі дорівнює 600 – 700 л, а в малорозвинутих країнах – до 50 л. Основними джерелами води вважають поверхові (ріки та озера), повітряні (зливи) та підземні (ключові, мінеральні, артезіанські).

Прісною вважають воду, в 1 кг якої менше 1 г солей (кальцію, магнію, натрію, калію, а також сульфатів і хлоридів). Вода містить гази: кисень, сірководень, азот, вуглекислий газ, сполуки сірки з киснем, а також бактерії, пісок і глину. Для питної води має значення токсичність сумішей, кількість мікробів, запах, колір і смак.

Для промислової води важливе значення має жорсткість, склад і кількість розчинених газів, а також механічні домішки. Жорсткість відображає кількість солей кальцію і магнію в воді. Розрізняють тимчасову жорсткість (це гідрокарбонати вапняку і магнію, які легко зникають у процесі кип'ятіння), постійну (це сульфати, хлориди й нітрати вапняку і магнію), які під час кип'ятіння не зникають, а також загальну жорсткість (це сума тимчасової і постійної жорсткості).

Кількість мінеральних та органічних домішок визначають за сухим залишком (мг) внаслідок випарювання 1 літра води при температурі 110°C до постійної маси. Залежно від кількості іонів кальцію і магнію природні води розподіляють на п'ять класів: дуже м'яка, м'яка, помірно жорстка, жорстка, дуже жорстка.

Водопідготовка починається з відстоювання, освітлення, надання безколірності шляхом використання коагулянтів (колоїдних домішок позбуваються використанням хлоридів або сульфатів алюмінію чи заліза). Під час коагуляції виникають колоїдні суміші, від яких звільняються фільтруванням.

Зниження кількості хвороботворних мікробів досягається хлоруванням води, а також озонуванням і кип'ятінням. Також це досягається обробкою води ультрафіолетовим опромінюванням.

Пом'якшення (звільнення від солей) досягається дистиляцією, яка використовується обмежено. Поширене пом'якшення води виконується хімічним, фізичним та фізико-хімічними способами. Існує декілька хімічних способів пом'якшення води: вапняковий (використовується гашене вапно), содовий (використовується кальцинована сода), натронний (використовується їдкий натр), фосфатний (використовується три натрій-фосфат). Дуже часто використовують вапняково-содовий розчин у суміші з фосфатним.

Фізичними способами пом'якшення води вважають: кип'ятіння, дистиляцію та виморожування. Електрохімічний метод очищення води базується на використанні електродіалізу та електроосмосу. Дегазація води проводиться хімічними та фізичними способами. Нейтралізація використовується для зворотної води, яка перенасичена кислотами та іншими хімічними речовинами. Тут використовують вапно, соду та інші препарати. Існує декілька способів очищення стічної води. Механічний – заснований на відстоюванні та фільтруванні під тиском через напівпроникні мембрани. Фізико-хімічні методи засновані на використанні флотації, екстракції і адсорбції шкідливих домішок, а також звільнення від них випарюванням. Наприклад, фенол і анілін зі стічної води відокремлюють з водяною парою або екстракцією розчинення продувкою води. Найкращими адсорбентами є активоване вугілля та іонічні смоли.

Хімічні способи засновані на використанні окисно-відновлювальних та електрохімічних процесів у реакціях нейтралізації та перетворення шкідливих речовин у неактивну зону, пропущення кислих вод через спеціальні фільтрати з вапняком, доломітом та магнезитом. Для знищення шкідливих мікробів у стічних водах широко використовують концентроване хлорування. Хімічне очищення води, як правило, виконується в комбінації з механічним. Біологічне очищення води виконується за допомогою мікроорганізмів і є одним із найбільш ефективних очищувальних.

Енергія і її використання в технологічних процесах. Енергія необхідна для виконання цілеспрямованих та допоміжних технологічних операцій у виробничому процесі. У промисловості широко використовується електрична, ядерна, теплова та хімічна енергія. Електрична енергія використовується для одержання механічної енергії, нагрівання, проведення електрохімічних реакцій, використання електростатичних явищ у техніці (осідання частинок пилу, туману). Величезне значення електричної енергії в електрометалургії сталі,

кольорових металів, феросплавів. Джерелами електричної енергії є гідроелектростанції, теплові й атомні електростанції. Теплова енергія виникає в процесі згорання палива і широко використовується для опалення приміщень, виконання технологічних процесів (підігрівів, розплавлення, випарювання, перегонки). Теплоносіями можуть бути відпрацьовані гази, водяна пара, органічні теплоносії.

Хімічна енергія виникає під час перебігу екзотермічних реакцій. Наприклад, у процесі виробництва аміачної селітри тепло, яке виникає від екзотермічних реакцій, використовується для випарювання речовин. Також хімічна енергія в гальванічних елементах та акумуляторах перетворюється в електричну. Енергія вітру, течій води рік, припливів морів, термальна та геотермальна енергія підземних джерел мають величезні запаси енергії. Енергія випромінювання посідає все важливіше місце у фотохімічних процесах. Сонячна енергія використовується для кип'ятіння, підігрівання води і різних рідин, розплавлення металів та ін.

Величезна енергоємність технологічних процесів гостро поставила питання раціонального використання енергії в чорній, кольоровій металургії, електрохімії та інших галузях. Для одержання 1 т алюмінію потрібно 20 000 кВт/год електроенергії, 1 т магнію – 18 000 кВт/год, тому зниження енергоємності є одним із найважливіших критеріїв науково-технічного рівня виробництва [6].

Гідроелектростанцій у нашій країні обмежена кількість: теплові електростанції – більш поширені, тому весь дефіцит паливо енергетичного балансу в перспективі поповниться за рахунок розширення атомної енергетики. Всесвітні запаси ядерного палива в десятки разів перевищують потенційну енергію відомих запасів вугілля, нафти і природного газу разом. Атомні електростанції мають високий коефіцієнт корисної дії і є важливим джерелом електроенергії. Наприклад, 1 г урану-235 у процесі розпаду дає таку кількість теплової енергії, яку можна отримати під час спалювання 300 000 т кам'яного вугілля. Більшість АЕС працюють на реакторах з тепловими повільними електронами від урану-235. У ядерних реакторах теплота, яка виникає при діленні ядер урану, нагріває рідину, тепло якої в турбінах перетворюється на механічну, а далі – на електричну енергію. Найбільшу ефективність дають розмножувальні реактори, які працюють на швидких нейтронах з менш дефіцитного ядерного палива урану-238. Атомні електростанції на швидких нейтронах великої потужності – найперспективніші.

7.3. Основні металургійні процеси

7.3.1. Технологічні процеси підготовки сировини

Чавун виплавляють із підготовленої до доменного плавлення сировини у доменних печах обсягом від 1 300 до 5 000 м³, використовуючи для цього тверде паливо – кокс, який виготовляють у коксових печах.

Підготовка сировини до плавлення. Залізні руди обов'язково потребують підготовки до плавлення шляхом стабілізації, агломерації або обкатування.

Стабілізація – процес забезпечення постійності складу і технологічних властивостей сировини. Важливим засобом досягнення стабілізації є усереднення, зміст якого полягає в зниженні коливань вмісту заліза у відсотках та пустої породи внаслідок багаторазового перемішування компонентів сировини різного складу під час видобування, транспортування, роздрібнення, збагачення і зберігання на складах. Найефективнішого усереднення досягають на складах шахт, дробильно-сортувальних і агломераційних фабриках та в доменних цехах. Склади оснащені різноманітним обладнанням, за допомогою якого формують і розвантажують штабелі, внаслідок чого зменшують коливання місткості заліза в сировині з $\pm 2,5$ до $\pm 0,5\%$.

Руду подають транспортерами, які розміщені між двох штабелів. Укладач руди переміщується в прямому і зворотному напрямках зі швидкістю 0,3 м/с, що дозволяє покласти до 150 кг руди на 1 пог. м за хвилину. Завантажувальна машина весь час повільно рухається уздовж штабеля, що забезпечує пошарове розміщення руди. Під час формування штабеля машина проходить в прямому і зворотному напрямках більш ніж 700 разів. Продуктивність машини досягає 700 т/год. Довжина штабеля – до 170 м, ширина – до 15 м і висота – до 8 м. Після закінчення формування штабелів укладач разом із транспортерами переміщується поперек складу для формування нового штабеля.

Розвантаження штабелів виконують спеціальні машини, які є металевою рамою, що відповідає за формою штабелям, на якій розміщені до 500 зубців. Рама весь час виконує зворотно-поступальні рухи, під час яких зубці руйнують поверхневий шар руди в штабелі, внаслідок чого шматки руди скочуються вниз до основи штабеля де потрапляють на транспортер і далі до споживача (на агломерацію). На складах металургійних підприємств витрати на стабілізацію сировини

становлять 0,06 дол./т [6]. Кожне +0,1% зниження коливань вмісту заліза в сировині сприяє підвищенню ефективності виробництва на 0,28% і економії палива на 1,2% у процесі одержання агломерату, на 0,56% і 0,46% – відповідно в доменному виробництві і на 0,50% і 3,0% – у виробництві сталі. Ефективність зниження коливань вмісту заліза в сировині на + 0,5% сприяє економії на собівартості чавуну в цеху, який виплавляє 5 млн т чавуну на рік, більш ніж 3 млн дол., а на капітальних витратах – більш ніж 4 млн дол. Усе це є свідченням того, що стабілізація сировини дуже впливає на підвищення ефективності виробництва металу.

Агломерація – це спікання дрібної руди при температурі плавлення, внаслідок чого рідка фаза об'єднує зерна руди у шматки різноманітної форми – агломерат. Сутність процесу агломерації полягає в тому, що шихта, яка складається з концентратів (до 65%), руди –

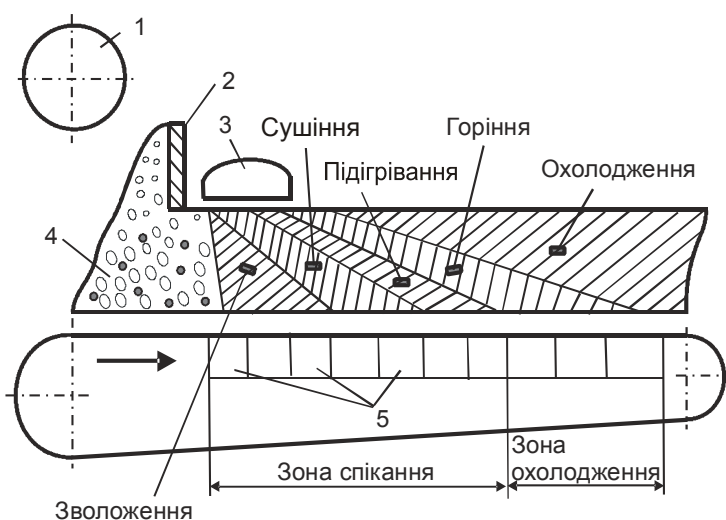


Рис. 7.4. Схематичне розміщення зон у шарі під час спікання на агломераційній стрічці.

Умовні позначення: 1 – барабан; 2 – обмежувач висоти шару шихти; 3 – запалювальний горн; 4 – вакуум-камери; 5 – пальники

яких постійно протягують повітря через стовп шихти і підтримують горіння палива, внаслідок чого розвивається температура до 1 500°C, відбувається спікання або часткове сплавлення частинок шихти і утворення агломерату (рис. 7.4).

Зустрічаються агломераційні машини з площею спікання від 150 до 600 м². У машинах із площею спікання більше 300 м² половина площі працює на охолодження агломерату. Агломерат повинен бути міцним,

розміром до 10 мм, вапняку – розміром до 3 мм, відходів виробництва

(колошникового пилю, піритних недогарків, дрібної металевої стрічки) та палива розміром до 3 мм, після змочування і перемішування подається на агломераційну стрічку, яка складається з полет (колосників) і постійно рухається в одному напрямі. Шихту зверху запалюють спеціальним горном, в якому до 200 горілок, що працюють на газі. Під агломераційною стрічкою розміщені камери розрідження, за допомогою

пористим і добре відновлюватись у доменній печі. Якість агломерату характеризують: кількість заліза (від 54 до 65%), закису заліза (12 – 15%), основність (відношення $\frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3} = 1,2 - 1,6$), кількість фракцій розміром від 0 до 5 мм складає 18 – 22%, міцність, яку оцінюють за

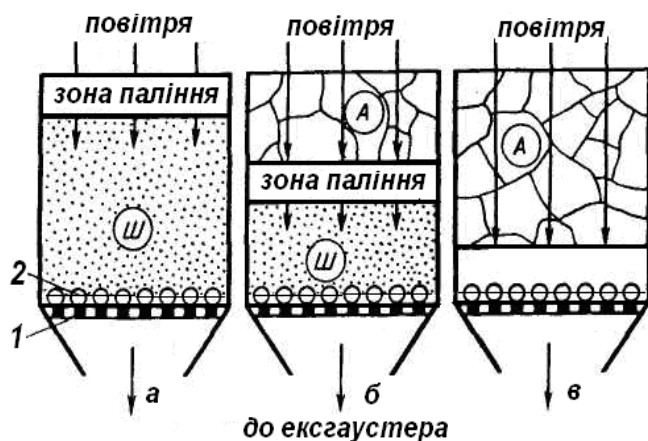


Рис. 7.5. Схема

агломераційного процесу

Умовні позначення: а – початок процесу; б – проміжний момент; в – кінцевий момент; А – агломерат; Ш – шихта

охолодження, навантажування та розвантажування агломерату з мінімальним його руйнуванням.

Собівартість агломерату складається з витрат на сировину і матеріали до 75 відсотків, витрат на процес агломерації – 25 відсотків (паливо, електроенергію, воду, заробітну плату, амортизацію, поточний ремонт, утримання основних засобів виробництва і додаткові витрати).

На сучасних агломераційних машинах виробництво агломерату досягає від 1,35 до 1,84 т м²/год, а вихід агломерату дорівнює 62 – 63%.

Виробництво котунів полягає в обкатуванні концентратів. Для цього суміш концентратів з бентонітом і оксидами карбонатів навантажують у гранулятор (барабан, чашу, конус), який обертається навколо своєї осі, де утворюються котуни (кульки) діаметром від 12 до 30 мм. Сирі котуни повинні витримувати тиск 0,9 кг і не розсипатися в разі падіння на металеву плиту з висоти 1 м. Після цього котуни обпалюють на конвеєрних машинах при температурі 1 200 – 1 300°C. Схема (рис. 7.6) відображає послідовність виконання технологічних операцій у процесі отримання котунів. Нагрівання котунів під час обпалення є дуже відповідальною операцією, яка визначає їх міцність.

кількістю дрібних (0 – 5 мм) фракцій після дослідження 20 кг агломерату в барабані. Високою вважають барабанну пробу, якщо кількість дрібних фракцій не більша від 32%.

Головними напрямками підвищення якості агломерату є зниження межі розміру руд з 10 до 1 мм: виготовлення шихти однакового гранулометричного складу (всі компоненти розміром не більше 3 мм), високий ступінь стабілізації складу шихтових матеріалів (до ±0,5%) і раціональне

Під час обпалення магнетитових котунів відбувається окислення магнетиту в гематит, рекристалізація магнетитових та гематитових зерен, поява фаз, які виконують функції зв'язку зерен між собою. Окислення магнетиту в гематит починається при температурі 200 –

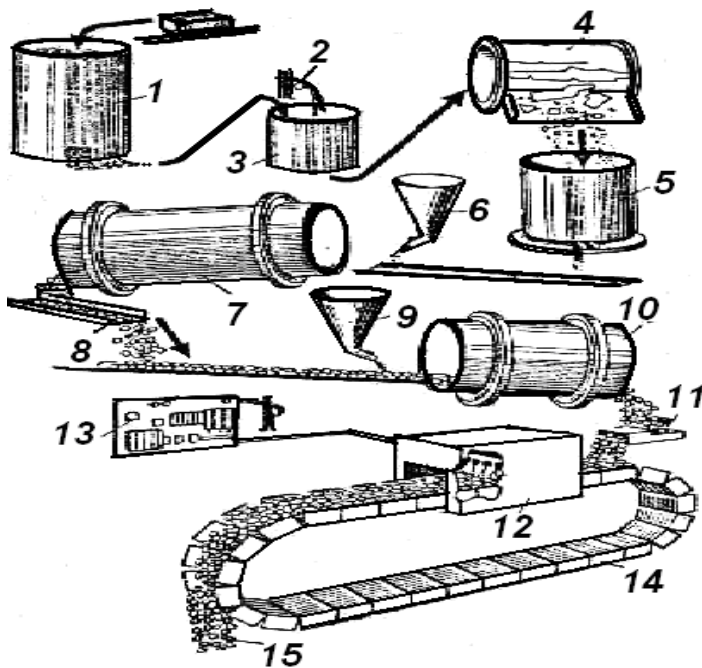


Рис. 7.6. **Схема послідовності операцій отримання котунів з відпалом**

Умовні позначення: 1 – сховище рудних матеріалів; 2 – подача води; 3 – резервуар для зволоження; 4 – барабаний фільтр-постачальник, що обертається; 5 – фільтр, що обертається; 6 – постачальник бентоніту; 7 – барабан для отримання котунів; 8 – вібраційний грохот для подачі котунів; 9 – постачальник порошкоподібного вугілля; 10 – барабан для обкатування вугілля; 11 – вібраційний конвеєрний постачальник; 12 – пальники; 13 – панель контрольних приладів; 14 – стрічка; 15 – готові котуні

2 500°C і сприяє появі в котунах міцної оболонки, яка підвищує їх міцність у декілька разів. Швидкість окислення магнетиту в гематит залежить від температури. Так, Криворізькі концентрати при температурі 900°C окисляються повністю за 8 – 10 хвилин, а при температурі 700°C – тільки на 60%. Також велике значення для міцності котунів має рекристалізація гематитових зерен, яка починається при температурі 1 000°C. Тому найкращих металургійних властивостей котуни досягають при температурі 1 300°C.

Головні переваги котунів над агломератом полягають у більш високих властивостях

відновлення, однаковому зерновому складі і структурі. Вони не потребують твердого палива для обпалення – відсутність відновлювальних реакцій під час обпалення сприяє отриманню продукту з високим рівнем окислення. Технічними умовами на котуни передбачається вміст заліза від 58,5 до 64 відсотків, основність – від 0,6 до 1,25, міцність – від 140 до 220 кг/котун, величина – від 6 до 20 мм.

Виробництво коксу – це процес обпалення шихти з різних марок вугілля при температурі 1 100 – 1 150°C у коксових камерах без доступу повітря. Шихта складається переважно з добре збагачених методами флотації вугілля марок: К – коксувальні (обов'язково в кількості 20 – 25%, адже вони забезпечують зв'язок марок між собою); Ж – жирні; Т – нежирні; Д – довгополум'яні; Г – газові та ін. Кількість вуглецю в цьому ряді вугілля змінюється від 75 до 95 відсотків, а легких речовин – від 5 до 25 відсотків. Підготовлену шихту накопичують в бункері, звідки дозами навантажують у бункери вантажного вагона 5 (рис. 7.7), який через люки 4 розвантажує її в камери 11 коксової батареї, у складі якої декілька десятків камер. Камери викладені вогнетривкою цеглою, мають

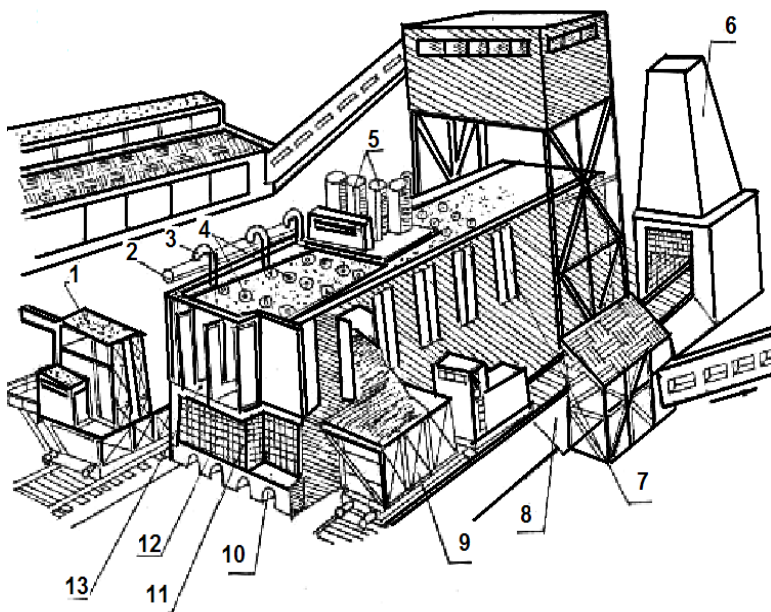


Рис. 7.7. Будова коксової батареї

довжину 15 м, висоту – 5 м, ширину – до 0,5 м. Форма камери сприяє швидкому і рівномірному нагріванню й обпаленню шихти без доступу повітря. У склепінні камери є стояки 3 для відбору газів і передачі їх в газозбірник 2. Місткість камери від 15 до 25 т шихти. Між камерами зводяться нагрівальні контрольні вертикалі 13, які обігрівають стіни камер до температури 1 150°C. Під

камерами розміщені регенератори для підігрівання відпрацьованими газами повітря і газу, які подають через газопроводи 10 в контрольні вертикалі. З одного боку батареї коліями рухається коксовий виштовхувач 1, який після закінчення коксування відкриває двері камери 7 і виштовхує кокс в металевий вагон 9, який приймає гарячий кокс і транспортує його під башту 6 для тушіння, після чого розвантажує на рампу 8.

Процес коксування в камерах починається з виділення води і газів із шихти, після чого вона осідає і повільно стає твердою, а на останній стадії формується в коксовий пиріг. Кокс має темно-сірий колір, пористість його сягає до 55 відсотків, вміст вуглецю – 87 відсотків, теплота горіння – до 35 МДж/кг. До складу Донецького доменного коксу входять: зола – до 10%, сірка – до 2%, летких речовин – до 1,2%, вода – до 3%.

Доменний кокс за фракційним складом розподіляють на великий (розміром більше 40 мм, використовують для виплавлення чавуну в печах корисним обсягом більше 3 000 м³), середній (розміром від 25 до 40 мм, використовують для одержання чавуну в печах), а розміром до 25 мм – використовують після помелу до 3 мм в агломераційному виробництві. Одна тонна шихти при коксуванні дає 730 кг коксу, 30 кг кам'яновугільної смоли, 80 кг надсмольної води, 10 кг бензольних вуглеводних сполук, 3 кг аміаку і 140 кг сухого коксівного газу. Кам'яновугільну смолу перегонкою розподіляють на фракції, з яких виділяють різноманітні речовини (до 300) в тому числі такі, як фенол, нафталін, антрацен і багато інших. Залишок після перегонки – пек – використовують для одержання пластмас, електродів, асфальту та ін.

Найбільш цінним є бензол, який широко використовують для одержання полімерів, фарб, миючих засобів, вибухових речовин, ліків, толуолу. Коксовий газ має до 60 відсотків водню і до 28 відсотків метану, його використовують для обігрівання камер при коксуванні, в побуті, а також для отримання водню.

7.3.2. Виробництво чорних і кольорових металів

Загальна класифікація металів наведена на рис. В.1.

Виробництво чавуну. Сучасне виробництво чавуну переробляє продукцію багатьох підприємств [40]: видобувних, виробництва коксу, вогнетривких матеріалів та ін. Шихта для виплавлення чавуну складається з агломерату, котунів, коксу і флюсів. Більшу частину становить агломерат (80 – 100 відсотків) до 20% – котуні і на 1 т чавуну припадає 0,5 т коксу. Шихту переплавляють у доменних печах корисним обсягом від 1 300 до 5 000 м³, які являють собою досить складні інженерні споруди масою більш ніж 250 000 т, що працюють майже без перерви більше 10 років. Технологічне оснащення доменного виробництва наведено на рис. 7.8.

Повітря нагнітають спеціальні машини, які знаходяться а приміщенні нагнітальної станції. Холодне повітря нагрівають до температури 1 400 – 1 500^oC і подають по повітропроводу до фурм, через які воно потрапляє в піч. Димові гази від повітронагрівачів відводять через димову трубу.

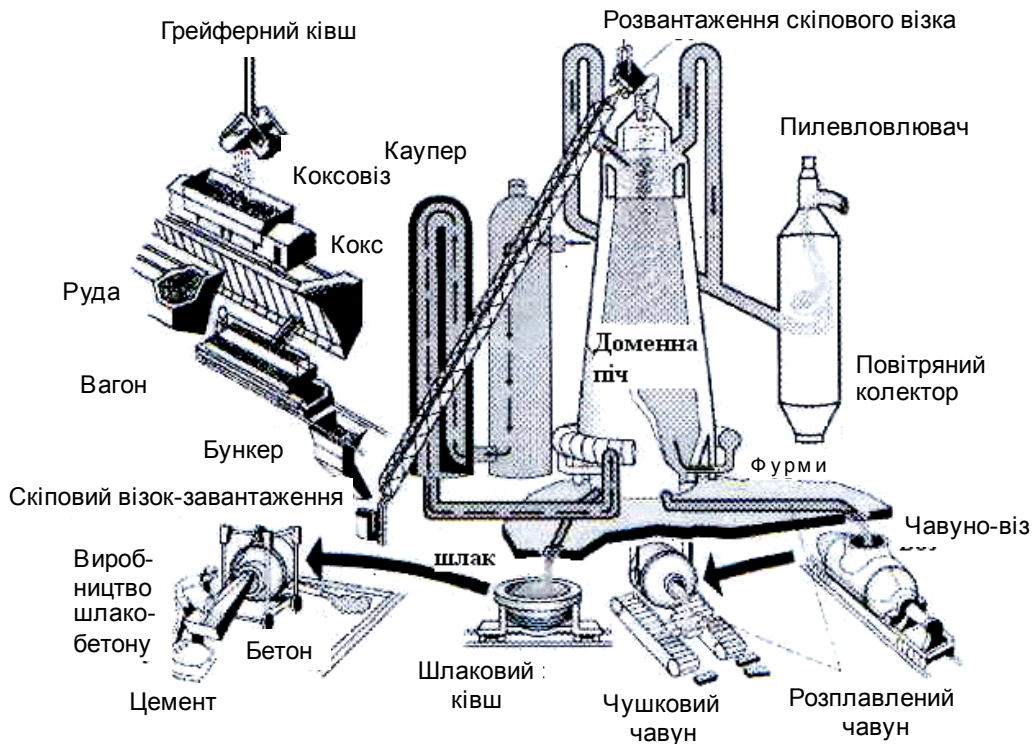


Рис. 7.8. Схема технологічного оснащення доменного процесу

Виробництво чавуну можна подати у вигляді схеми технологічного процесу (рис. 7.9). Збагачена шихта після горіння палива і відновлення заліза перетворюється на чавун. Чавун і шлак випускають через чавунну і шлакову льотки і по жолобах спрямовують у ковші.

Ливарний двір печі обслуговує спеціальний кран. Ковші з рідким чавуном спочатку зважують на терезах, а потім везуть в приміщення ливарних машин. За допомогою лебідки чавун із ковшів виливають на ливарну машину, з якої тверді чушки залізницею відправляють на склад. Ковші з рідким шлаком везуть на грануляцію, де його зливають в грануляційний басейн з водою, внаслідок чого він перетворюється в дрібні гранули. У печах місткістю 3 000 м³ і більше шлак переробляють біля доменних печей в шлаковату, портландцемент, гранули. У доменних печах виплавляють переробні, ливарні та спеціальні чавуни. Ливарні чавуни призначені для одержання різноманітного литва і відрізняються значною кількістю кремнію – до 5 відсотків. Ці чавуни розливають на розливальних машинах у виливниці, де після охолодження водою одержують п'ятидесятикілограмові чавунні чушки. Спеціальні чавуни: феросиліцій – містить до 15% Si; феромарганець – до 75% Mn, дзеркальний чавун – до 25% Mn. Ці чавуни застосовують для розкислення та легування сталей. Найбільшу кількість виплавляють

переробних чавунів (75%), ливарних (15 – 20%) і спеціальних (до 5%).

Доменна піч (рис. 7.10) – це вертикальна піч шахтного типу, що складається з двох зрізаних конусів, які стикаються своїми основами. Вона складається з колошника 3 із засипним апаратом 1 і газовідвідними трубами 2, шахти 4, розпару 5, заплечиків 6, горна 7 і фундаменту 11. Дно горна 10 називається *подом*. На самому дні горна є отвір, який називають *чавунною льоткою* 12. Вище від чавунної льотки, але з протилежного боку, є шлакова льотка 9. Льотки призначені для випускання через них з печі

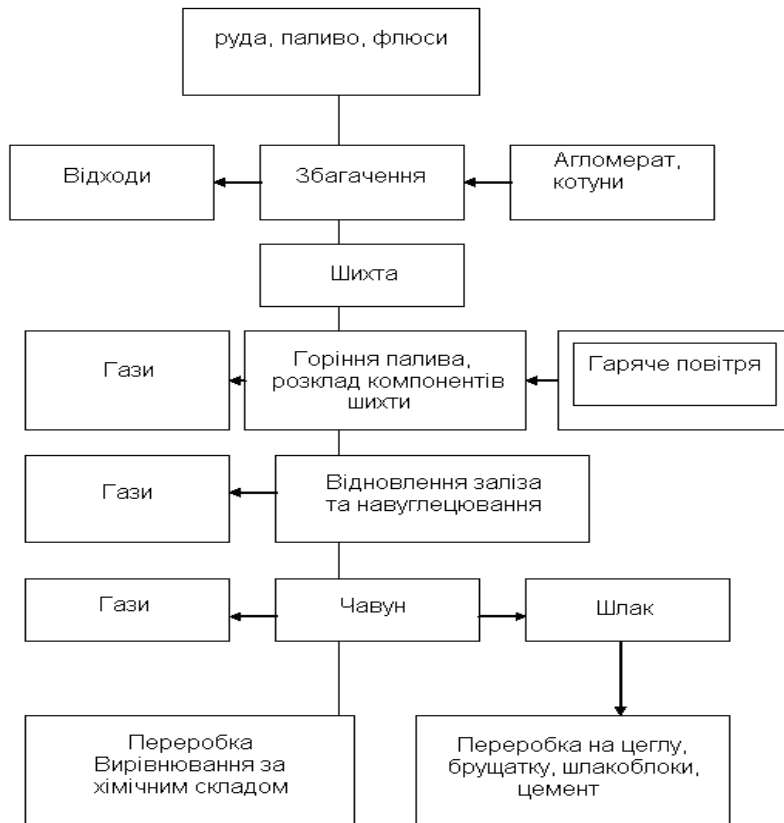


Рис. 7.9. Схема технологічного процесу виплавлення чавуну

чавуну та шлаку. Льотки за допомогою спеціального пристрою забивають вогнетривкою глиною, а коли треба випустити чавун або шлак з печі, в них знову пробивають отвори діаметром (50 – 60) мм. На верхній частині горна є отвори 8, які називають *фурменими*. Вони необхідні для розміщення в них мідних або чавунних фурм для дуття, які сполучені з кільцеподібною трубою та *кауперами*

(повітропідігрівачами). Верхню частину печі, призначену для завантаження, називають *колошником*. Частину печі, що розширюється, від колошника до найширшої частини конуса називають *шахтою*, а найширшу частину – *розпаром*. Конусну частину печі між розпаром і горном називають *заплечиками*, а *горном* – нижню циліндричну частину доменної печі. Зовнішні стіни кладки печі закриті листовою сталлю – кожухом 15. Внутрішні стінки мають кладку з вогнетривкої шамотової цегли 14 і охолоджуються водою за допомогою спеціальних холодильників 13. Таку вогнетривку кладку називають футеруванням. Найвища температура 1 900°C спостерігається від кінця заплечиків до горна.

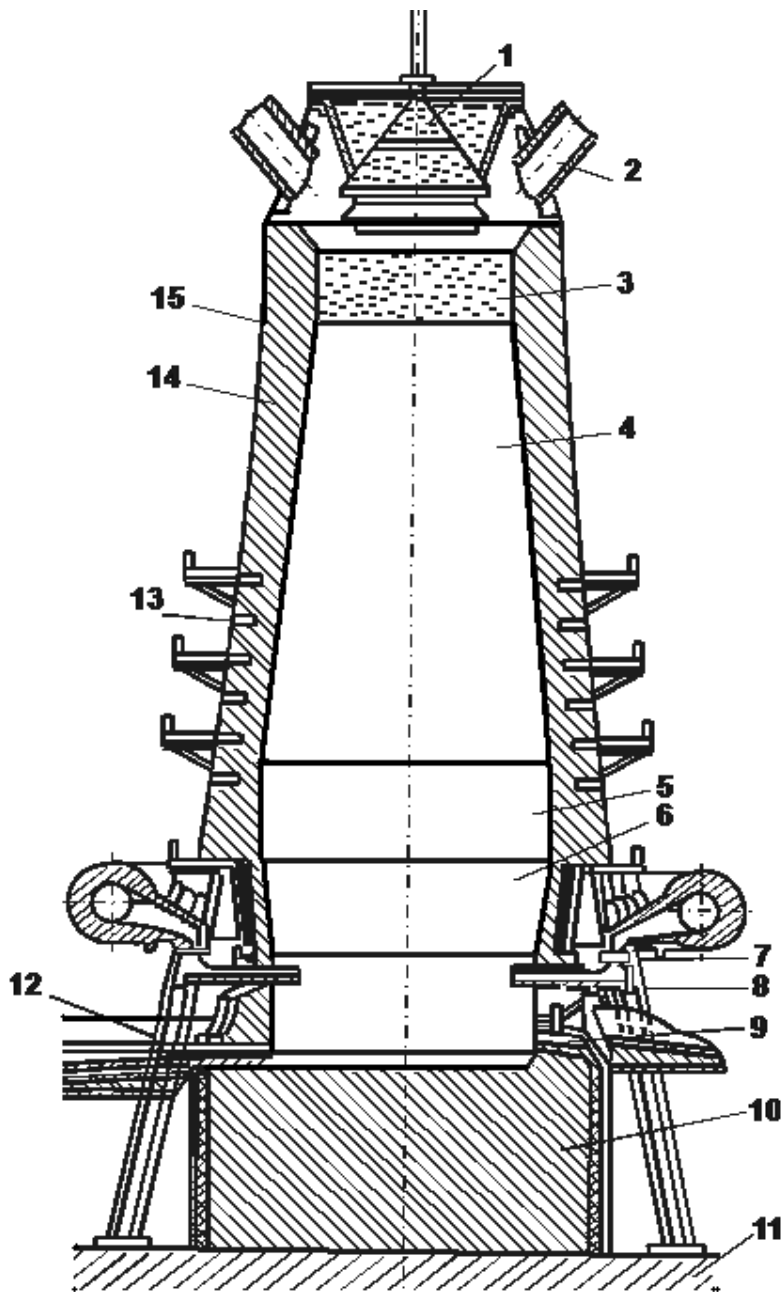


Рис. 7.10. Схема доменної печі

Умовні позначення: 1 – засипний апарат; 2 – газовідвідні труби; 3 – колошник; 4 – шахта; 5 – розпар; 6 – заплечики; 7 – горн; 8 – фурми для дуття; 9 – шлакова лютка; 10 – дно горна (під); 11 – фундамент; 12 – чавунна лютка; 13 – холодильники; 14 – шамотна цегла; 15 – стальний кожух

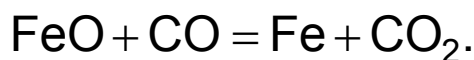
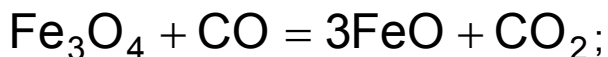
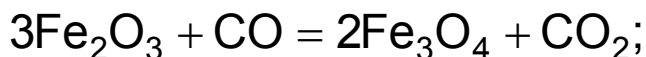
Колошник має конічну форму, піч футерована вогнетривкою цеглою, яка захищена чавунними сегментами від руйнівної дії шихтових матеріалів, які падають з великого конуса. Засипний пристрій печі складається з приймальної лійки, малого конуса з лійкою, розподільного пристрою і великого конуса з лійкою. Шихтові матеріали на колошник трапляють по похилому мосту за допомогою скипів (див. рис. 7.8).

Завантаження печі шихтою виконують у певній послідовності: кожен скіп розвантажують через приймальну лійку на малий конус, де вся маса матеріалів повертається пристроєм, що розподіляє, разом із лійкою і малим конусом навколо осі малого конуса. Виконують це для рівномірного розміщення матеріалів на поверхні великого конуса.

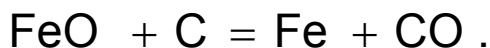
Малий конус розвантажує матеріали на великий після розвантаження кожного скіпа. Таким чином на великому конусі збирається подача, або "колоша", яка складається з матеріалів декількох скіпів. Після опускання великого конуса подача падає на колошник печі, де утворюються два послідовних прошарки, які складаються з коксу і рудної частини шихти. Таке розміщення в печі руди і коксу сприяє раціональному використанню енергії газів, які виникають у зоні горіння палива перед фурмами. Кокс в потоці нагрітого до 1 450°C повітря горить:



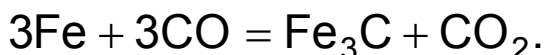
Температура в зоні горіння досягає 1 950°C. Нагрітий до такої температури оксид вуглецю з великою швидкістю йде назустріч потоку шихтових матеріалів, віддає їм своє тепло і відновлює залізо за реакціями:



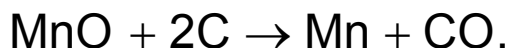
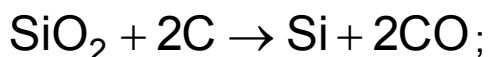
Частина оксиду FeO опускається до розпару і нижче, де відновлюється вуглецем коксу:



Відновлене залізо становить твердий пористий продукт, який інтенсивно насичується оксидом вуглецю або вуглецем:



Карбід заліза Fe₃C добре розчиняється в залізі і у вигляді крапель тече в горн. Водночас відновлюються кремній і марганець:



Фосфор, який відновляється частково оксидом вуглецю і в цілому твердим вуглецем, майже повністю переходить у сплав, що сприяє його холодноламкості, тобто руйнуванню при низьких температурах. Сірка потрапляє в піч з рудною частиною шихти та коксом і значною мірою видаляється у вигляді летючих сполук (SO_2 , H_2S) і переходить у шлак у вигляді CaS , а також залишається в металі до 0,05 відсотка у вигляді FeS , що сприяє його червоноламкості за високих температур під час обробки металу тиском. Тому кількість фосфору і сірки в металі лімітується до 0,01 і 0,04 відсотка відповідно.

Чавун і шлак з'являються в районі низу шахти і розпару, повільно краплями стікають вниз і накопичуються в нижній частині доменної печі-горні. Шлак – це продукт хімічних взаємодій пустої породи залізородної частини шихти і золи коксу з вапняком. Його питома вага ($4,75 \text{ кг/м}^3$) в два рази менша від питомої ваги чавуну, у зв'язку з чим в горні він знаходиться на поверхні чавуну. Краплі чавуну, проходячи через шар шлаку, взаємодіють із ним і віддають значну частину сірки – чавун очищається від сірки. Для розвантаження горна від чавуну і шлаку у вогнетривкій цеглі зроблені отвори на різних рівнях, які називають чавунною і шлаковою льотками.

Чавун випускають із печі від 8 до 12 разів на добу. Разом із чавуном витікає шлак, який називають нижнім. Верхній шлак випускають через шлакові льотки, яких у доменній печі дві. Відстань від осі чавунної льотки до великого конуса в нижньому положенні вважають корисною висотою доменної печі, а обсяг доменної печі, який відповідає цій висоті, вважають корисним обсягом доменної печі.

Найважливішим техніко-економічним показником роботи доменної печі є коефіцієнт використання корисного обсягу ($K_{\text{ВКО}}$) печі:

$$K_{\text{ВКО}} = \frac{V}{P},$$

де V – корисний обсяг доменної печі, м^3 ;

P – середня добова продуктивність печі, т.

Для вітчизняних доменних печей цей показник становить 0,5 – 0,6 т і до 0,35 т досягає в Японії. Другим показником вважають витрати коксу, який є відношенням витрат коксу за добу до середньодобової продуктивності печі. Цей показник дуже змінюється і досягає 0,6 т/т чавуну.

Питома витрата коксу є важливим показником роботи доменної печі у зв'язку з тим, що вартість його становить близько 50% від вартості чавуну.

Доменна піч корисним обсягом 5 000 м³ працює з $K_{\text{ВКО}} = 0,68$, питоною витратою коксу 506 кг/т чавуну собівартістю 60,3 дол/т, у якій витрати на металошихту – 46,6 відсотка, паливо – 42,7 відсотка і виробництво – 10,7 відсотка. Вона виплавляє 11 500 т чавуну на добу, що більше 4 млн т за рік і потребує 1 000 м³/хв повітря, а також кисню – більше 5 700 м³/год, природного газу – 51 000 м³/ год. Загальний вихід колошникового газу – більш ніж 3,7 млн т на рік. У печі дуже високий рівень механізації та автоматизації виробничих процесів.

Поліпшення техніко-економічних показників роботи доменних печей можна досягти кращою підготовкою шихтових матеріалів (стабілізацією, покращенням якості агломерату та коксу), інтенсифікацією процесів плавлення, збагаченням повітряного дуття киснем, підвищенням тиску колошникового газу, удосконаленням конструкцій і збільшенням обсягу доменних печей, що сприяє підвищенню продуктивності праці майже на 30%.

Виробництво сталі. Сталь – це сплав заліза з вуглецем, кількість якого не перевищує 2,14% (рис. В.1). Крім цього, у сталях є марганець – від 0,8 до 1,5%, кремній – від 0,8 до 2,0%, а також сірка – 0,01 – 0,05%, фосфор – до 0,01 % та інші елементи. Виробництво сталі засноване на окисненні вуглецю та інших елементів і перетворенні їх у шлак та газ. Існує три способи виробництва сталі: мартенівський, конвертерний та в електричних печах. Загальна класифікація сталей наведена на рис. В.2.

Мартенівський спосіб виробництва сталі. Це найбільш поширений спосіб, у якому використовують полум'яні печі регенеративного типу, де тепло відпрацьованих газів іде на обігрів регенераторів. Схема мартенівської печі показана на рис. 7.11.

Шихтові матеріали завалюють в плавильний простір 5 через вікна печі 4, а повітря і газ підводять каналами 2 і 3. Попередньо вони проходять через регенератори 3, де підігріваються, а в процесі горіння дають високу температуру – 1 700°C. Регенератори працюють по черзі: дві камери підігріваються продуктами горіння газів, виходячи з печі, дві інші, раніше підігріті, – охолоджуються. Управління напрямом руху продуктів горіння палива і повітря виконується клапанами 8. За конструкцією мартенівські печі підрозділяють на нерухомі і рухомі, які мають кут нахилу, на який вони можуть нахилитися. Місткість сучасної мартенівської печі 600 – 900 т. Працюють також двохванні печі, місткість яких у два рази більша.

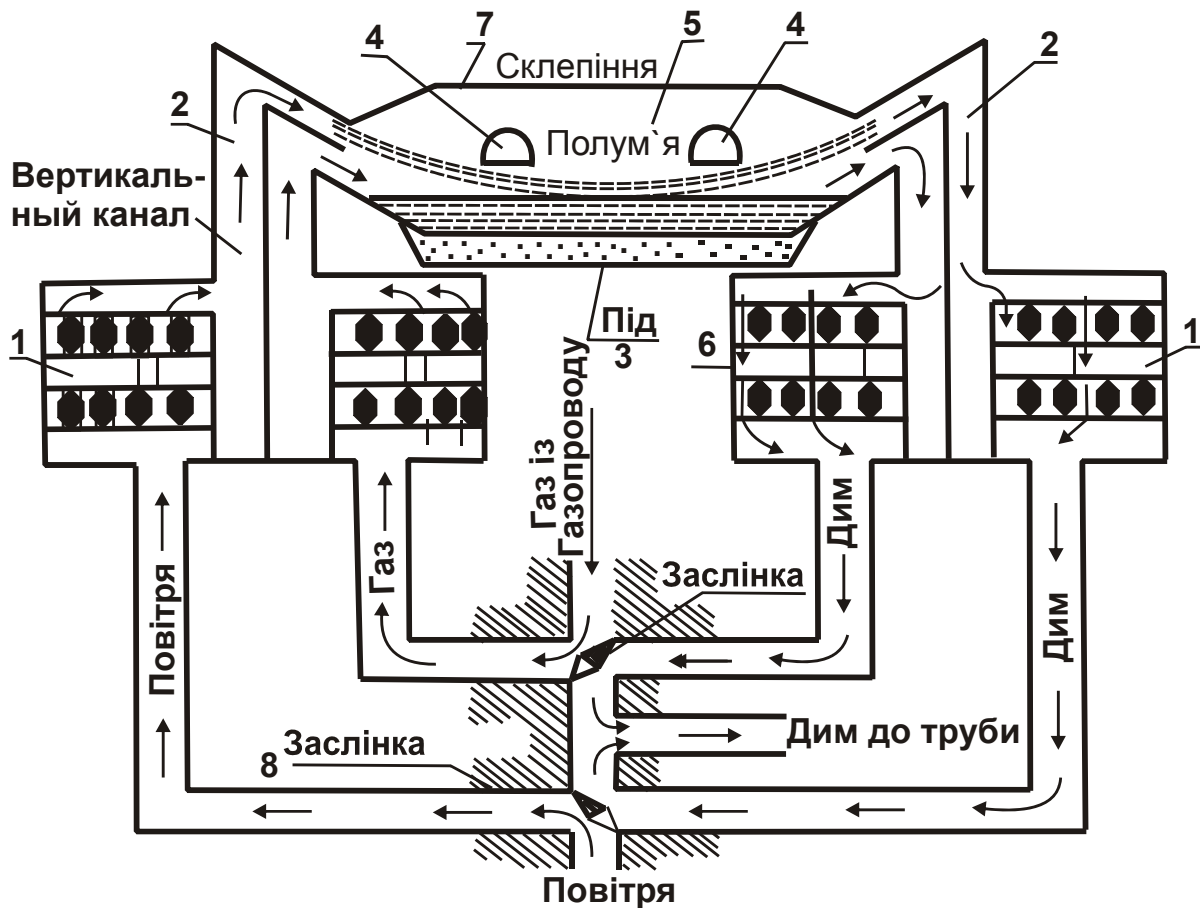


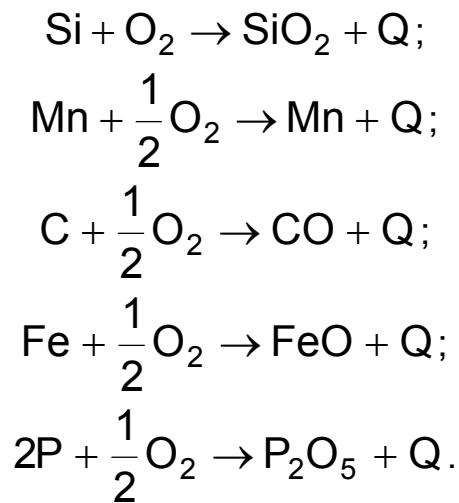
Рис. 7.11. **Схема мартенівської печі**

Умовні позначення: 1 – повітряні регенератори; 2 – газові й повітряні канали; 3 – газові регенератори; 4 – повітряні канали в головках печі; 5 – робочий простір в печі; 6 – під печі; 7 – склепіння печі; 8 – клапани (заслінки)

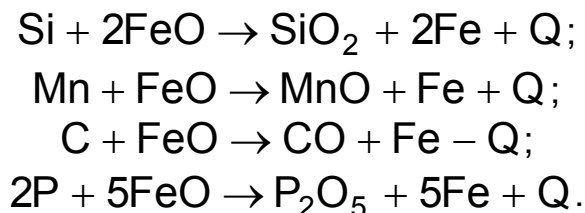
До складу шихти входять: скрап, чавун, вапняк для виведення з металу сірки та фосфору і феросплави для розкислення сталі.

Залежно від складу шихти розрізняють два способи виплавлення сталі: скрап-процес та скрап-рудний процес. У ході скрап-процесу в піч дають 55 – 75% скрапу і 25 – 45% твердого чавуну. У ході скрап-рудного процесу в піч заливають 55 – 75% рідкого чавуну, додають 12 – 20% руди і нарешті – скрап. Цей етап найбільш поширений. Визначені наступні періоди виплавлення сталі: завалювання печі шихтою, її розплавлення, кипіння сталі і випуск. Завалювання шихти в піч виконують завалочні машини (спочатку завалюють в піч лом, а потім на нього засипають вапняк та залізну руду). Шихту прогрівають до температури розплавлення чавуну. Рідкий чавун заливають в піч з ковша по спеціальному жолобу. Для прискорення плавлення в піч подають кисень через склепіння спеціальним соплом. У періоди завантаження і плавлення шихти компоненти окислюються киснем,

рудю, пічними газами та FeO, яка розчиняється в металі. Окислення домішок металу киснем відбувається з виділенням тепла за реакціями:



Окислення домішок металу FeO має місце за реакціями:



Усі продукти реакцій переходять в метал, шлак і газ. Газ у вигляді пухирців, проходячи через метал, перемішує його і таким чином сприяє досягненню стабільності температури і хімічного складу металу, а також виведенню на поверхню металу і в шлак неметалевих домішок. Як тільки вміст вуглецю в киплячому металі досягає норми, а це оцінюється за експрес-аналізом проб сталі, кипіння металу припиняється. Переходять до стадії плавлення – доведення і розкислення сталі. Для цього в піч дають необхідну кількість феромарганцю, феросиліцію, які забирають з металу FeO, і метал розкиснюється. Якщо потрібно одержати леговану сталь, у цей час у ванну вводять легувальні елементи. Розкиснення сталі завершують під час випуску її з печі (на жолобі або в ковші). Плавлення займає від 8 до 16 годин залежно від марки сталі.

Головним показником оцінювання продуктивності мартенівської печі є збір сталі з 1 м² площі поду печі за добу, який у середньому дорівнює 15 т/м², а в разі інтенсифікації процесу досягає 20 – 30 т/м³. Мартенівський спосіб використовують для одержання високоякісних звичайних і легованих сталей. Класифікація конструкційних і легованих сталей наведена на рис. В.3, рис. В.4 і рис. В.5.

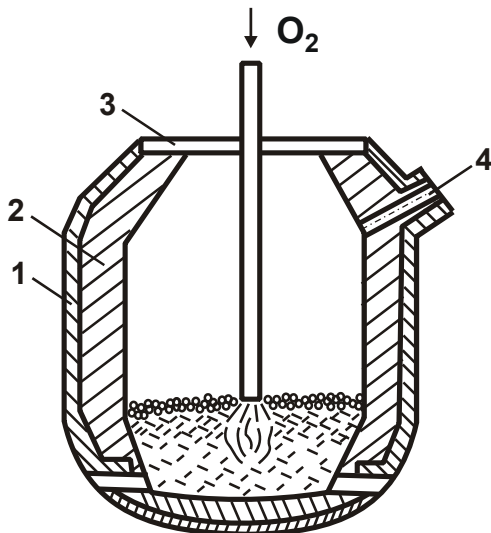
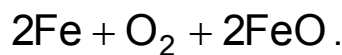


Рис. 7.12. **Схема кисневого конвертера**

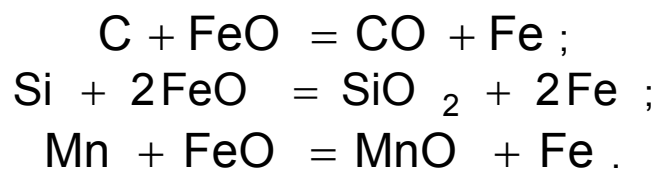
Конвертерний спосіб виплавлення сталі. Зміст конвертерного способу виплавлення сталі полягає в тому, що через заповнений конвертер з рідким чавуном продувають кисень, який окиснює вуглець та інші компоненти металу. Конвертер має форму грушоподібної реторти 1, яка може повертатися на цапфах біля своєї горизонтальної осі (рис. 7.12). Місткість конвертера від 100 до 800 т. Усередині поверхня конвертера футерована вогнетривким матеріалом 2. Верхня частина має горловину 3 і лютку 4. До початку процесу конвертер повертають у

горизонтальне положення, завантажують твердим ломом і заповнюють рідким чавуном з температурою до 1 400°C. Потім конвертер повертають у вертикальне положення, завантажують туди вапняк і вводять охолоджену фурму, через яку подають кисень є тиском до 1,4 МПа.

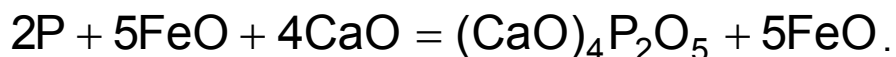
Першим окислюється залізо за реакцією:



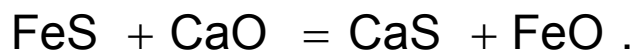
У свою чергу, FeO окислює домішки металу за реакціями:



Вапняк одночасно реагує з фосфором, який переходить у шлак:



У шлак переходить і сірка:



Сірки переходить у шлак не більше 40 відсотків у зв'язку з високою концентрацією FeO в шлаку.

Продування киснем зупиняють тоді, коли досягають певної кількості вуглецю в металі, який контролюють спеціальними приладами.

Плавлення виконують за 20 – 50 хв, після чого конвертер повертають в горизонтальне положення, сталь виливають у ківш, а шлак через горловину – в посуд для шлаку.

У сталі залишається FeO, який виводять з металу розкислювачами в ковші. Якщо зі сталі майже не виділяється газ, то її називають “спокійною” і розкислюють спочатку феромарганцем, а потім ферокремнієм, а якщо з сталі виділяються гази і метал кипить, то такі сталі називають “киплячими” і розкислюють їх тільки феромарганцем. Спокійні сталі цінніші й дорожчі. У кисневих конверторах одержують сталі з помірною і зниженою кількістю вуглецю.

Головні вигоди конверторного способу одержання сталі полягають у високій продуктивності, невеликій ціні обладнання, простоті обслуговування, відсутності потреби в паливі і низькій собівартість сталі. Недоліки полягають в обов'язковому використанні тільки рідкого чавуну заздалегідь визначеного хімічного складу, а також значні збитки у зв'язку з вигоранням металу.

Виробництво сталі в електропечах. В електропечах виплавляють високоякісні і леговані сталі завдяки можливості одержання температури, що легко регулюється, у зв'язку з чим є можливість звільнитись від шкідливих домішок і виробляти сталі з дуже тугоплавкими металами, такими як: вольфрам, молібден, ванадій. Найбільш поширені дугові електричні печі (рис. 7.13). Піч має циліндричний кожух 6, який усередині обладнаний вогнестійкою цеглою. Через склепіння 4 в піч підведені три графітові електроди 3, які можуть автоматично переміщуватись зверху вниз і навпаки.

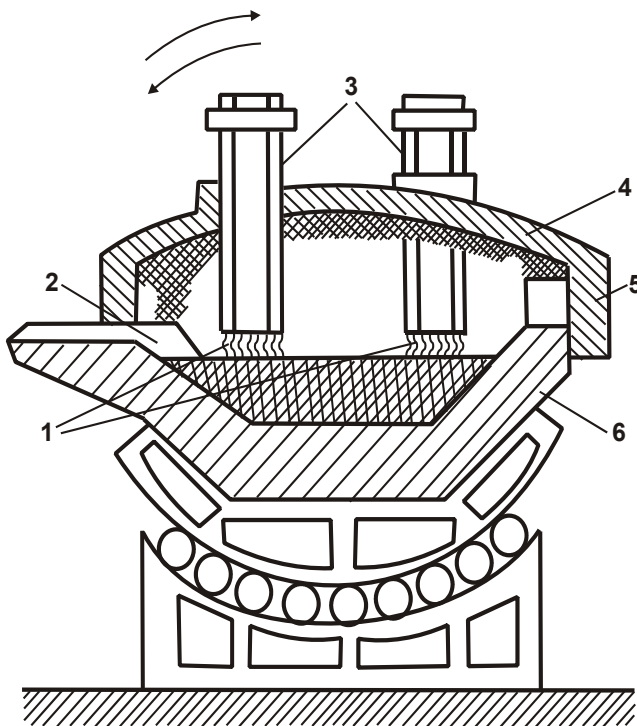


Рис. 7.13. **Схема електричної дугової печі**

Шихту подають у піч через завальне вікно або частіше через склепіння – зверху. Шлак і сталь виливають через спеціальний отвір 2, у зв'язку з чим піч нахиляють. Місткість електродугових печей може бути від 0,5 до 400 т.

Місткість електродугових печей може бути від 0,5 до 400 т.

Плавлення починають із заправлення поду і подачі шихти. Спочатку на під кладуть дрібний стальний скрап, потім більші шматки шихти (лом, руду, флюси, розкислювач та ін.). Потім опускають електроди і розплавляють шихту. У першому періоді плавлення відбувається окислення кремнію, марганцю, фосфору, вуглецю і частково заліза, а також збирають шлак і вводять вапняк і руду для вилучення фосфору і вуглецю. У другому періоді відбувається розкислення, десульфурація і рафінування – кінцеве доведення потрібного складу сталі, для чого в піч кладуть вапняк, плавильний шпат та роздрібнений кокс; після цього сталь розкиснюють феромарганцем та феросиліцієм і доводять до потрібного складу. Плавлення займає від 2 до 4 годин залежно від місткості печі і якості сталі. На 1 т сталі потрібно від 650 до 750 кВт електроенергії та до 7 кг електродів.

Інші способи виробництва сталі. Для одержання високоякісних сталей використовують електрошлаковий, вакуумно-дуговий, вакуумно-індукційний способи, за допомогою яких значно зменшується кількість

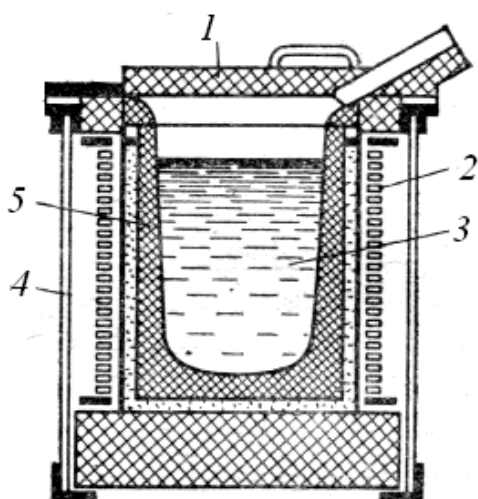


Рис. 7.14. Схема індукційної печі

Умовні позначення: 1 – кришка; 2 – індуктор; 3 – розплав сталі; 4 – каркас печі; 5 – вогнетривкий тигель

шкідливих домішок (сірки, фосфору, неметалевих домішок), підвищується в 2 – 3 рази вік використання виробів із таких сталей.

Зміст технології електрошлакового переплаву сталі полягає в наступному: сталь, яку одержали в мартені або електропечі, закріплюють в електродотримачі над металевим охолоджуваним кристалізатором. На дно кристалізатора засипають шлак на основі CaF_8 або $\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ який розплавляється електричною дугою. У міру наповнення ванни шлаком електрична дуга зникає, а тепло виникає від опору струму, який

проходить через шлак.

При температурі шлаку $2\ 000^\circ\text{C}$ метал розплавляється і, проходячи через шар шлаку, залишає в ньому різні домішки, а потім у кристалізаторі формується у виливки, які можуть бути круглими, квадратними і трубними.

Сутність вакуумно-індукційного способу (рис. 7.14) полягає в одержанні сталі в умовах вакууму. Під час плавлення метал нагрівається за рахунок змінного магнітного поля навколо індуктора і вихрових струмів у металі. Умови вакууму сприяють зниженню в металі газів та неметалевих домішок і дозволяють виплавляти сталі точного хімічного складу, високої якості, вироби з яких працюють у 2,5 рази довше, ніж зі звичайних сталей.

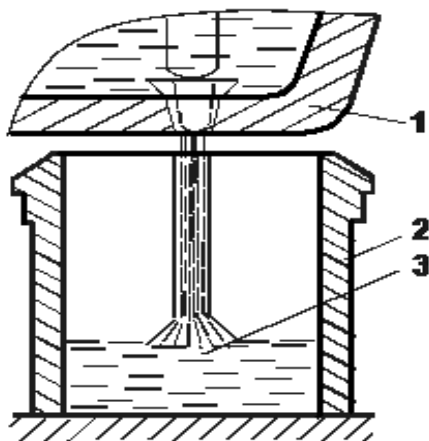


Рис. 7.15. Схема розливання сталі зверху

Умовні позначення: 1 – ківш; 2 – виливниця; 3 – сталь

виконують із ковша у виливниці для одержання зливків вагою від 10 до 100 т (рис. 7.15).

Розливання сталі. Сталь заливають у ківш, після чого розливають у виливниці (металеві форми), де вона формується у зливки, або подають на машину безперервного розливання. Використовують три способи розливання сталі: зверху, сифонний, безперервний.

Розливання сталі зверху

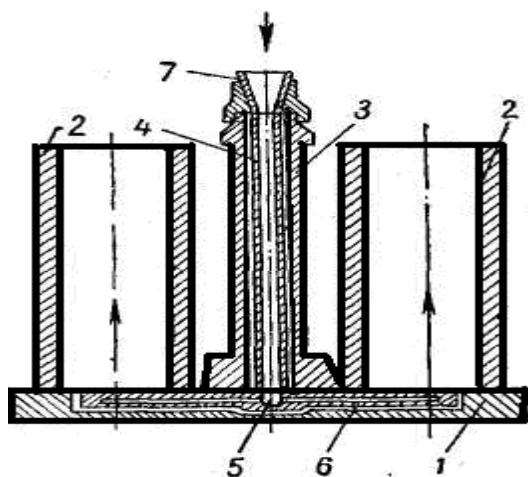


Рис. 7.16. Схема сифонного розливання сталі

Умовні позначення: 1 – піддон; 2 – виливниця; 3 – центральний стояк; 4 – центрова трубка; 5 – центрова цегла; 6 – сифонна цегла; 7 – лійка

Сифонне розливання сталі (рис. 7.16) використовують для одержання зливків малої й середньої ваги. Сталь із ковша заливають у центральний стояк, з якого вона йде по літникам до виливниць. На піддон уміщують до чотирьох і більше виливниць.

Розливання сталі зверху гарантує високу температуру металу в головній частині відливання і меншу кількість неметалевих домішок у її нижній частині. За сифонного способу поверхня зливка більш чиста і метал в нижній частині більш теплий. Взагалі для виробів використовують тільки 65 – 75 відсотків ваги зливка, тому що зливки має усадкову раковину, крихкість і ліквідаційні області, які непридатні для подальшої переробки.

Найбільш перспективне безперервне розливання сталі (рис. 7.17), в якому сталь із ковша 1 заливають у проміжний пристрій 2, звідки вона йде в кристалізатор 3, де формується у зливков. Стіни кристалізатора охолоджуються водою.

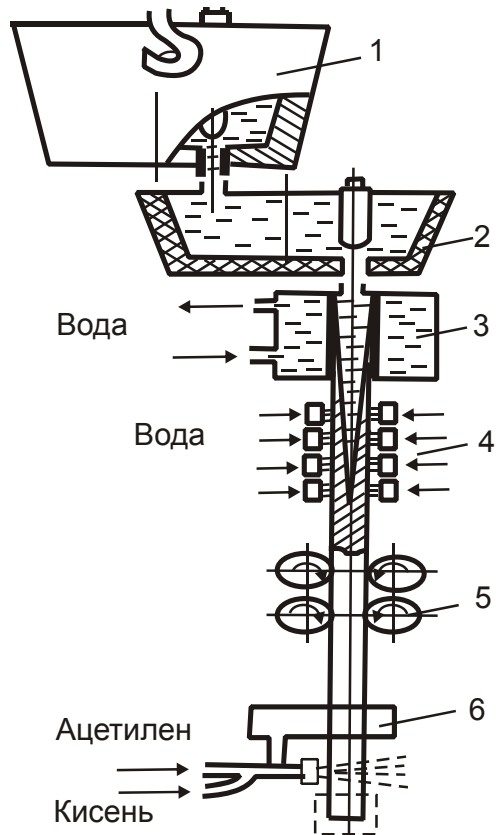


Рис. 7.17. Принципова технологічна схема устаткування безперервного розливання сталі

Внутрішня поверхня відповідає розміру зливка 150×150 мм. Далі зливков потрапляє в зону повторного охолодження. Валки 4 тягнуть зливков у зону 5, де їх розрізають на заготовки.

Безперервне розливання зменшує відходи металу, тому що вихід придатних деталей досягає 96 – 98 відсотків, дає добру поверхню зливків, не потребує виливниць та сифонів, а також побудови дуже дорогих обтискних станів (блюмінгів) для одержання заготовок малого перетину.

Способи підвищення якості сталі. Вакуумна обробка зменшує в 3 – 5 разів вміст O_2 , H_2 , N_2 , а також в 2 – 3 рази –

неметалевих домішок, які впливають з бульбашками газів на поверхню металу і переходять у шлак.

Обробку сталі синтетичними шлаками виконують у ковші, для чого спочатку заливають туди рідкий шлак (45% CaO , 40% Al_2O_3 , 10% SiO_2 , 5% MgO) в кількості 3 – 5% від маси сталі. Потім заливають сталь. Інтенсивне перемішування сталі з шлаком приводить до зниження в сталі кисню, сірки і неметалевих домішок.

Рафінування електрошлаковим переплавленням (рис. 7.18) полягає в тому, що сталь подають в установку у вигляді електрода. Розплавлений шлак (60 – 65% CaF , 25 – 30% Al_2O_3 , CaO та ін.) має великий опір, що приводить до генерації тепла в металі, яке розплавляє електрод. Краплі металу проходять через шлак і трапляють в кристалізатор, де послідовно застигають знизу вгору внаслідок чого метал звільняється від бульбашок газу і неметалевих домішок. Зливки можуть мати масу до 40 т.

Вакуумно-дугове рафінування виконують у вакуумних печах з електродом 6, який переплавляється, внаслідок чого зливоч 3 утворюється в охолодженій виливниці 2. У корпусі 7 підтримують вакуум 1,5 Па, який сприяє очищенню металу від газів. Місткість печей досягає 60 т.

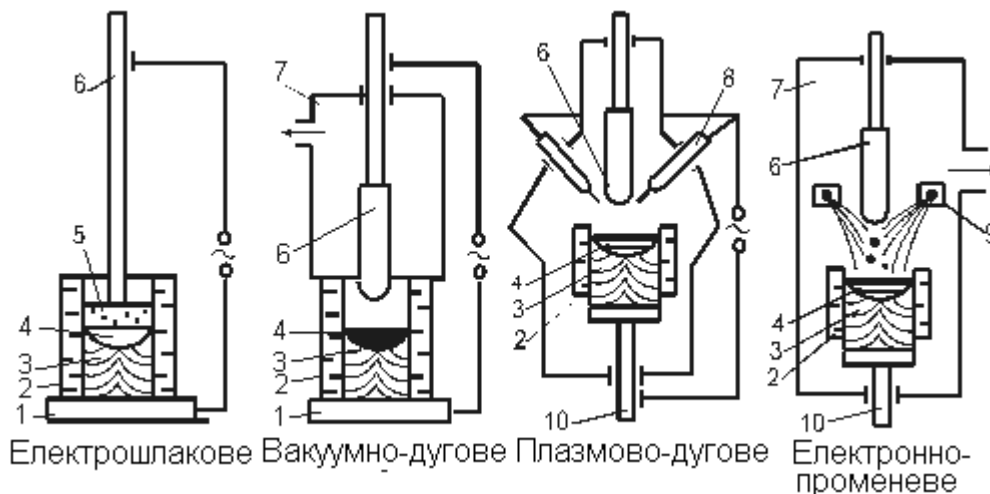


Рис. 7.18. Схеми рафінувального переплавлення

Умовні позначення: 1 – охолоджуваний водою піддон; 2 – кристалізатор; 3 – зливоч; 4 – металева ванна; 5 – розплавлений шлак; 6 – заготовка (електрод), що переплавляється; 7 – вакуумна камера; 8 – плазмотрон; 9 – електронна гармата; 10 – пристрій для витягання злиwkів

Плазмово-дугове переплавлення використовує плазмову дугу з температурою 10 000 – 15 000°C, при якій електрод і металовідходи розплавляються і охолоджуються в кристалізаторі, а зливоч витягують вниз. Висока температура сприяє випаровуванню сірки, фосфору і видаленню неметалевих домішок.

Електронно-променеве переплавлення виконується за рахунок теплоти, яка утворюється від потоку електронів, спрямованих на метал. Переплавлення проводять у вакуумних установках, що сприяє одержанню особливо чистого тугоплавкого металу (W, Mo, Ni та ін.).

Бездоменне виробництво сталі. Сучасні способи отримання сталі ґрунтуються на одержанні чавуну, з якого виплавляють сталь, що потребує великих витрат праці, часу, теплових і матеріальних ресурсів. У схемі бездоменного виробництва сталі (рис. 7.19) сировиною є залізорудний концентрат з 70% Fe, який трубопроводом 2 у вигляді пульпи (суміш з водою) потрапляє у вакуум-фільтри 3, де зневоднюється, потім змішується в барабанах 4 з бентонітом і гранулюється в установці 5.

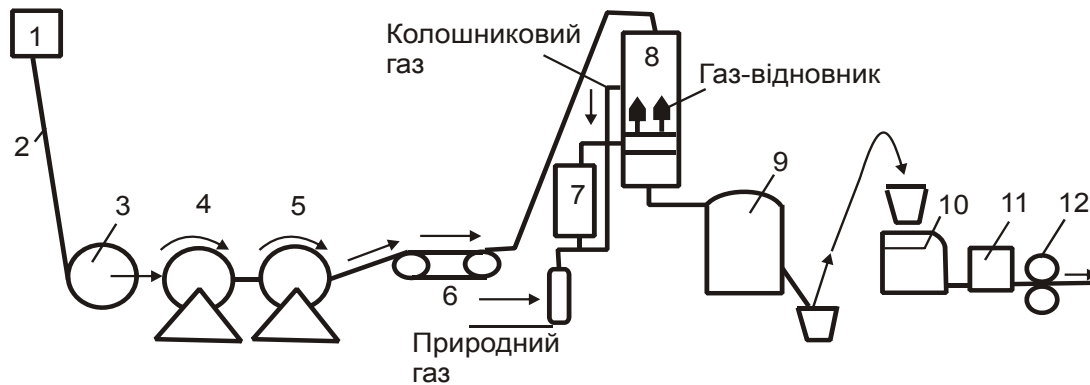


Рис. 7.19. Схема процесу бездоменного виробництва сталі

Котуни обпалюють у печі і подають конвеєром у шахтну піч для прямого відновлення заліза. Знизу в піч подають газ-відновник з температурою 1 000°C під тиском 0,15 Па. Газ одержують у реформері 7 з природного і колошникового газів:

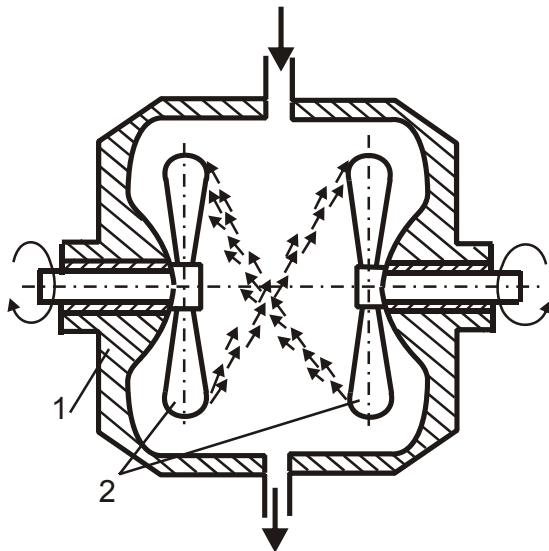
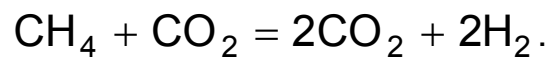


Рис. 7.20. Вихровий млин

У результаті відновлення вміст заліза в котунах досягає 90 – 95%. Котуни переплавляють в електропечі 9 місткістю 150 т в електросталь, яку розливають на установці 10. Зливки підігрівають у печі 11 і прокатують на стані 12.

Виготовлення порошків металів. Порошки розміром 0,5 – 500 мкм отримують механічними та

хімічними способами: у кульовому й вихровому млині (рис. 7.20), методами розпилення й грануляції, фізико-хімічним методом, відновленням з оксидів, електролізом, методом дисоціації та гідрогенізації.

Механічні методи засновані на подрібненні, розмелюванні і розтиранні металу, а також розпиленні рідкого металу струменем води або газу під тиском до 100 МПа (заліза, феросплави, жароміцні сплави, кольорові метали, корозієстійкі сталі).

Хімічні методи полягають у відновленні металів з оксидів або солей вуглецем, воднем чи природним газом (заліза, вольфраму, молібдену, хрому, міді). Використовують також термічну дисоціацію карбонатів для одержання порошків високої чистоти.

Підготовка порошків до формування полягає в тому, що їх відпалюють, розділяють за розміром частинок та змішують. Відпал сприяє відновленню оксидів, видаленню вуглецю та інших домішок і усуненню наклепу. За допомогою набору сит порошки розділяють (розміром більш ніж 50 мкм), а менші розділяють повітряною сепарацією. Змішування компонентів виконують у спеціальних змішувачах. Для поліпшення пресування в шихту додають розчин каучуку в бензині; для кращої механічної обробки – парафін, віск, для покращення лиття – спирт, бензол.

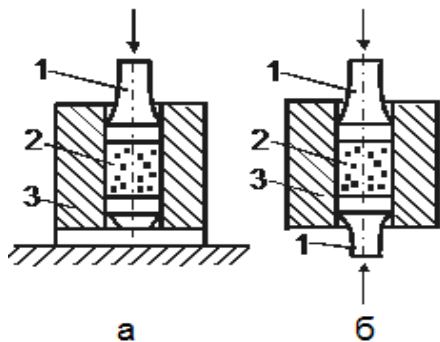


Рис. 7.21. **Схема холодного пресування**

Формування заготовок виконують пресуванням, видавлюванням, прокатуванням. Під час холодного пресування у сталю матрицю (рис. 7.21а) у прес-форми 3 з піддоном засипають шихту 2 і пресують її пуансоном 1. Недоліком способу є нерівномірність міцності по висоті, щільності та пористості. Двостороннє пресування (рис. 7.21б) сприяє усуненню цього недоліку. Формування екструзією (рис. 7.22) дозволяє одержати прутки, трубки, різні профілі.

Прокатуванням порошків (рис. 7.23) виготовляють пористі та компактні стрічки, полоски, листи завдовжки до 3 м і шириною 300 мм із заліза, корозієстійкої сталі, нікелю, титану. Прокатуванням можна також зробити двошарові заготовки (залізо-мідь).

Спінання та додаткова обробка заготовок виконується а печак електроопору та індукційних із захисним середовищем протягом 30 – 90 хвилин при температурі 2/3 від температури плавлення головного компонента. Спінання сприяє відновленню оксидів, розвитку дифузійних явищ, підвищенню міцності заготовок. Обробку заготовок виконують точінням, фрезеруванням, свердлінням, а також піддають різним видам термічної, або хіміко-термічної обробки.

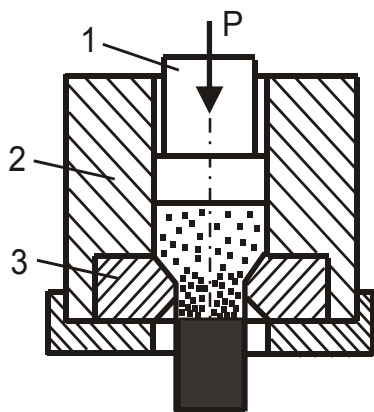


Рис. 7.22. **Схема формування екструзією**

Умовні позначення: 1 – пуансон; 2 – контейнер; 3 – матриця

Спінання та додаткова обробка заготовок виконується а печак електроопору та індукційних із захисним середовищем протягом 30 – 90 хвилин при температурі 2/3 від температури плавлення головного компонента. Спінання сприяє відновленню оксидів, розвитку дифузійних явищ, підвищенню міцності заготовок. Обробку заготовок виконують точінням, фрезеруванням, свердлінням, а також піддають різним видам термічної, або хіміко-термічної обробки.

Продукція порошкової металургії включає конструкційні, інструментальні, електротехнічні та інші матеріали. Серед конструкційних матеріалів – це, насамперед, антифрикційні (підшипники ковзання різного устаткування та приладів), фрикційні з високим коефіцієнтом тертя (гальмові пристрої, диски зчеплення), пористі – для фільтрування рідин і газів.

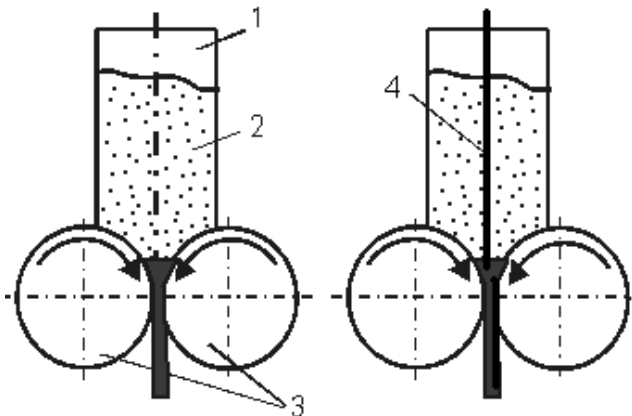


Рис. 7.23. Схема листового прокатування одношарових та двошарових порошків

Умовні позначення: 1 – контейнер; 2 – порошок; 3 – вальці; 4 – перегородка

Інструментальні сплави виготовляють з порошків карбідів WC, TiC, TaC з додаванням порошку кобальту. Вони мають високу твердість, стійкість проти спрацьовування, міцність, теплостійкість, що дуже важливо для різальних інструментів. Тверді сплави поділяються на вольфрамові ВК, титан-вольфрамові ТК і титан-тантал-вольфрамові ТТК.

Окрему групу становлять мінерало-керамічні матеріали, які виготовляють з оксиду алюмінію (99 відсотків) із додаванням оксиду магнію, нітриду кремнію, карбідів туготопких металів і використовують у вигляді пластинок в різальному інструменті. Металокераміка має високу теплостійкість (до 1 200°C), що дає можливість обробляти матеріали і з значно більшими швидкостями, ніж інструментами з твердих сплавів.

Виробництво кольорових металів. Кольорові метали підрозділяють на важкі і легкі. Класифікація кольорових металів наведена на рис. В.6. У техніці найбільш поширене використання міді, цинку, алюмінію, титану, олова, нікелю і свинцю.

Виробництво міді. У чистому вигляді мідь має червоний колір, температуру плавлення 1 083°C, питому вагу 8,9 г/см³, добру електро- і теплопровідність, пластичність.

У землі руди зустрічаються, головним чином, у вигляді колчедану (CuFeS₂), та мідного блиску (Cu₂S). Кількість міді в рудах – від 1 до 5%, тому вони підлягають збагаченню.

Для збагачення використовують флотаційний метод, за допомогою якого вилучають до 90 відсотків міді. Концентрати мають від 15 до 30% міді. Виведення з концентратів вологи й сірки виконується в киплячому

шарі (рис. 7.24). Роздрібнену шихту, в якій концентрат, вапняк і кварц по транспортеру 4 подають в бункер 3, через дозатор 2 вивантажують на під 1. Під впливом повітря 7, яке подається в піч знизу, суміш піднімається в гору і в камері 5 при температурі 600 – 700°C підтримується у зваженому псевдозрідженому стані. Шар частинок ніби кипить і кожна частинка має найкращий контакт з газами. Волога зникає, сірка окислюється, утворюються оксиди заліза, міді і сірчані газу, які вловлюють для одержання сірчаної кислоти.

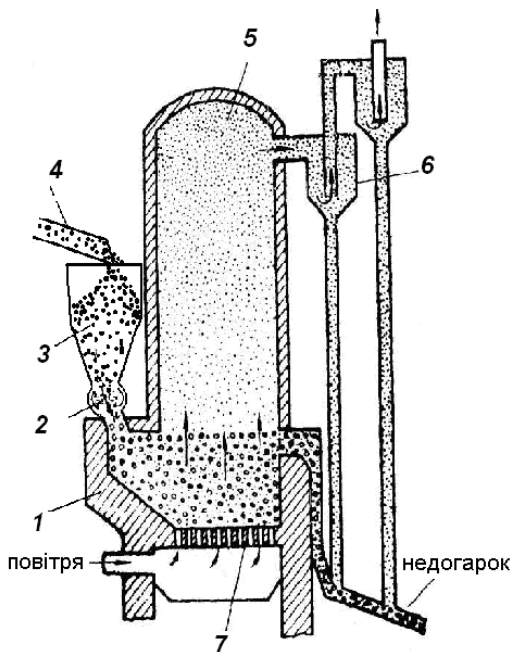
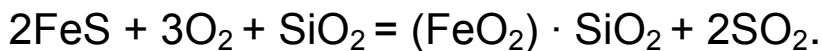


Рис. 7.24. Технологічна схема обпалювання мідної руди в киплячому шарі

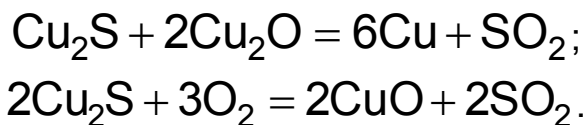
Концентрати після збагачення і випалення подають для одержання штейну – проміжного продукту для виробництва міді. Плавлення на штейн здійснюють у шахтних або полумєневих печах. Частіше використовують полумєневі печі, які мають довжину 28 – 29 м, ширину 9,0 м і площу поду від 170 до 240 м².

Печі працюють на рідкому або газовому паливі і розвивають температуру до 1 500 – 1 600°C, при якій сірчана мідь Cu_2S_2 вступає в з'єднання з оксидною міддю і дає чисту мідь. Штейн має наступний склад: 20 – 50% Cu, 20 – 40% Fe і 22 – 25% S і до 8% кисню та домішок: золота, срібла, цинку, свинцю. На поверхні штейну накопичується шлак, у якому переважає оксидне залізо. Його зливають, а штейн подають в конвертер, де виділяють Fe і S і одержують чорнову мідь.

У процесі продування конвертера повітрям процес розподіляється на два періоди. У першому періоді окиснюються сульфати заліза:



У другому періоді окиснюються сульфати міді:

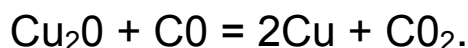


Шлак зливають, а чорнова мідь має 98,5 – 99,5% Cu, газ використовують для одержання сірчаної кислоти. Період бесемєрування

залежить від місткості конвертера і складу штейну. У конвертері місткістю 40 т при 24% Cu в штейні бесемекування триває 15 годин.

Домішки міді (Fe, S, Ni, Co, Au, Ag), крім золота і срібла, дуже знижують її електропровідність, а сірка, вісмут, сурма і свинець знижують пластичність міді. Допустима кількість домішок не повинна перевищувати 0,05 – 0,1%. Тому потрібне рафінування (очищення) міді. Рафінування виконують пірометалургійним та електролітичним способами.

Зміст пірометалургійного способу полягає в подачі через трубки в розплавлену мідь повітря. При цьому окиснюються домішки та мідь. Для вилучення сірчаного ангідриду і відновлення міді виконують операцію “дратування” спочатку вологими жердинами, що приводить до відділення SO₂, а потім обпаленими тестами, які відновлюють мідь за реакцією:



Після цього мідь розливають в анодові плити чи виливки для подальшого електролітичного рафінування.

Електролітичне рафінування засноване на тому, що за встановленої напруги струму, який проходить через електроліт від анода до катода, анод почне розчинятись в електроліті, а на катоді буде осідати метал розчиненого анода. Нерозчинені домішки будуть випадати, утворюючи шлак.

Ванни є бетонними посудинами, вилуженими свинцем, до яких підведені шини з плюсовим полюсом – анодом і мінусовим – катодом. В одній ванні розміщують 20 – 40 анодів і на 1 більше катодів. Ванну заповнюють електролітом, у розчині якого 10 – 16% CuSO₄ (мідного купоросу) і 10 – 16% сірчаної кислоти (H₂SO₄).

Сила струму досягає 10 000 А, а щільність – від 100 до 300 А/м². Катоди виймають через 10 – 12 днів, вони мають вагу від 60 до 90 кг кожний. Витрати електричної енергії – 250 – 300 кВт/г на 1 т міді.

Існує також гідрометалургійний спосіб одержання міді, зміст якого полягає в розчиненні і наступному осадженні міді з розчину, або вилученні з розчину міді шляхом електролізу. Залежно від чистоти мідь виплавляють п'яти марок М0...М4 з кількістю міді від 99 до 99,95%.

Мідь використовують для одержання латуні, яка становить сплав міді з цинком, кількість якого може коливатися від 4 до 45%. Цинк підвищує механічні й технологічні властивості міді. Визначення сплавів латуні: Л 96-латунь містить 96% Cu і 4% Zn або ЛМЖ-59-1-1 має 59% Cu, 1% Mn і 1%Fe, а також 39% Zn.

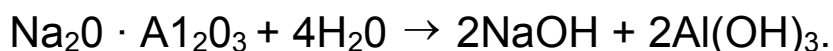
Бронза – це сплав міді з оловом, алюмінієм та іншими металами. Алюмінієві бронзи мають від 4 до 11% Al і використовують їх для виготовлення листів, стрічок, прутків і проводів.

Берилієва бронза (до 2% Be) використовується для виготовлення пружин, мембран. Визначення елементів у бронзі аналогічне до визначення в латуні. Наприклад, Бр. А-5 – це бронза з 5% Al, або Бр. АЖ-9-4 – це бронза, в якій 9% Al і 4% Fe, а інше – мідь 87%.

Широке використання в техніці мають сплави з нікелем – мельхіором, а іноді з домішками незначних кількостей заліза, марганцю, цинку, кобальту, нейзильберу. Сплави використовують як хімічно стійкі до корозії для виготовлення точних приладів, годинників.

Виробництво алюмінію. Алюміній – найбільш поширений елемент у земній корі і займає майже 8%. До руд алюмінію залучають боксити, каоліни, нефеліни та алуніти. У бокситах від 30 до 57% Al_2O_3 , у нефелінах – до 30% Al_2O_3 . Ці руди мають найбільше промислове значення. Технологічний процес одержання алюмінію має дві стадії: одержання Al_2O_3 з руди і алюмінію, з Al_2O_3 – глинозему.

Для одержання глинозему використовують три способи: лужний, кислотний і електротермічний. Найбільш поширений лужний спосіб, зміст якого полягає в тому, що роздрібнену руду промивають лугом в автоклаві при температурі 250°C під тиском 25 – 30 атмосфер. При цьому утворюються розчини алюмінату натрію, домішки осідають, осад фільтрують. Шляхом гідролізу з розчину алюмінату отримують кристалічний гідроксид алюмінію, який підсушують, обезвожують, прожарюють і охолоджують. Відфільтрований водяний розчин алюмінату натрію спрямовують у спеціальні апарати – самовипарники, де відбувається гідроліз алюмінату натрію і відокремлюється гідроксид алюмінію:



Гідроксид алюмінію іде на фільтрування, потім його промивають і подають у печі, де при температурі 1200°C прожарюють. Після прожарювання глинозем стає чистим:



Вихід глинозему з руди досягає 87%. На виробництво 1 т глинозему необхідно 2 – 2,5 т бокситу, 70 – 90 кг NaOH, близько 120 кг вапна, 7– 9 т пари, 160 – 180 кг мазуту і близько 280 кВт·г електроенергії.

Глинозем має температуру плавлення $2\ 050^{\circ}\text{C}$, тому одержати з нього алюміній шляхом відновлення неможливо, оскільки при цьому виникають карбіди Al_4C_3 , а в процесі електролізу із розчину солей на катоді відновлюється тільки водень.

Тому алюміній одержують електролізом із глинозему шляхом розчинення в розплавленому кріоліті – Na_3AlF_6 . Сировиною для одержання кріоліту є плавиковий шпат CaF_2 , а також гідрат оксиду алюмінію, сода і сірчана кислота. Для електролізу глинозему використовують електролізні ванни, які застелені теплоізоляційною цеглою і вугільними блоками. У поді ванни змонтовані катодні шини. Зверху у ванну введені вугільні електроди, які виконують функції анода (рис. 7.25).

Використовують постійний струм напругою від 5 до 10 В і силою від 40 000 до 150 000 А. Струм використовують як для електрохімічного процесу, так і для підігрівання електроліту до $950 - 1\ 000^{\circ}\text{C}$. Під час електролізу кисень взаємодіє з вуглецем і утворює CO і CO_2 , які виводяться з ванни. Рідкий алюміній збирається на дні ванни, звідки його виливають в ківш. У процесі електролізу для одержання 1 т алюмінію необхідно 2 т глинозему, 100 кг кріоліту, 600 кг вугільних електродів і $16\ 500 - 18\ 500$ кВт·г електроенергії.

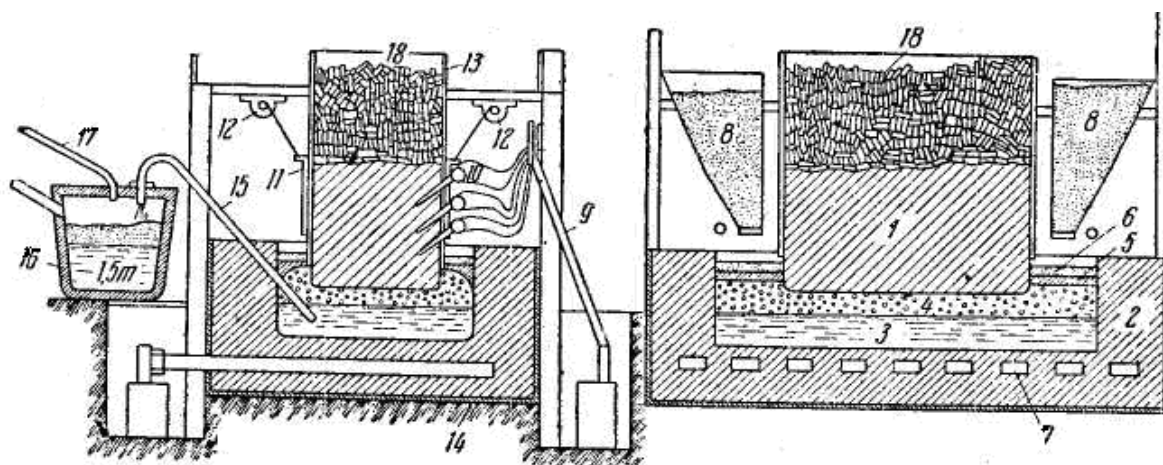


Рис 7.25. Електролізна ванна для електролізу глинозему

Умовні позначення: 1 – вугільний анод; 2 – вугільна футеровка; 3 – рідкий алюміній; 4 – розплавлений електроліт; 5 – кірка електроліту; 6 – глинозем; 7 – катодні шини; 8 – бункер для завантаження глинозему у ванну; 9 – анодна шина; 10 – електроди для підведення струму до аноду; 11 – анодоутримувач; 12 – механізм для підйому аноду; 13 – кожух; 14 – корпус ванни; 15 – труба для відбору алюмінію з ванни; 16 – вакуумний ківш; 17 – труба для вакуумного насосу; 18 – анодно-вуглецева маса

Після електролізу в металі є домішки, які знижують властивості алюмінію. Тому його піддають рафінуванню, яке виконується двома способами: хлоруванням та електролітичним

Зміст хлорування полягає в продуванні алюмінію хлором в ковшах місткістю 1 200 – 1 300 кг при температурі 750 – 770°C протягом 10 – 15 хвилин. При цьому домішки (глинозем, кріоліт, гази та інші) виділяються з алюмінію, а також втрачається до 1% алюмінію. Рафінований алюміній розливають у зливки.

Електричний спосіб рафінування використовують для одержання алюмінію високої чистоти. При цьому способі рафінування Al підлягає анодному розчиненню, а чистий алюміній виконує функції катоду. Між анодним і чистим алюмінієм як електроліт використовують хлористі та фтористі солі. У металі до 99,8 – 99,9% алюмінію.

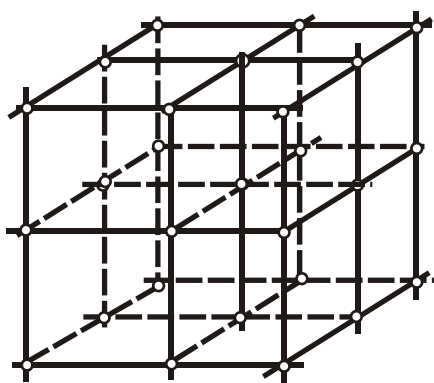
Сплави алюмінію поділяють на дві групи: перша група – ливарні сплави, силуміни, в яких міститься до 13% кремнію і незначні домішки міді та магнію. Вони мають високі механічні та ливарні властивості, стійкі проти корозії, досить легкі, друга група об'єднує сплави дюралюмінію, до складу яких входять мідь, магній, марганець. Ці сплави мають високу тривкість, добре обробляються тиском, прокатуванням, штампуванням, мають широке використання в авіації і машинобудуванні та в будівельній індустрії.

7.3.3. Будова і властивості металів та сплавів

Кристалізація металів. Слід розглянути, як побудовані реальні метали, які деталі й особливості внутрішньої будови визначають їх найважливіші фізико-технічні характеристики. Під фізико-технічними слід розуміти такі характеристики металів (міцність, пластичність, електропровідність, магнітні властивості тощо), від яких залежить нормальна робота виготовлених із них виробів.

Будова реальних металів. За рідкісним винятком, метали в твердому стані – це тіла, що складаються з величезної кількості дрібних, помітних лише в мікроскоп зерен – кристалітів. Ці зерна складаються з атомів, упорядковано розташованих один біля одного в просторі. Розташовуючись у просторі, атоми утворюють контур певного геометричного тіла, наприклад куба (рис. 7.26). Отже, кожне зерно металу складається з безлічі таких однаково зорієнтованих

геометричних тіл, які називаються елементарними комірками. У сусідніх зернах металу ці комірки зорієнтовані по-іншому.



**Рис. 7.26. Схема
упорядкованого
розташування атомів
у зернах металу**

Перебуваючи у вузлах кристалічних решіток, атоми коливаються відносно свого середнього положення з частотою близько 10^{13} Гц, не залишаючи (за винятком деяких особливих випадків) своїх місць.

Що ж утримує атоми на своїх місцях, тобто у вузлах кристалічних решіток? У чому полягає природа твердого стану металів та їхньої міцності? Щоб зрозуміти це, треба пригадати будову атомів. Атом будь-якого металу складається з

позитивно зарядженого ядра та оточуючих його кількох електронних оболонок, які несуть негативний заряд. Кожна оболонка заповнена певною кількістю тісно зв'язаних з ядром електронів, і лише на останній оболонці розміщується кілька електронів, слабо зв'язаних і ядром. Кількість слабо зв'язаних електронів дорівнює валентності металу.

За допомогою валентних електронів атоми металів устанавлюють зв'язки та взаємодіють з атомами інших елементів, у тому числі й металів, а також один з одним. Але не всі валентні електрони беруть участь в утворенні металевого міжатомного зв'язку. Певна їх частина, залишаючи ядра своїх атомів, переходить у міжвузловий простір і утворює електронний газ, що складається з електронів, які втратили зв'язки зі своїми ядрами і стали усупільненими. Завдяки усупільненим електронам метали мають електро- і теплопровідність, характерний металевий блиск і деякі інші суто металеві властивості.

Металевий блиск, наприклад, пояснюється відбиттям світлових променів від усупільнених електронів.

Тип кристалічних решіток металу зумовлюється формою того геометричного тіла, яке становить основу його елементарної комірки. Найбільш поширеними типами кристалічних решіток металів (рис. 7.27) є кубічна об'ємоцентрована (ОЦК), кубічна гранецентрована (ГЦК) та гексагональна щільно упакована (ГЩУ).

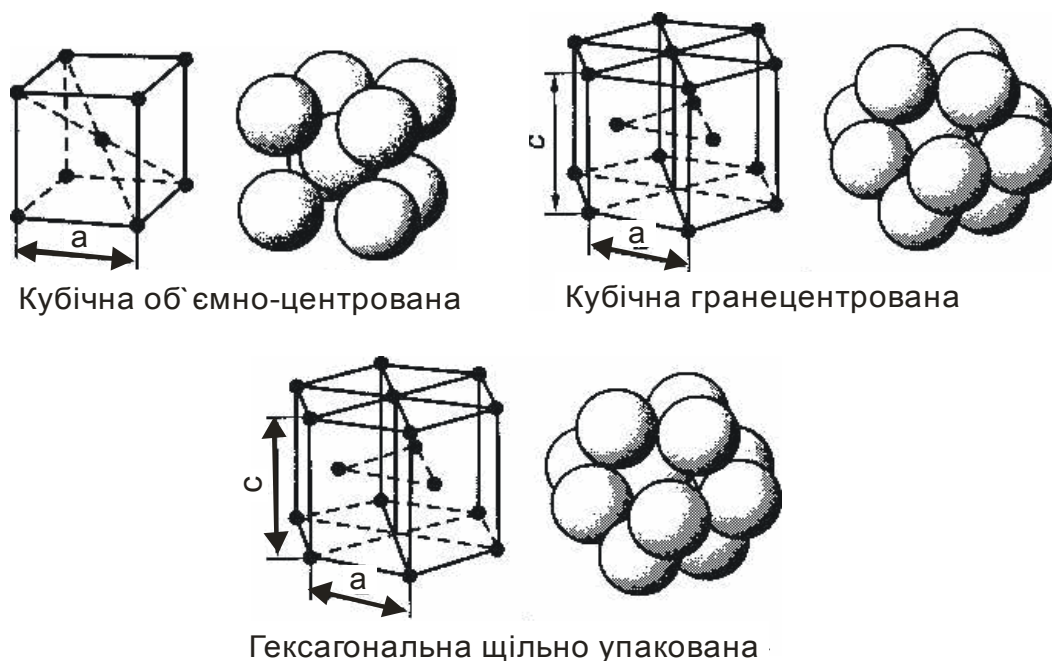


Рис. 7.27. Основні типи кристалічних решіток металів

Як видно з рис. 7.27, у перших двох типів решіток по вісім атомів розміщені у вершинах куба, а решта – в центрі куба на перетині його діагоналей (в ОЦК) або на перетині діагоналей кожної грані, тобто в її центрі (у ГЦК). Комірка решітки ГЦУ є призмою, основами якої є центровані одним атомом шестигранники. Усередині комірки між основами розташовані ще три атоми, які утворюють рівносторонній трикутник.

Кристалічні решітки металів незалежно від типу є щільно упакованими. Це означає, що атоми, які розміщені в їхніх вузлах, дотикаються один до одного своїми зовнішніми електронними оболонками.

Метали розрізняються як за типом кристалічних решіток, так і за параметрами решітки, які є характерними розмірами геометричного тіла, що становить її комірку. Такими розмірами в кубічній комірці є ребро a , в гексагональній – сторона основи a і відстань між основами c (рис. 7.27).

Параметр – це відстань між центрами сусідніх атомів за обраним напрямком, яка виражається в нанометрах (нм) або ангстремах (Å). Як правило, параметри решіток у металах коливаються в межах $2 - 7 \text{ Å}$ (0,2 – 0,7 нм). Найбільш відомі й широко застосовувані в промисловості метали за типом кристалічних решіток можна розділити так:

ОЦК-решітки мають: залізо за звичайних температурних умов, хром, вольфрам, ванадій, молібден, калій і натрій;

ГЦК-решітки мають: нікель, мідь, алюміній, свинець, срібло, залізо та ін. при температурі 911 – 1 392°C;

ГЦУ-решітки мають: магній, цинк, а також кобальт, цирконій і титан при кімнатній температурі.

Як видно, деякі метали залежно від температурних умов мають різне розташування атомів у просторі.

Наприклад, залізо при температурі до 911°C має ОЦК-решітки, до температури 1 392°C перебуває в алотропічній формі ГЦК, а потім аж до температури плавлення знову набуває форми ОЦК.

Здатність металу змінювати тип своїх кристалічних решіток залежно від температури називається алотропією (поліморфізмом). Алотропічні (поліморфні) перетворення властиві також титану, цирконію, олову й іншим металам. Ці перетворення мають велике значення в техніці. Вони, наприклад, уможливають термічну обробку сталі й інших сплавів для зміни їхньої структури та властивостей.

Отже, розгляд кристалічної будови металів свідчить про чітко впорядковане розташування атомів у просторі один відносно одного. З цього випливає властива всім кристалічним тілам така важлива особливість, як анізотропія. Під анізотропією розуміють неоднаковість механічних та інших властивостей монокристалів у різних напрямках. Оскільки властивості вздовж певного напрямку залежать від кількості розташованих на ньому атомів, то анізотропія є закономірним наслідком кристалічної будови. Наприклад, у монокристалів (ОЦК-решітки) властивості вздовж ребер кубів відрізняються від властивостей уздовж їхніх діагоналей, бо вздовж ребра в комірниці нараховується два атоми, а вздовж діагоналі – три (див. рис. 7.27).

Монокристал становить одне велике зерно металу, яке містить величезну кількість однаково зорієнтованих комірок. Реальні метали є полікристалічними тілами, що складаються з величезної кількості дрібних зерен з різним орієнтуванням їхніх комірок. Через це в цілому шматку металу властивості в одних зернах на кожному з напрямків перекриваються їхнім надлишком в інших зернах на цьому самому напрямку, а “середні” властивості в полікристалічному тілі в усіх напрямках виявляються однаковими. Це явище притаманне реальним металам, які мають полікристалічну будову, і називається псевдо ізотропією, або квазіізотропією.

Реальні метали мають ще одну дуже важливу для розуміння їхніх властивостей особливість. Кристалічні решітки їхніх зерен не є

ідеальною геометричною структурою. Їй притаманні такі дефекти, як вакансії, проникні атоми та дислокації. Для розуміння міцності металів важливо усвідомити, що всі дефекти вносять у зерна металу та в їхні кристалічні решітки спотворення і внутрішні напруження.

Не менше значення для властивості зміцнення металу мають будова і стан меж його зерен. Завдяки особливостям кристалізації металу (тобто утворенню зерен з рідкого металу) кристалічні решітки в шарі, що прилягає до меж кожного зерна, містять велику кількість вакансій і недобудованих комірок.

На межі сусідніх зерен стикаються атоми, розташовані на різних кристалографічних площинах, які не є продовженням одна одної, а перетинаються під певним кутом. Це дуже важливо для розуміння таких явищ, як наклеп або зміцнення металу під час пластичної деформації, а також для встановлення залежності міцності від розміру зерна металу. На межах зерен можуть перебувати у вигляді включень різні легкоплавкі неметалеві домішки. Наприклад, у сталі між зернами часом зустрічаються вкраплення сульфіду заліза FeS . Тугоплавкі включення, наприклад сульфіду марганцю MnS , навпаки, розміщуються всередині зерен.

Особливості кристалізації металів. Кожна речовина залежно від температури й тиску може перебувати у твердому, рідкому та газоподібному станах.

У звичайних атмосферних умовах при кімнатній температурі всі метали, за винятком ртуті, є твердими тілами. На відміну від рідин, вони зберігають відповідну форму та розміри і протидіють зовнішнім силам, щоб не змінити ці важливі ознаки. Перехід металів, як і всіх кристалічних тіл, з рідкого стану в твердий відбувається внаслідок природного прагнення будь-якої речовини зменшити запас своєї вільної енергії зі зниженням температури.

Якщо кристалічне тіло перебуває в рідкому стані, то за будь-якої температури, що перевищує точку плавлення T_T , його вільна енергія менша за ту, коли воно за тієї ж температури перебуває в твердому, тобто кристалічному, стані. Але коли його температура стане нижчою за точку плавлення, то нижчий запас вільної енергії буде у твердого стану. Тому, підкоряючись природним законам термодинаміки, метали, як кристалічні тіла, у процесі нагрівання до відповідної температури плавляться (переходять із твердого стану в рідкий), а під час охолодження кристалізуються (стають твердими тілами).

Оскільки властивості металів залежать від форми й розміру їхніх зерен, то важливо знати, як і за яким законом кристалізуються метали і

чи можна керувати розміром зерен, щоб отримувати потрібні властивості. Перед тим як розглянути це питання, слід ознайомитися з кривими нагрівання й охолодження одного з металів – заліза – та усвідомити їхню фізичну суть (рис. 7.28).

Як видно з ходу кривої нагрівання, властиві залізу за низьких температур кристалічні решітки ОЦК зберігаються до 911°C. За цієї температури (рис. 7.28, ділянка 2) ОЦК-решітки перебудовуються в ГЦК-решітки, що потребує деяких витрат енергії. Цим і пояснюється припинення зростання температури, незважаючи на те, що поглинання теплоти металом, який нагрівається, триває.

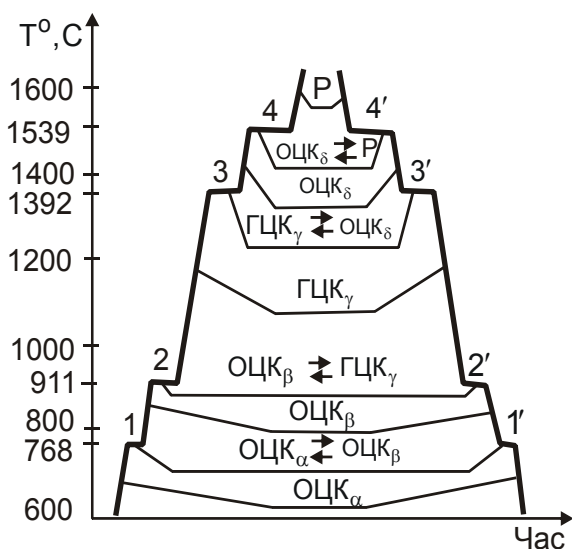


Рис. 7.28. Криві нагрівання й охолодження заліза

Умовні позначення:

1 – 4 – ділянки нагрівання; 1' – 4' – ділянки охолодження

Решітки ГЦК (γ -Fe) утримуються до 1 392°C, після чого вона, згідно із законами термодинаміки, знову перебудовується в решітку ОЦК (рис. 7.28, ділянка 3), яка зберігається до температури плавлення 1 539°C, тобто до руйнування кристалічних решіток. На це витрачається вся теплова енергія, що надходить у метал (рис. 7.28, ділянка 4). Температура не підвищується, доки не закінчиться руйнування решіток. Перехід заліза, як і деяких інших металів (Ti, Zn, Sn), з однієї алотропічної форми в іншу відбувається внаслідок

того, що, змінивши тип кристалічних решіток, вони знижують запас вільної енергії. Показана на кривій нагрівання при температурі 768°C ділянка 1 означає перехід магнітного заліза (α -Fe) ОЦК-решітки в немагнітне залізо (β -Fe) тієї самої решітки.

На кривій охолодження зображено процес переходу заліза з рідкого стану в твердий і показано перетворення, що відбуваються в металі після кристалізації з подальшим охолодженням (рис. 7.28, ділянки 1' – 4'). Наявність ділянки 4' свідчить про те, що, незважаючи на охолодження, тобто відведення з металу теплоти, його температура не знижується, а підтримується на досягнутому рівні – $T_{пл} = 1\,539^\circ\text{C}$.

Тут треба зрозуміти одну важливу обставину. Якщо за температури, що відповідає ділянкам 4 і 4' ($T_{пл}$), до металу підводиться

теплота, то вона витрачається на руйнування його кристалічних решіток, тому температура не підвищується. Але якщо метал вистигає, тобто наявна в ньому теплота виділяється в зовнішнє середовище, і якщо, незважаючи на це, досягнута температура протягом певного часу не знижується, а підтримується на сталому рівні (ділянка 4'), то в металі відбувається процес, пов'язаний із виділенням теплоти. Дійсно, в цей час метал переходить із рідкого стану, в якому його атоми здійснюють широкоамплітудні теплові коливання, у твердий кристалічний стан. При цьому атоми, займаючи певне положення у вузлах кристалічних решіток, ніби заспокоюються, амплітуда їхніх коливань різко зменшується, а вивільнювана теплова енергія підтримує температуру на сталому рівні. Коли вся рідина закристалізується, виділення внутрішньої теплоти припиниться і температура почне знижуватись, що й відображено кривою між ділянками 4' і 3'.

За температур, що відповідають ділянкам 3' і 2' (1 392°C і 911°C), відбуваються поліморфні перетворення: залізо β -Fe переходить у γ -Fe і γ -Fe – в залізо з решітками ОЦК (β -Fe). Ділянка 1' відображає перетворення немагнітного ОЦК-заліза (β -Fe) в магнітне (α -Fe).

З аналізу кривих нагрівання й охолодження заліза стає зрозуміло, що суть плавлення металу полягає в розпаді його кристалічних решіток на блоки, супроводжуваному значним збільшенням кінетичної енергії його атомів, яке пов'язане зі збільшенням амплітуди їхніх коливань. Під час затвердіння заліза відбувається самовільно здійснюваний процес утворення кристалічних решіток металу, який спричиняє різке зменшення енергії руху його атомів. Виділена при цьому прихована теплота кристалізації підтримує температуру сталою до зникнення рідкої фази, тобто до закінчення кристалізації (див. рис. 7.28, ділянка 4').

Перехід металу з рідкого стану в твердий відбувається за схемою, зображеною на рис. 7.29. З досягненням критичної температури $T_{пл}$ у рідині, що вистигає, виникають стійкі центри кристалізації, що складаються з комірок кристалічних решіток (рис. 7.29а). З часом вони обростають іншими комірками, які приєднуються до них з рідини, і перетворюються в зерна металу (рис. 7.29б – е). Слід мати на увазі, що центри кристалізації виникають у рідкому металі безперервно, доки не закінчиться процес кристалізації і кожен центр не перетвориться в зерно.

У міру зростання кристали зіштовхуються один з одним і втрачають притаманну їм правильну форму. На межах зерен будуть недобудовані комірочки.

Там утворюється багато вакансій та інших дефектів, зокрема легкоплавких неметалевих вкраплень і пор, що залягають між зернами.

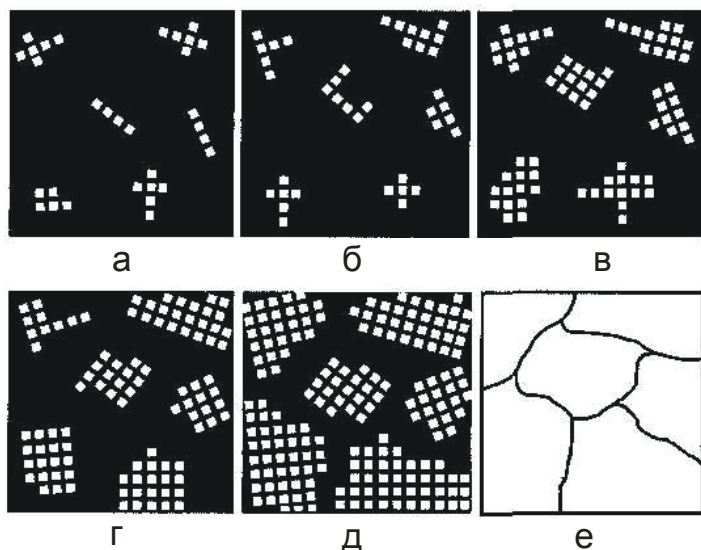


Рис. 7.29. **Схема кристалізації рідкого металу**

Умовні позначення: а – виникнення центрів кристалізації; б – д – обростання їх комірками; е – перетворення центрів у зерна

У місцях із чітко позначеним напрямком відведення теплоти зерна витягнуться вздовж цього напрямку. Там, де такого напрямку немає, вони будуть рівноважними, тобто матимуть однакові розміри в усіх напрямках.

Середній розмір зерен, утворених у процесі кристалізації, залежить від кількості центрів кристалізації. Чим більше таких центрів, тим дрібніше зерно і міцніший метал.

У разі потреби розміром зерна можна керувати. Щоб отримати дрібнозернистий метал, здійснюють його модифікацію, тобто в розплавлений метал вводять невелику кількість спеціальної речовини – модифікатора, який під час кристалізації утворює додаткові центри, внаслідок чого загальна кількість таких центрів, а отже, й кількість утворюваних зерен, збільшується, а їхні розміри зменшуються.

Деякі модифікатори не створюють додаткових центрів кристалізації, а навіть сповільнюють зростання зерен з виниклих центрів. Проте внаслідок цього сповільнення збільшується загальна тривалість кристалізації, отже, зростає сумарна кількість центрів, що зароджуються в рідкому металі. А це сприяє здрібнюванню зерен сплаву.

Фізичні властивості металів. Матеріали, що використовуються для виготовлення різних виробів, повинні мати насамперед певний запас механічних властивостей, які забезпечують неруйнування виробів експлуатаційними навантаженнями. Іншими важливими характеристиками матеріалів є різні фізичні та хімічні властивості – густина, теплота та електропровідність, здатність до опору корозії тощо.

Особливо виділяються технологічні властивості матеріалів, від яких залежить спосіб виготовлення з даного матеріалу тієї чи іншої деталі. До них належать ковкість, ливарні властивості, оброблюваність різальним інструментом, властивість прогартовуватись, рідкоплинність.

Найбільш універсальними властивостями є механічні. Це пояснюється тим, що багато виготовлених виробів під час експлуатації підлягають дії навантажень, які породжують сили, що впливають на матеріал і створюють у ньому розтяжні, стискальні або дотичні (зсувні) напруження та відповідні їм деформації. Під механічними розуміють комплекс властивостей, які відображають можливість матеріалу протидіяти деформаціям від дії прикладених сил. Деформація – це зміна форми й розміру виробу. Вона може бути розтяжною, стискальною і зсувною. Розтягання призводить до збільшення поздовжнього розміру виробу (або випробуваного зразка) у напрямку діючої сили і відповідного зменшення розміру в поперечному напрямку. У разі стискання, навпаки, поздовжній розмір виробу зменшується, а поперечний – збільшується. Зсув спричиняє зміщення однієї частини матеріалу виробу (зразка) відносно іншої вздовж якої-небудь площини. Наприклад, під час скручування стрижня відбуваються деформації зсуву або зрізу.

Залежно від поведінки деформованого металу після зняття прикладеної сили кожна з описаних деформацій може бути пружною або залишковою. Пружна деформація після зняття сили, яка її викликала, цілком зникає, і всі розміри виробу (зразка), поздовжні та поперечні, залишаються без зміни. При цьому не змінюється також взаємне розташування атомів у кристалічних решітках. Пояснюється це тим, що зумовлені зовнішньою силою тимчасові зміни відстаней між атомами, які дорівнюють параметру решіток, а також зміщення сусідніх атомів один відносно одного, які призводять до спотворення решіток, усуваються завдяки зумовленій металевим зв'язком міжатомній взаємодії.

Якщо діючі сили та породжені ними напруження досить великі, то у виробі (зразку) відбуваються залишкові, тобто незворотні переміщення матеріалу, які зберігаються й після зняття навантаження. Разом із цим змінюються форма і розміри виробу (зразка). Така деформація матеріалу називається пластичною. Розвиток пластичної деформації може закінчитися руйнуванням деталі. Але якщо навіть руйнування і не відбулося, деформація може спричинити вихід з ладу всієї машини або агрегату.

Сумарна пластична деформація металу складається з переміщень в його окремих зернах, які витягуються і набувають довгастої форми. Пластична деформація є наслідком масового переміщення величезної кількості дислокацій, що існують у зернах і виникають під впливом напружень.

Дислокації послідовними стрибками розміром з параметр решітки переміщуються до меж зерен. Внаслідок масового виходу дислокацій у різних місцях зерна утворюються сходинки, вздовж яких воно ніби розшаровується, і його частини зсуваються одна відносно одної. Подальший розвиток дислокаційного процесу призводить до необоротного витягування зерен, що й становить суть пластичної деформації металу.

Отже, механічні властивості відбивають переважно здатність матеріалу здійснювати опір пластичній деформації і характеризують його поведінку в процесі її розвитку. Як правило, до таких властивостей належать твердість, міцність, пластичність і ударна в'язкість.

Твердість – це здатність матеріалу чинити опір проникненню в нього (під дією сили) наконечника з іншого, твердішого матеріалу. Під час проникнення наконечника в матеріалі відбувається локальна пластична деформація. Отже, твердість матеріалу – це його опір зосередженій (локальній) пластичній деформації.

Твердість вимірюють спеціальними приладами – твердомірами. Найбільш поширеним методом вимірювання є втискування стандартного наконечника–ідентора в поверхню зразка з досліджуваного матеріалу. У разі вимірювання твердості за методом Бринеля (прилад ТШ) ідентором служить загартована сталева кулька (рис. 7.30а), яка під певним навантаженням P протягом певного часу втискується в матеріал, залишаючи на його поверхні ямку діаметром d . Оскільки глибина і діаметр ямки залежать від опору матеріалу пластичній деформації, викликаний кулькою, що проникає в матеріал, то мірою твердості, за Бринелем, вважають число, яке дорівнює відношенню сили P до площі сферичної поверхні ямки F :

$$HB = \frac{P}{F} \quad \text{або} \quad HB = \frac{2 \cdot P}{(\pi \cdot D) \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Вимірюючи твердість на практиці, її значення не обчислюють за наведеною формулою, а знаходять у спеціальній таблиці за виміряним

лупою діаметром відбитка d . У таблиці проти значень d зазначені відповідні значення твердості НВ. Твердість, за Бринелем, оцінюють у мегапаскалях (МПа). Якщо матеріал має дуже високу твердість, особливо коли вона вища за твердість кульки приладу Бринеля, то для її вимірювання користуються приладом Роквела, наконечник якого оснащений конусом, виготовленим із найтвердішого матеріалу – алмазу.

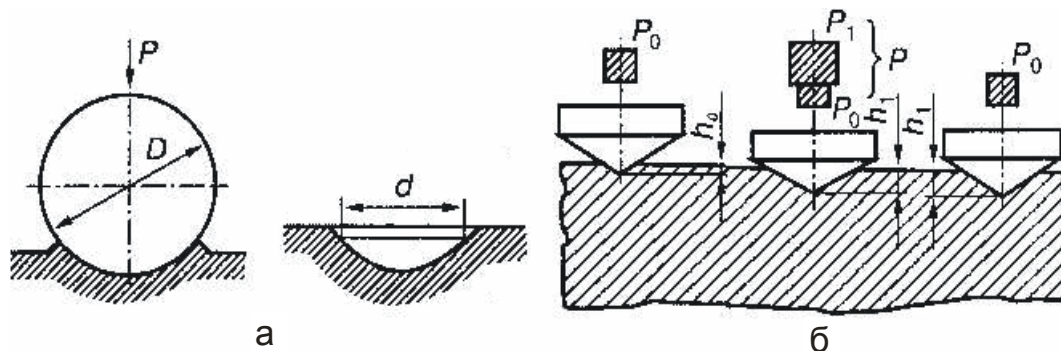


Рис. 7.30. **Схема вимірювання твердості металу**

Умовні позначення: а – за методом Бринеля; б – за методом Роквела

Приладом Роквела користуються також для вимірювання твердості порівняно м'яких матеріалів. До його комплекту входить наконечник, оснащений сталеву кулькою діаметром 1,5875 мм.

Вимірювання твердості за Роквелом складається з трьох етапів (рис. 7.30б). На першому етапі наконечник проникає в матеріал на глибину h_0 , мм, створювану вручну попереднім навантаженням P_0 , що дорівнює 100 Н. Потім прикладають основне навантаження P , яке включає, крім попереднього, додаткове навантаження P_1 , що становить 500, 1 400 або 900 Н залежно від роду випробуваного матеріалу. Під цим навантаженням наконечник протягом певного часу проникає в матеріал на деяку глибину h_1 .

На третьому етапі додаткове навантаження P_1 мають і при збереженому попередньому навантаженні P_0 проводять відлік твердості. Для цього на приладі є індикатор зі стрілкою і двома шкалами – чорною та червоною. За чорною шкалою встановлюють твердість, виміряну алмазним конусом, а за червоною – сталеву кулькою. Шкали нанесені на диск. Кожна поділка відповідає проникненню наконечника на глибину 0,002 мм. Числа твердості, встановлені за чорною шкалою, для повного навантаження ($P_0 + P_1$), що дорівнює 1 500 Н, позначаються HRC, а для навантаження 600 Н – HRA. Твердість, яку вимірюють кулькою, позначається HRB (навантаження – 1 000 Н).

Твердість, яку показують стрілки на шкалах, обчислюють за формулами:

$$HRC \cdot (HRA) = 100 - \frac{(h - h_0)}{0,002};$$

$$HRB = 130 - \frac{(h - h_0)}{0,002},$$

де h – залишкова глибина проникнення після зняття додаткового навантаження P_1 ;

h_0 – глибина проникнення при попередньому навантаженні P_0 .

Міцність характеризує опір матеріалу пластичній деформації, що виникає під дією прикладеної сили. Її характеристиками є умовні числа – межі, що встановлюються під час механічних випробувань.

Найчастіше застосовують випробування на розтягання, у процесі яких спеціально виготовлені циліндричні або плоскі стандартні зразки розтягують на розривній машині. Під час випробування машина вимальовує діаграму розтягання в координатах: видовження зразка Δl , мм; навантаження P , Н (рис. 7.31а). Після опрацювання цієї діаграми будують діаграму напружень (рис. 7.31б) і знаходять відповідні межі, які є характеристиками міцності.

Напруження σ (Па) обчислюють, поділивши силу P на початкову площу поперечного перерізу зразка p_0 , і відкладають на осі ординат. На

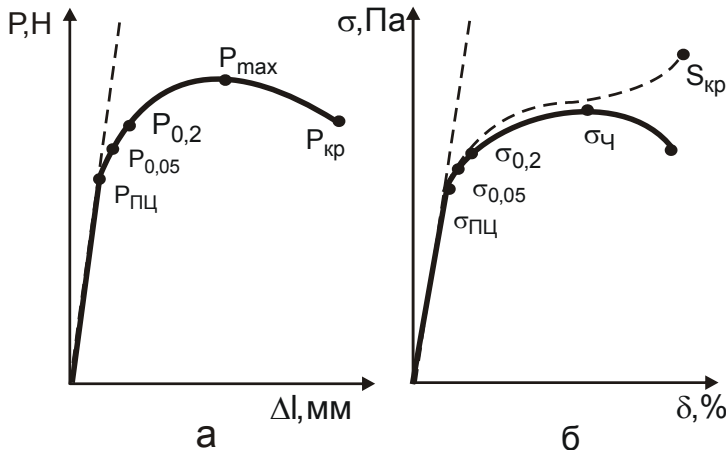


Рис. 7.31. Діаграми розтягання (а) та напружень (б) у процесі механічних випробувань

осі абсцис – відносні видовження $\delta\%$, які обчислюють діленням абсолютного видовження зразка Δl на його початкову довжину l_0 . Абсолютне видовження є різницею між довжиною зразка в момент вимірювання l_1 і початковою довжиною l_0 : $\Delta l = l_1 - l_0$.

Випробовуючи зразок на розтягання, визначають такі основні характеристики

міцності, як межі пропорційності, пружності та плинності, часовий (межа міцності) та істинний опір розриву.

Межа пропорційності $\sigma_{пр}$ є найбільшим напруженням, після якого деформація залишається ще пружною, але порушується пропорційність між навантаженням і деформацією (рис. 7.31б):

$$\sigma_{\text{пр}} = P_{\text{пр}} / p_0.$$

Умовною межею пружності $\sigma_{0,05}$ беруть напруження, за якого залишкове видовження зразка становить 0,05% від початкової довжини l_0 :

$$\sigma_{0,05} = P_{0,05} / F_0.$$

Фізична межа плинності $\sigma_{\text{пл}}$ є напруженням, за якого зразок деформується без збільшення навантаження $P_{\text{пл}}$:

$$\sigma_{\text{пл}} = \frac{P_{\text{пл}}}{F_0}.$$

Ця межа характерна для незагартованих сталей. Умовна межа плинності $\sigma_{0,2}$ є напруженням, за якого залишкове видовження зразка становить 0,2% від його початкової довжини.

Часовий опір, або межа міцності $\sigma_{\text{ч}}$ – це напруження, створюване в зразку найбільшим навантаженням P_{max} , яке досягається під час його дослідження перед руйнуванням:

$$\sigma_{\text{ч}} = P_{\text{max}} / F_0.$$

Істинний опір розриву $\sigma_{\text{кр}}$ – напруження, створюване в матеріалі під час руйнування зразка. Для його обчислення потрібно навантаження в момент руйнування зразка $P_{\text{кр}}$ поділити на площу поперечного перерізу $F_{\text{кр}}$ в місці розриву: $\sigma_{\text{кр}} = P_{\text{кр}} / F_{\text{кр}}$.

Пластичністю називається здатність матеріалу до пластичної деформації. Її характеристиками є відносне видовження δ , %, і відносне звуження ψ , %, які обчислюються за формулами:

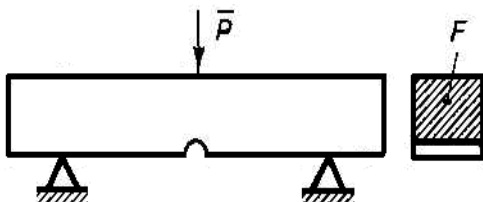


Рис. 7.32. Зразок для

визначення ударної в'язкості

де $l_{\text{кр}}$ і $P_{\text{кр}}$ – довжина зразка в зруйнованому стані і площа його поперечного перерізу в місці руйнування – шийці.

$$\delta = \frac{l_{\text{кр}} - l_0}{l_0} \cdot 100;$$

$$\psi = \frac{F_0 - F_{\text{кр}}}{F_0} \cdot 100,$$

Ударна в'язкість матеріалу показує його здатність чинити опір руйнуванню під час ударного прикладання навантаження P . Її визначають за результатами ударного руйнування на маятниковому копрі спеціального брускового зразка з надрізом (рис. 7.32). Ударну в'язкість K_{CU} обчислюють діленням витраченої на руйнування зразка роботи A на його робочий переріз F : $K_{CU} = A/F$.

7.4. Технології машинобудівного виробництва

7.4.1. Технологічні процеси виготовлення заготовок

Основи технології зварювання металів. Зварювання – це процес виготовлення нероз'ємних з'єднань твердих матеріалів за рахунок міжмолекулярних і міжатомних сил зчеплення. Для цього атоми зварювальних матеріалів необхідно зблизити на рівні параметрів кристалічних решіток цих матеріалів, що досягається за рахунок нагрівання їх поверхні до розплавленого або пластичного стану.

Сучасні способи зварювання класифікують за станом металу в процесі зварювання і за видом енергії зварювання [7].

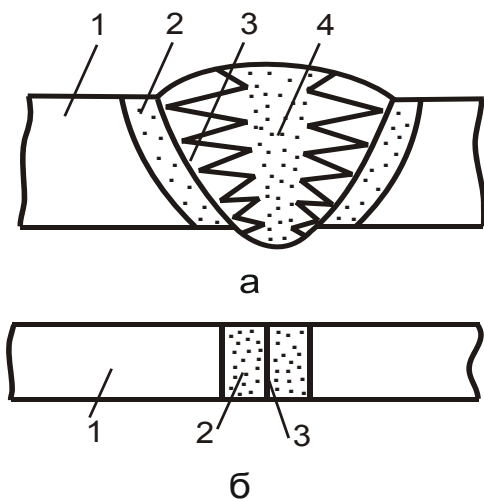


Рис. 7.33. Схеми зварних з'єднань:

- а – зварювання плавленням;**
- б – зварювання тиском**

Умовні позначення: 1 – зварюваний метал; 2 – зона з'єднання; 3 – зона сплавлення (термомеханічного впливу); 4 – зварювальний шов

За ознакою розрізняють зварювання *плавленням і тиском*. Схеми зварювальних з'єднань наведені на рис. 7.33. У процесі зварювання плавленням кромки з'єднаних деталей нагрівають до розплавленого стану з утворенням загальної ванни, яка після охолодження утворює шов, що з'єднує поверхні деталей. У процесі зварювання тиском поверхні деталей нагрівають до пластичного стану, а потім прикладають механічні зусилля – стискання.

Для нагрівання металів застосовують: електричну, хімічну, механічну і променеву енергію. Найбільш поширені електричні

способи зварювання, які розподіляються на: дугові, електрошлакові, контактні, індукційні, плазмові. Хімічні способи об'єднують газове і термічне зварювання, засноване на використанні тепла екзотермічних реакцій окиснення різних речовин.

Механічні способи зварювання об'єднують: горнове, холодне тиском, тертям, вибухом і ультразвуком.

Променеві способи зварювання включають: електронно-променеве, лазерне та сонячними променями.

Електричне зварювання. У процесі ручного дугового зварювання електродом, що плавиться (рис. 7.34), дуга між стрижнем електрода і зварюваним металом сприяє їх плавленню. Краплі розплавленого електрода переносяться в зварювану ванну через дуговий проміжок.

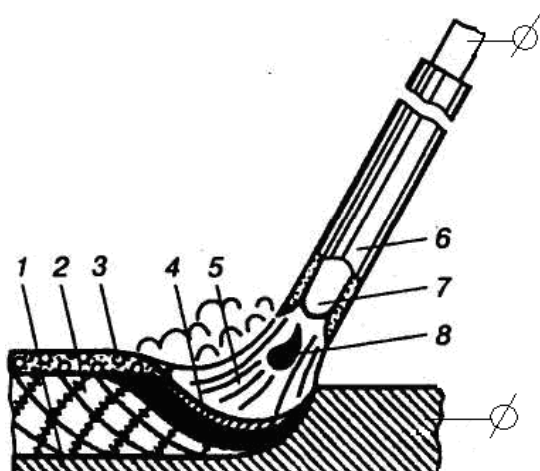


Рис 7.34. Схема ручного дугового зварювання

Умовні позначення: 1 – зварюваний метал; 2 – зварювальний шов; 3 – шлакова кірка; 4 – ванна; 5 – дуга; 6 – електрод; 7 – стрижень; 8 – крапля розплаву електрода

Разом зі стрижнем плавиться й електродне покриття, створюючи газовий захист навколо дуги та рідку шлакову ванну, яка разом із розплавленим металом утворює зварювану ванну.

У процесі пересування дуги метал зварюваної ванни кристалізується й перетворюється в зварювальний шов, на поверхні якого утворюється шлакова кірка, яку видаляють після охолодження зварювального шва. Зварювальна дуга – це потужний електричний розряд у газах, який супроводжується виділенням значної кількості тепла і світла. Дуга складається з катодної,

анодної частини і стовпа дуги, який займає майже весь простір і розвиває температуру до 6 000 – 7 000°C. Близько 50% тепла йде на нагрівання виробу; до 30% – на нагрівання електрода і 20% витрачається в навколишнє середовище. У разі живлення дуги постійним струмом близько 42% тепла виділяється на аноді, до 38% – на катоді і до 20% – у стовпі дуги. Напруга для запалювання дуги повинна бути не нижчою ніж 30 – 35 В – для постійного струму і 50 – 55 В – для змінного струму. Для стійкого горіння дуги досить напруги 18 – 30 В. Для зварювання використовуються джерела живлення постійного струму при прямій (виріб – анод) і зворотній полярності (виріб – катод), а також джерела змінного струму промислової частоти.

Зварювальні трансформатори використовують для зниження напруги мереж (220 або 380 В) до (60 – 80 В). Зварювальні генератори постійного струму бувають однопостові і багатопостові, від яких водночас працюють декілька зварювальних постів.

Ручне дугове зварювання (див. рис. 7.34) застосовують для виконання зварних з'єднань практично всіх типів з металів завтовшки 2 – 60 мм. Зварювальні електроди подаються в дугу й переміщуються вздовж виробу зварником вручну. Електроди, що плавляться, виготовляються відповідно до ГОСТ 2246-75 із зварювального дроту: вуглецевого (Св-08, Св-08А, Св-10ГА та ін.) та легованого (Св-10М2СА, Св-10Х18Н10Т, Св-12Х11НМФ та ін.). У марці дроту літери Св означають зварювальний, а цифра, що стоїть після цих літер, – вміст вуглецю в сотих частках відсотка. Подальші позначення розшифровуються, як і у відповідних марках сталей. Для електродів використовують металеві стрижні (дріт) діаметром 1,6 – 12 мм і завдовжки 200 – 450 мм, на які нанесено шар покриття завтовшки 0,5 – 3 мм. До складу покриття для якісних електродів додають компоненти, які, відповідно до їх призначення, можна розбити на такі групи: стабілізаційні, які утримують метали з малим по-тенціалом іонізації (крейда, поташ, діоксид титану); газотвірні, призначені для захисту розплавленого металу від кисню й азоту повітря відновлюваними газами, що утворюються під час згоряння органічних речовин (крохмаль, декстрин, целюлоза); які утворюють шлаки (польовий і плавиковий шпати, крейда, марганцева руда); легувальні й ті, що розкислюють, які вводяться у вигляді феросплавів Mn, Si, T; що зв'язують (рідке скло).

Стандарти на електроди (для вуглецевих і легованих сталей – ГОСТ 9467-75) визначають типи електродів: Е42, Е42А, Е55 та ін. Цифра в марці електрода означає гарантовану межу міцності металу зварювального шва ($\sigma_B = 420$ або 550 МПа). Для електродів типу Е42 використовується дріт Св-08, а типу Е42А – Св-08А.

Таким чином, для ручного дугового зварювання використовують штучні електроди, які можуть бути графітовими діаметром від 6 до 30 мм, завдовжки 200 – 300 мм і металевими діаметром 1,6 – 12 мм і довжиною 150 – 450 мм. Електроди виготовляють: 6 марок з низьковуглецевої сталі, 30 – з легованої і 39 – з високолегованої сталі.

З метою підвищення стійкості горіння дуги, захисту металу від

взаємодії з повітрям на поверхню електродів наносять покриття (сполуки лужних, лужноземельних металів, речовини, які утворюють шлаки, карбонати, целюлозу, марганець, титан, кремній).

Покриття електродів виконують пресуванням їх із наступним просушуванням і пропалюванням.

Основні типи з'єднань у процесі ручного зварювання показані на рис. 7.35.

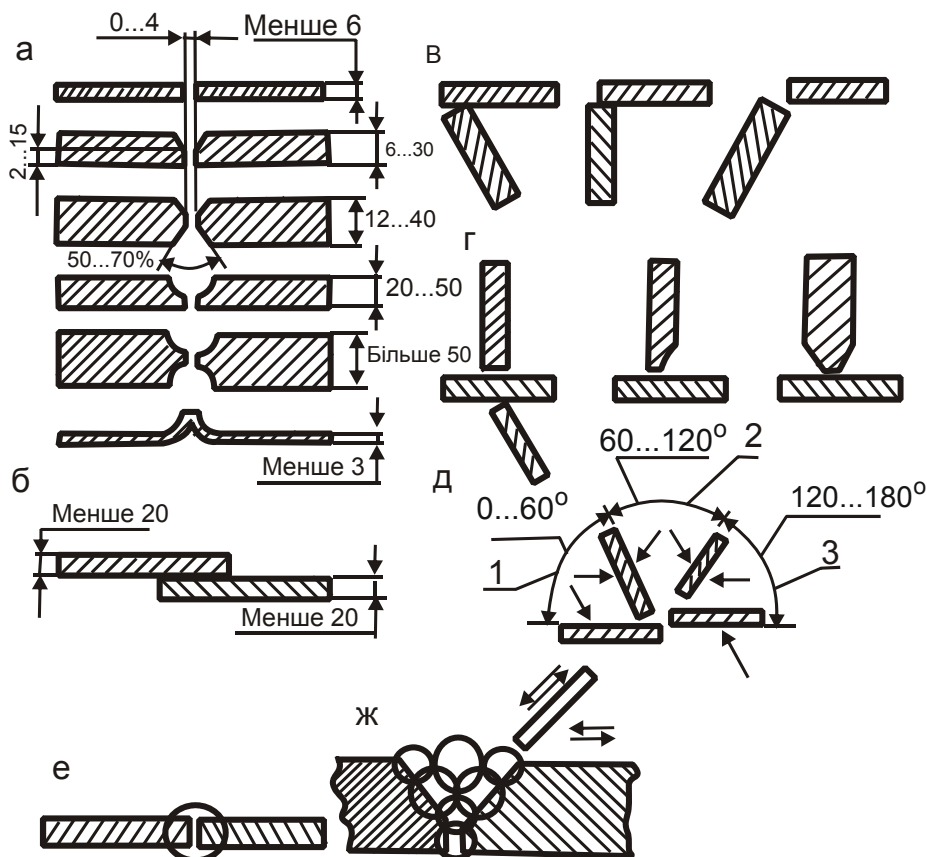


Рис. 7.35. Основні види зварних з'єднань і швів

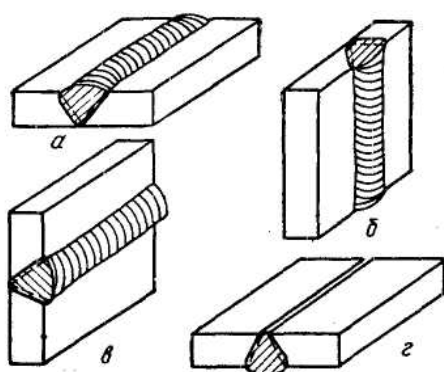


Рис. 7.36. Схема просторового розміщення швів

Найзручніше зварювати горизонтальні й нижні шви 1, де метал не витікає з кратера. Гірше – вертикальні 2, напівстельові і особливо стельові 3, які виконують дуже короткою дугою і електродами діаметром не більше ніж 4 мм, що полегшує перехід краплі з електрода на деталь. Приклад просторового розміщення швів наведений на рис. 7.36 (а – горизонтальні; б і в – вертикальні; г – стельові).

Автоматичне дугове зварювання під флюсом. Це спосіб зварювання (рис. 7.37), у разі застосування якого дуга горить під шаром зварювального флюсу (неметалевого сипкого матеріалу), чим забезпечується якісний захист металу зварюваної ванни від газів повітря. Зварювальна дуга горить між електродним дротом і зварюваним металом під шаром флюсу, який подається з бункера. Частина флюсу, що оточує дугу, розплавляється, утворюючи на поверхні зварюваної ванни шар рідкого шлаку, під яким створюється порожнина, заповнена паром металу, флюсу та газами. У міру переміщення дуги метал і шлак тверднуть, утворюючи зварювальний шов, покритий шлаковою кіркою. Подавання дроту в дугу зі швидкістю $V_{ед}$ і переміщення автомата вздовж виробу зі швидкістю $V_{взд}$ здійснюються за допомогою відповідних механізмів. Струм підводиться до дроту від джерела живлення. Виліт електрода, який перебуває під струмом, дорівнює 40 – 50 мм, що дає змогу використовувати струм великої сили. Автоматичне дугове зварювання під флюсом застосовують у заводських і монтажних умовах

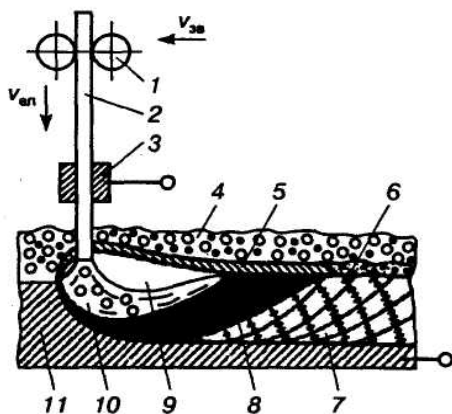


Рис. 7.37. Схема автоматичного дугового зварювання під флюсом

Умовні позначення: 1 – механізм подавання електродного дроту; 2 – електродний дріт; 3 – струмовідвід; 4 – шар флюсу; 5 – шар рідкого шлаку; 6 – шлакова кірка; 7 – зварювальний шов; 8 – зварювана ванна; 9 – порожнина з паром металу, флюсу та газами; 10 – зварювальна дуга; 11 – зварюваний метал

для зварювання швів значної довжини в нижньому положенні та кільцевих поворотних швів. Зварюють сталь, алюміній, титан, мідь і їхні сплави (товщина виробу 2 – 300 мм).

Перевагами автоматичного дугового зварювання під флюсом є: висока продуктивність (у 5 – 10 разів вища, ніж під час ручного дугового зварювання) завдяки застосуванню струмів великої сили, більшій глибині проплавлення, відсутності втрат металу на вигорання і розбризкування та механізації процесу; висока якість зварювальних швів за рахунок якісного захисту металу під час зварювання та їх рівномірного

формування; поліпшення умов праці зварників та ін. Недоліки цього виду полягають у труднощах зварювання коротких швів, а також швів,

розташованих у складних просторових середовищах і важкодоступних місцях. Таким чином, у процесі автоматичного дугового зварювання всі основні операції процесу запалювання дуги, подавання зварювального дроту до виробу, підтримання постійної довжини дуги і переміщення дуги в напрямку зварювання механізovanі. Голий дріт і флюси подаються до виробу окремо під час зварювання під флюсом.

Електрошлакове зварювання засноване на тому, що основний і присадний метал розплавляються теплотою, що виділяється під час проходження електричного струму через електропровідний шлак – розплавлений флюс (рис. 7.38).

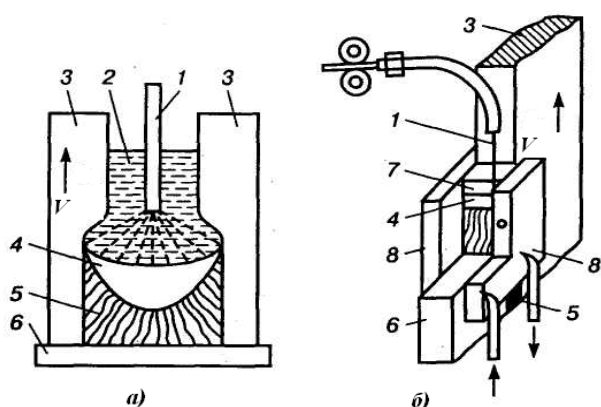


Рис. 7.38. **Схема**

електрошлакового зварювання

Умовні позначення: 1 – електрод; 2 – охолоджувальна вода; 3 – зварювані деталі; 4 – металева ванна; 5 – зварювальний шов; 6 – технологічна планка; 7 – шлакова ванна; 8 – формувачі

На початку процесу створюють дугу, яка розплавляє флюс, що засипається в порожнину, утворену крайками зварюваних деталей, формувачів і початковою технологічною планкою. Після утворення шлакової ванни дуга гасне і дуговий процес переходить в електрошлаковий. У нагрітому до температури 2 000°C шлаку плавиться електрод і сплавляються краї зварюваних деталей, встановлених із проміжком 20 – 50 мм. Для формування

зварювального шва та утримання шлакової й металевої ванн від витікання використовують формувачі – мідні повзуни, охолоджувані водою і переміщувані разом із зварювальним апаратом по бічних поверхнях деталей. Метал, що кристалізується в нижній частині металевої ванни, утворює зварювальний шов.

Головна перевага електрошлакового зварювання – це можливість виконання його за один прохід по металу (стальні, алюмінієві і титанові сплави) практично будь-якої товщини (20 – 3000 мм), тому продуктивність цього процесу у 5 – 15 разів вища, ніж автоматичного дугового зварювання під флюсом. Електрошлакове зварювання дає змогу виконувати вертикальні та кільцеві шви. У разі виконання кільцевого шва зварювані деталі обертаються на роликівому стенді відносно нерухомого зварювального апарата і формувачів.

Дугове зварювання в захисних газах полягає в тому, що для захисту розплавленого металу від шкідливої дії кисню і азоту повітря в зону дуги подають струмінь захисного газу (аргон, гелій), який відтискає повітря від місця зварювання.

У разі аргон-дугового зварювання використовують аргон, який добувають з повітря, де його за об'ємом близько 1%. Транспортують і зберігають аргон у балонах місткістю 40 л під тиском 15 МПа. Постійним струмом зварюванням аргонем виготовляють вироби з нержавіючої і жароміцної сталі, нікелю та його сплавів, міді та її сплавів, титану, цирконію, молібдену, танталу завтовшки 0,1 – 6 мм. Змінним струмом зварюють алюміній, магній і їх сплави.

Зварювання у вуглекислому газі – найбільш поширене для маловуглецевих, низьколегованих і деяких високолегованих сталей. Вуглекислий газ постачають у балонах місткістю 40 л під тиском 7,5 МПа, де міститься 25 л рідкої вуглекислоти. Зварювання здійснюють автоматичним або напівавтоматичним способом.

Контактне зварювання ґрунтується на розігріванні зварюваних виробів Джоулевым теплом і механічному стисканні розігрітих виробів. Найбільш поширене стикове, точкове і шовне зварювання.

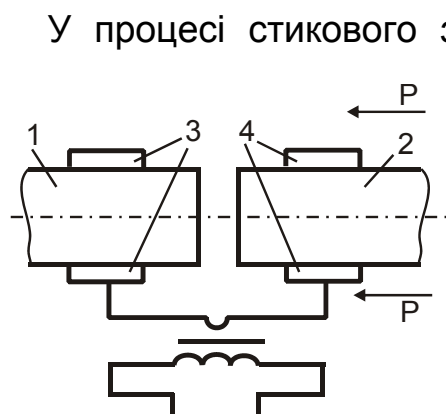


Рис.7.39. **Схема**

стикового зварювання

Умовні позначення: 1, 2 – зварювані деталі; 3, 4 – нерухомий і рухомий затискачі – електроди

У процесі стикового зварювання (рис. 7.39) зварювані деталі 1 (стрижні, рейки, труби) закріплюють у мідних затискачах машини. Затискач 4 закріплено на рухомій плиті, а затискач 3 – на нерухомій. Вторинний виток з трансформатора з'єднується з плитами гнучкими шинами. Первинну обмотку трансформатора ввімкнено в мережу через вимикач.

Для регулювання зміни сили зварювального струму використовують перемикач. Переміщення плити і стискання зварювальних виробів здійснюється механізмом стискання.

Точкове зварювання застосовують для з'єднання листових конструкцій, де більше уваги приділяється міцності, а не щільності. Сумарна товщина двох листів не більше 10 – 12 мм. Складені внапуск деталі 2 і 3 (рис. 7.40) затискають із деяким зусиллям між мідними

електродами 1 і 4, до яких через електродотримачі підводиться струм від зварювального трансформатора. Нижній електрод нерухомий, а верхній переміщується разом із механізмом стискання. Затиснувши виріб, вмикають трансформатор, місце контакту між виробами нагрівається і утворюється ядро з розплавленого металу 5, яке і є місцем зварювання.

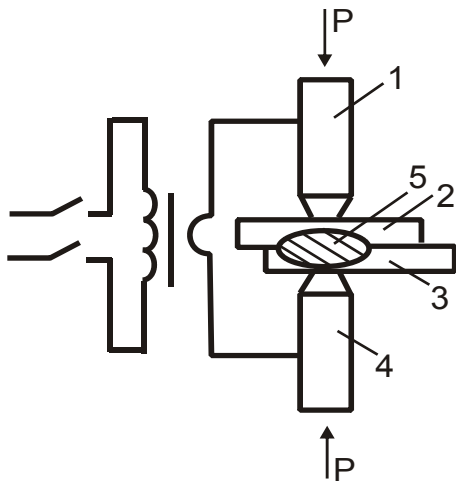


Рис. 7.40. **Схема**

точкового зварювання

Умовні позначення: 1, 2 – деталі;
3, 4 – електроди; 5 – ядро металу шва

Кисень отримують із повітря, яке при температурі $-197,5^{\circ}\text{C}$ зріджується. Рідке повітря розділяється на азот при температурі -196°C і кисень -183°C . Відділений від азоту кисень у теплообмінному апараті перетворюється з рідкого в газоподібний і надходить в газгольдер. Звідти його компресором нагнітають у балони до тиску 15 МПа, які вміщують 6 000 л кисню.

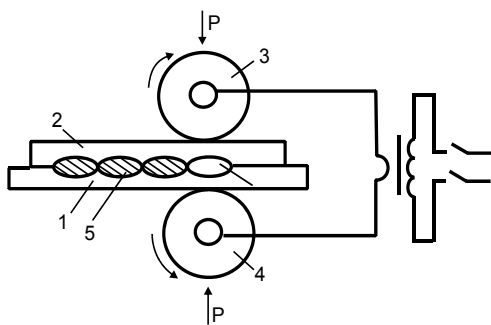


Рис. 7.41. **Схема**

роликowego зварювання

Умовні позначення: 1, 2 – деталі;
3, 4 – електроди; 5 – ядро металу шва

На точкових машинах зварюють вуглецеві, леговані, високолеговані сталі і кольорові метали. Існує одноточкове, двоточкове та багатоточкове зварювання.

Шовне, або роликowe зварювання (рис. 7.41) застосовують для того, щоб мати міцні та щільні шви під час виготовлення тонкостінних посудин, баків, труб.

Газове і термітне зварювання. Для газового зварювання використовують ацетилен і кисень, які в суміші дають температуру, достатню для зварювання сталей.

За допомогою редукторів тиск знижують для зварювання до 1,2 – 1,4 МПа.

Отримання ацетилену пов'язане з розкладанням карбіду кальцію (CaC_2) водою: $\text{CaC}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{C}_2\text{H}_2 + \text{Ca(OH)}_2$.

При розкладанні 1 кг карбіду кальцію виділяється 340 л ацетилену і 1 675 кДж теплоти. Карбід кальцію виробляють в електродугових печах сплавленням коксу або антрациту з випаленим вапняком: $\text{CaO} + 3\text{C} = \text{CaC}_2 + \text{CO}$.

Розплавлений карбід виливають в чавунні виливниці і після роздрібнення до 2 – 100 мм використовують для одержання ацетилену в спеціальних апаратах.

Для зварювання використовують зварювальний пальник, який призначено для змішування в потрібних пропорціях горючого газу з киснем і для створення зварювального полум'я потрібної потужності, розмірів і форми. За способом подавання горючого газу, пальники розділяють на інжекторні та безінжекторні. У промисловості частіше використовують інжекторні пальники, принцип роботи яких базується на підсосі ацетилену струменем кисню. Підсос, або інжекція, полягає в тому, що кисень виходить з отвору сопла з великою швидкістю і створює в камері змішування сильне розрідження, внаслідок чого ацетилен засмоктується в камеру і утворюється пальна суміш.

Використовують лівий і правий способи газового зварювання. За лівого способу полум'я переміщується справа наліво, а за правого – навпаки. Лівий спосіб використовують для зварювання металу товщиною до 5 мм, а правий – більше 5 мм.

Термітне зварювання базується на виділенні тепла під час згорання порошкових палих сумішей (алюмінію, магнію або кремнію) і оксидів (заліза, марганцю, нікелю). Під час горіння алюмінієвого терміту (суміш 23% Al і 77% залізної окалини) виділяється з 1 кг терміту 3 000 кДж тепла і розвивається температура до 3 000°C. Для зварювання плавленням на торці зварювальних виробів встановлюють вогнетривку форму. Між торцями залишають зазор. Потім з плавильного тигля (крізь отвір) зазор заповнюють розплавленими продуктами реакції. Термітний шлак, маючи меншу питому вагу, збирається у верхній частині форми, а розплавлене термітне залізо заповнює зазор і нижню частину форми.

Термітне зварювання плавленням використовують для зварювання рейок, ремонту сталевих і чавунних деталей за допомогою алюмінієвого терміту, а також сталевих проводів – за допомогою магнієвого терміту. Використовують термітне зварювання також під час ремонту литих виробів. У процесі зварювання тиском термітне тепло використовують для розігрівання виробів до пластичного стану, а потім за допомогою механічних зусиль стискають вироби (переважно трамвайні рейки).

Спеціальні способи зварювання. Індукційне зварювання виконують нагріванням металу до пластичного стану за допомогою індукційних струменів середньої (2 – 10 кГц) або високої (70 – 500 кГц) частоти з наступним стисканням деталей (найчастіше труби).

Дифузійне зварювання у вакуумі ґрунтується на взаємній дифузії пари металів, що перебувають у контакті у вакуумі $133 \cdot 10^{-5}$ Па або в атмосфері інертних газів, нагрітих до 400 – 1 000°C і стиснутих до 10 – 20 МПа.

Нагрівають вироби частіше індукційними струмами високої частоти або електронним променем. З'єднують, головним чином, однорідні й різнорідні метали, їх сплави і металокерамічні вироби з металами.

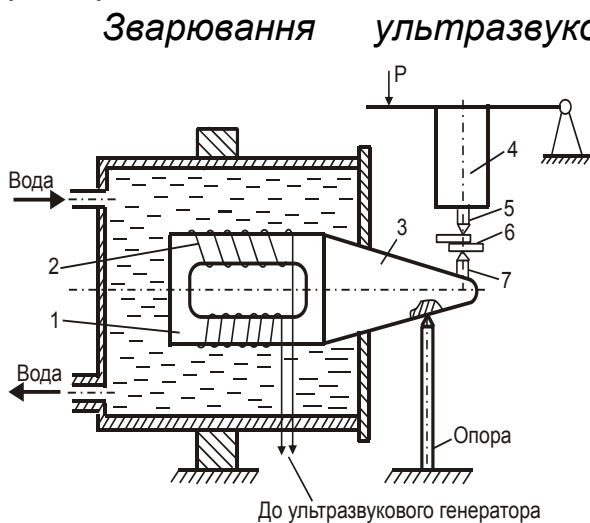


Рис. 7.42. Схема установки для точкового зварювання ультразвуком

Зварювання ультразвуком засноване на ультразвукових коливаннях за допомогою магнітострикційного ефекту, який полягає у здатності деяких металів перетворювати електромагнітні коливання ультразвукової частоти (150 – 100 кГц) на механічні коливання тієї самої частоти. Магнітострикційний ефект мають сплави нікелю із залізом (пермалой), кобальту із залізом. У місці зварювання температура підвищується до 200 – 1 200°C. Зварювання відбувається під тиском. Добре зварюється мідь, алюміній,

титан, цирконій, тантал, нікель завтовшки 0,001 – 1 мм. Успішно також зварюють хлорвініл, поліетилен, капрон, нейлон.

Під час вмикання обмотки 2 (рис. 7.42) до джерела струму високої частоти в магнітострикційному перетворювачі утворюються пружні механічні коливання, які хвилеводом 3 передаються через нижній електрод

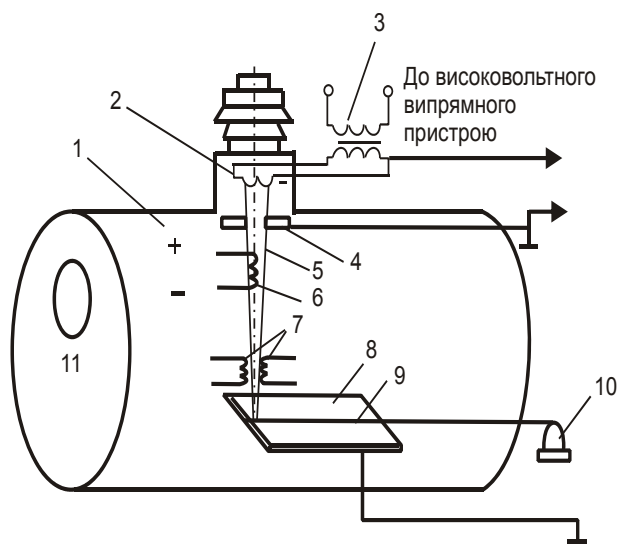


Рис. 7.43. Схема зварювання електронним променем

7 на зварювальні вироби 6. Зусилля, яке стискає деталі, передається на верхній електрод 5 механізмом стискання 4. Обмотка 2, що нагрівається струмом високої частоти, охолоджується проточною водою.

Зварювання електронним променем у вакуумі засноване на нагріванні металу сфокусованим пучком електронів, які прискорюються електричним полем високої напруги. У разі потраплення пучка на деталь близько 99% кінетичної енергії електронів

перетворюється на теплову і температура досягає 6 000°C. Зварювання здійснюють у герметичних камерах 1 (рис. 7.43) під вакуумом $133 \cdot 10^{-4}$ Па.

Джерелом електронів є розжарений катод з вольфрамової спіралі 2, який живиться від низьковольтного трансформатора 3. Для прискорення руху електронів використовують прискорювальний анод 4 з центральним отвором. Напряга між катодом і анодом становить 35 – 150 кВ. Катод нагрівається до температури 2400°C і з його поверхні випромінюється потужний потік електронів 5. На шляху до виробу 8 він проходить крізь фокусну лінзу, яка становить електромагнітну котушку 6 і фокусує промінь на площі 0,1 – 20 мм. Фокусну пляму можна переміщувати за допомогою електромагнітних котушок 7. Переміщення деталей і зварювального променя здійснюється електроприводом 10. Спостерігають за процесом у камері крізь вікно 11. Цим методом зварюють високолеговані сталі, тугоплавкі (вольфрам, молібден, тантал), активні (уран, цирконій, берилій), а також алюміній, мідь і їх сплави товщиною від 0,01 до 100 мм.

Лазерне зварювання засноване на потужному сконцентрованому світловому промені, який утворюють у спеціальних установках, що називають лазерами. Зараз використовують рубінові лазери зі штучним рубіном, до складу якого входить оксид алюмінію і незначна домішка оксиду хрому Cr_2O_3 . Такий лазер складається з циліндричного рубінового стержня (рис. 7.44), ксенонової лампи 2, лінзи 4 і охолоджувальної системи 3. Торці стержня виполірувані і посріблені. Той торець, що призначений для виходу назовні світлового променя, частково прозорий.

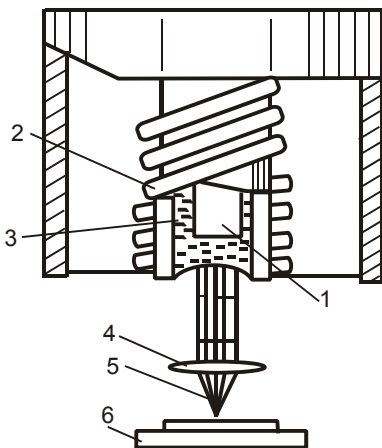


Рис. 7.44. **Схема лазерного зварювання**

Під час спалаху ксенонової лампи, яка живиться розрядним струмом конденсаторів, атоми хрому рубінового кристалу переходять з нормального в збуджений стан. Однак через кілька мілісекунд вони знову повертаються в попередній стан, випромінюючи фотони червоного світла.

Потік їх уздовж осі стержня спричиняє випромінювання нових фотонів, які поперемінно відбиваються від дзеркальних торцевих граней, збільшуючи цим інтенсивність загального випромінювання. При накопиченні певного рівня фотонів вони у вигляді потоку червоного світла прориваються крізь напівпрозорий торець стержня назовні.

Пройшовши крізь лінзу 4, сфокусований потік 5 потрапляє на виріб 6. Тривалість імпульсу випромінювання лазерного променя дорівнює тисячним і мільйонним часткам секунди. Точками можна зварювати деталі завтовшки до 0,5 мм. Лазер використовують для виготовлення отворів у твердих сплавах тугоплавких металів, алмазах, рубінах, а також для термообробки різального інструменту.

Плазмове зварювання. Електронною плазмою називають дуже іонізований газ стовпа дуги, який складається з нейтральних атомів і

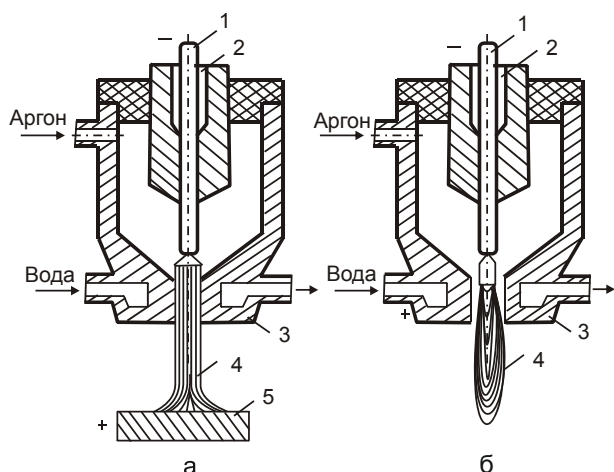


Рис. 7.45. Схеми пальників для плазмового наплавлення

молекул, іонів і електронів. Щоб одержати плазмову дугу, через вузький канал водоохолоджувального мідного сопла 3 спеціального плазмового пальника (рис. 7.45) пропускають потік газу. Майже весь газ, який проходить через стовп стисненої дуги, іонізується в плазму. Розрізняють плазмову дугу прямої і побічної дії. Дуга 4 прямої дії (а) горить між вольфрамовим електродом (катодом) 1 і виробом (анодом) 5. Температура такої дуги досягає 20

000 – 30 000°C.

Дуга побічної дії (б) горить між вольфрамовим електродом 1 і мідним соплом 3 пальника. Тиском струменя газу іонізований газовий потік видувається із сопла пальника у вигляді яскравого концентрованого полум'я 4. Його температура досягає 15 000°C і вище. Струм до вольфрамового електрода підводять крізь мундштук 2, а до корпусу пальника – поблизу сопла.

Плазмоутворювальним газом є аргон. Плазмовою дугою зварюють вуглецеві і нержавіючі сталі, тугоплавкі й кольорові метали, а також неметалеві матеріали від кількох міліметрів і більше.

Зварювання вибухом полягає у зварюванні листів, розміщених один над одним за рахунок вибуху порошу або гексогену, під час якого виникає величезний тиск, який сприяє пластичній деформації й розплавленню мікроділянок, внаслідок чого з'єднуються однорідні й різнорідні метали.

Наплавлення твердих сплавів – це процес нанесення шару сплаву потрібного складу і властивостей на робочу поверхню виробу, з метою

надання їй високої твердості і стійкості проти спрацювання.

Ручне дугове наплавлення застосовують для штампів, інструменту, зубів екскаваторів тощо.

Автоматичне і напівавтоматичне наплавлення здійснюють під флюсом у захисних газах спеціальним наплавлювальним дротом (так наплавляють колінчаті вали, вали прокатних станів, ножі землерийних машин).

Наплавлення газовим полум'ям використовують для відновлення різних дрібних деталей з чавуну, сталі, міді, латуні, бронзи, алюмінію.

Наплавлення плазмовою дугою прямої дії здійснюють з використанням зварювальних дротів, стрічок, порошоків для різальних інструментів та інших деталей.

Різання металів ґрунтується на здатності металу, підігрітого газокисневим полум'ям до температури займання, згорати в струмені чистого різального кисню. Ручний ацетиленокисневий різак (рис. 7.46) –

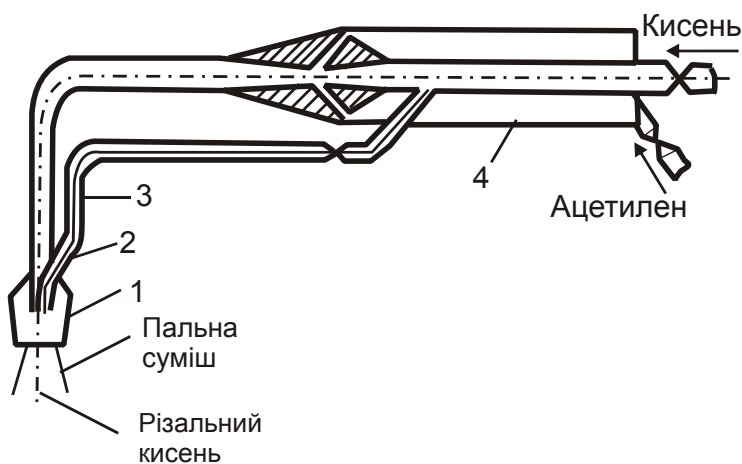


Рис. 7.46. **Схема ацетиленокисневого різачка**

це комбінація зварювального пальника 4 з окремою трубкою 3, призначеною для подачі різального струменя кисню. Наконечник різачка має два зовнішніх 2 і п'ять внутрішніх змінних мундштуків 1.

Пальна газокиснева суміш подається по зовнішньому мундштуку і біля виходу утворює підігрівальне полум'я.

Різальний кисень надходить по внутрішньому мундштуку 1.

Зміст різання полягає в тому, що після нагрівання металу підігрівальним полум'ям до температури займання (на що витрачається залежно від товщини від 5 до 40 с) подається струмінь кисню і метал займається, що супроводжується виділенням значної кількості тепла, яке поширюється вниз, підігріває нижні шари металу до температури займання і так до кінця різання. Оксиди видуваються різальним киснем. Ручним різанням ріжуть сталь товщиною від 6 до 300 мм зі швидкістю 550 – 800 мм/хв. Спеціальними різачками сталь ріжуть товщиною 2 м і більше.

Дугове різання електродами ґрунтується на розплавленні металу дугою і видаленні його під тиском газів і самого рідкого металу. У процесі дугового різання сила струму складає від 400 до 1500 А. Його використовують для розбирання старих конструкцій, пропалювання отворів, різання чавунних і високолегованих виробів. Різання плазмовою дугою застосовують для листів алюмінію і його сплавів товщиною від 100 до 120 мм, нержавіючих сталей і мідних сплавів. Швидкість різання в 2 – 5 разів вища від газового.

Контроль якості зварювання полягає у випробуванні на щільність швів, для цього використовують: просвічування швів рентгеном, механічні, металографічні, ультразвуковий і магнітний методи контролю. На щільність випробовують усі посудини, котли трубопроводів під тиском, у 1,5 рази вищим від робочого.

Механічне випробування швів роблять на зразках, які вирізають із зварювальних з'єднань.

Металографічні дослідження дозволяють встановити наявність мікротріщин, оксидів, нітридів у шві.

Рентгенівські просвічування дозволяють установити в швах пори, тріщини, непровари, шлакові вкраплення.

Ультразвуком виявляють дефекти: тріщини, непровари, шлакові включення, через які ультразвукові коливання не проходять і відображаються на екрані приладів.

Магнітні методи використовують для контролю і виявлення тріщин, непроварів та ін. Вони ґрунтуються на принципі магнітного розсіювання, що виникає в місцях дефектів, за допомогою магнітного порошку, який втягується в потік розсіювання і накопичується над дефектом.

Індукційні методи контролю передбачають використання електрорушійної сили, яка виникає в результаті індукції в спеціальній котушці потоком магнітного розсіювання, який виникає в місцях дефектів. Ця рушійна сила трансформується в звук, спалах лампи чи відхилення стрілки на приборі.

Основи термічної обробки металів. Термічною обробкою називають процеси, які об'єднують нагрівання сплаву до певної температури, витримку при заданій температурі і наступне охолодження зі встановленою швидкістю (рис. 7.47). Основні види термічної обробки наведені в додатку на рис. Д.1.

Нагрівання і наступне охолодження сприяють зміні внутрішньої будови структури сплавів і, як наслідок, зміні механічних, технологічних та інших властивостей.

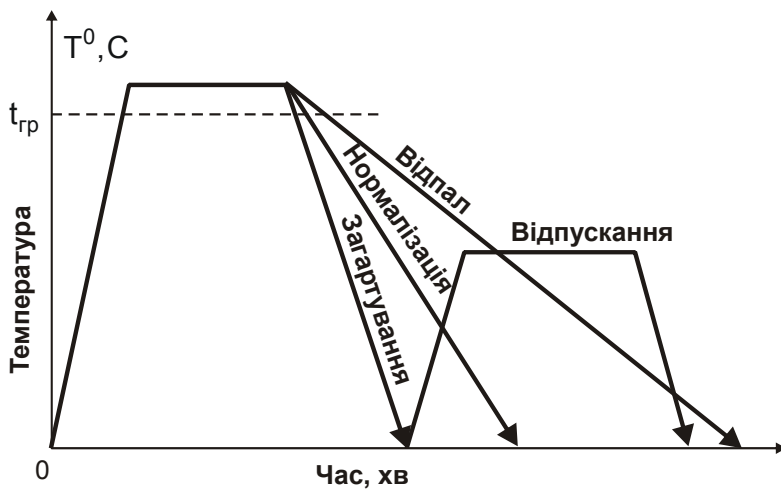


Рис. 7.47. Схема термічної обробки

У машинобудуванні термічна обробка дозволяє, не змінюючи хімічного складу металу, широко змінювати властивості його в певному напрямі. Іноді вона може бути проміжною операцією, яка надає покращення обробці сплавів тиском, різанням тощо, в інших випадках –

забезпечує необхідний комплекс кінцевих механічних, фізичних і хімічних властивостей виробів.

Залежно від фазових і структурних змін у металі під час нагрівання і охолодження, розрізняють наступні види термічної обробки: відпал, нормалізацію, загартування і відпускання.

Відпалом вважають нагрівання сталі до заданої температури (звичайно вищої від температури фазових перетворень), витримка при такій температурі, а потім повільне охолодження. Відпал використовують для зняття внутрішніх напружень металу, вирівнювання його хімічного складу, усунення структурної різноманітності. Після відпалу сталь стає м'якою, пластичною, підвищується її ударна в'язкість і покращується її механічна обробка.

Залежно від температури нагрівання і внутрішніх перетворень в сталях розрізняють декілька видів відпалу (рис. 7.48а).

Вибір температури нагрівання для різних видів термічної обробки виконується по діаграмі “залізо – вуглець”. Для скорочення лінії діаграми PSK , GS і SE в даному разі прийнято позначати відповідно AC_1 , AC_3 і AC_m .

Дифузійний відпал найбільш високотемпературний, і його використовують для одержання рівномірної за хімічним складом і розміром зерна структури виливків із легованої сталі, для якої характерні ці властивості.

Нагрівання при температурі $1\ 100 - 1\ 150^\circ\text{C}$ і витримка до $80 -$

100 годин забезпечує процеси дифузії вуглецю і різних легувальних елементів усередині аустенітного зерна, а фазова перекристалізація знищує дендритну структуру, яка дуже шкідлива для металу, тому що сприяє його руйнуванню під час механічної обробки.

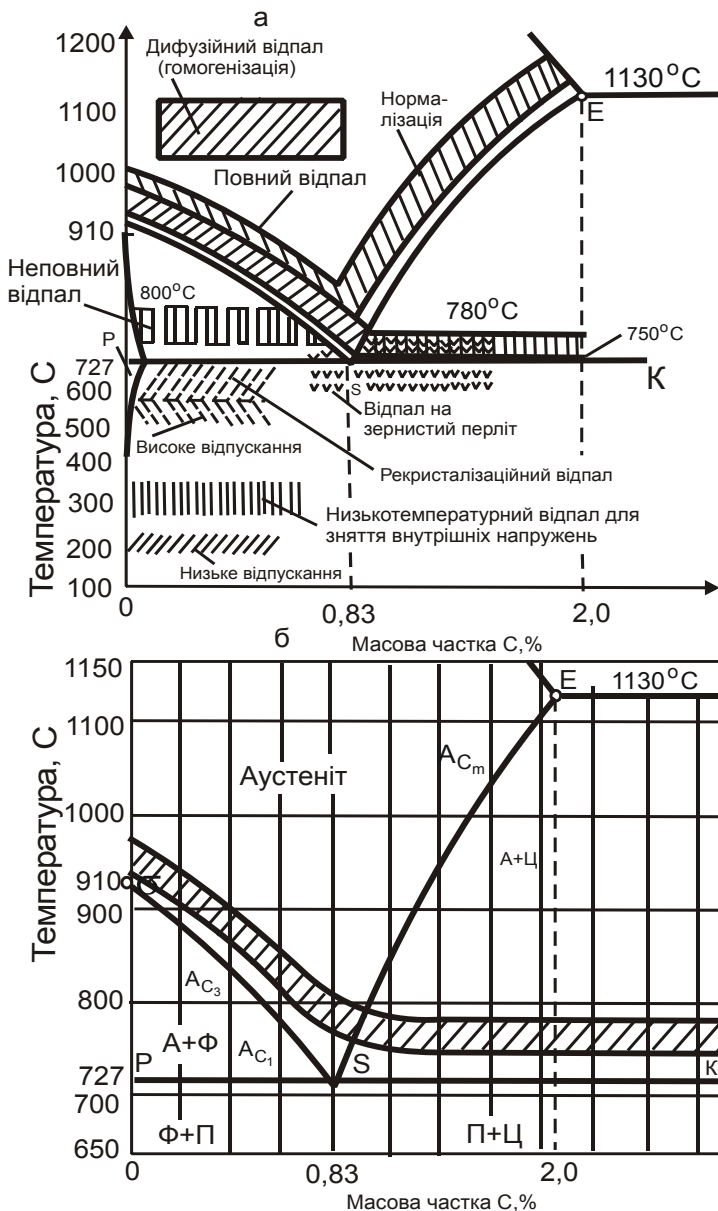


Рис. 7.48. Вибір температурного режиму термічної обробки сталей за діаграмою "залізо – вуглець"

ферит-перлітна структура, зникає внутрішня напруга і волокниста структура.

Неповний відпал здійснюють шляхом нагрівання деталей до температури, вищої від критичної точки AC_1 на 30 – 50°C, потім витримують за цієї температури й повільно охолоджують. Цей відпал використовують для перекристалізації перліту, звільнення від внутрішньої напруги, покращення обробки механічними способами

Повний відпал є фазовою перекристалізацією, яка звільняє від недоліків структури металу, що виникають під час одержання виливків, зварювання металу (грубозернистість, залишкове напруження), у процесі гарячої обробки металу тиском (грубозернистість, залишкове напруження) або від перегрівання під час дифузійного відпалу. Нагрівають метал при повному відпалі на 30 – 50°C вище лінії AC_3 з наступним охолодженням разом із піччю. Продовжується це від 12 до 20 годин залежно від хімічного складу сталі й розмірів деталей. Після цього відпалу з'являється дрібнозерниста і досить однорідна

заевтектоїдних сталей.

Ізотермічний відпал полягає в тому ж нагріванні деталі до температури, вищої від критичної на $30 - 50^{\circ}\text{C}$ (як і при звичайному відпалі), витримці при цій температурі і значно швидшому охолодженні до температури $600 - 650^{\circ}\text{C}$. При цій температурі знову роблять витримку, яка необхідна для повного розпаду аустеніту, після чого відбувається швидке охолодження. Ізотермічний відпал використовують, головним чином, для термічної обробки легованих сталей. Він дозволяє скоротити період відпалу з 13 – 15 годин до 4 – 6 годин.

Ступінчастий відпал полягає в нагріванні деталі до температури, вищої від критичної температури AC_1 (727°C) на $30 - 50^{\circ}\text{C}$, витримці при цій температурі й повільному охолодженні. Метою цього відпалу є перетворення пластинчатого перліту в зернистий (глобулярний). Відпал на зернистий перліт (сфероїзація) найчастіше застосовують з евтектоїдними і заевтектоїдними сталями, які потрібні для деталей з високими величинами відносного подовження і відносного скорочення.

Нормалізація – це нагрівання сталі до температури, вищої від лінії GS або SE на $50 - 60^{\circ}\text{C}$ (AC_3 і AC_1), коротка витримка при цій температурі і потім повільне охолодження на повітрі. Нормалізація сприяє роздрібненню і однорідності структури, знімає внутрішні напруження і сітку вторинного цементиту в заевтектоїдних сталях. Найчастіше нормалізують фасонні виливки, поковки, штамповки та прокатні вироби.

Гартування полягає в нагріві сталі до вищих від критичних температур AC_1 , і AC_3 на $30 - 50^{\circ}\text{C}$, витримці при цій температурі і швидкому охолодженні у воді, маслі чи інших охолоджувальних середовищах. Щоб визначити рівень нагрівання в процесі загартування, необхідно розглянути діаграму стану сплавів “залізо – вуглець” (доевтектоїдні і заевтектоїдні сталі). Головна мета гартування – одержання високої твердості й міцності, яких досягають за рахунок зміни структури під час нагрівання й охолодження внаслідок появи нестійких твердих структур – мартенситу, трооститу та сорбіту.

Нагріванням під загартування досягається перехід у твердий розчин вуглецю. У процесі швидкого охолодження досягається таке переохолодження аустеніту, за якого вуглець не може вийти з твердого розчину. Така структура переохолодженого аустеніту, що є насильно збереженим при кімнатній температурі твердим розчином вуглецю в

залізі, називається мартенситом. 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 від критичної швидкості загартування, то утворюється змішана структура мартенситу і дрібнодисперсного перліту, що називається трооститом.

На рис. 7.49 наведена діаграма ізотермічного перетворення переохолодженого аустеніту в сталі У8А. Дотична лінія, проведена до лівої кривої, визначає критичну швидкість охолодження. Це та найменша швидкість, за якої у сталі утворюється тільки один мартенсит.

Ліва крива на діаграмі показує початок розпаду переохолодженого аустеніту, а права – кінець розпаду. Проміжок між ними характеризує

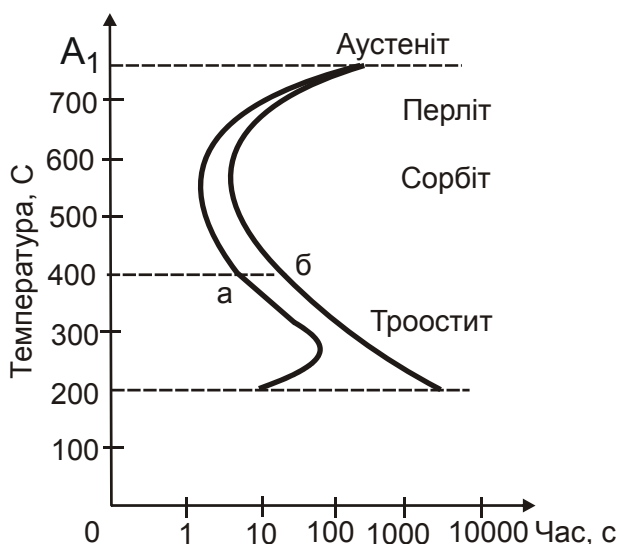


Рис. 7.49. Діаграма ізотермічного перетворення переохолодженого аустеніту сталі У8А

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 за різних температур супроводжується різною будовою ферито-цементитної суміші. В інтервалі зміни температур 650 – 700°C

формується грубозерниста ферито-цементитна суміш, яка називається перлітом. За температур близько 500°C формується суміш із більш дрібною будовою зерен, що називається сорбітом. За більш низьких температур (аж до температури мартенситного перетворення) виходить дуже дисперсна суміш, яка називається трооститом. Поверхня деталі, що безпосередньо стикається з охолодженим середовищем, швидко віддає тепло, тобто охолоджується з великою швидкістю. Відведення тепла з глибинних шарів погане. Отже, в міру віддалення шарів від

поверхні швидкість їхнього охолодження буде зменшуватися.

Хімічний склад сталі впливає на температуру нагрівання. Наприклад, доевтектоїдну сталь нагрівають вище критичної температури AC_3 на 30 – 50°C, а евтектоїдну і заевтектоїдну – нагрівають вище AC_1 (727°C) на 30 – 50°C. Температура нагрівання заевтектоїдних сталей частіше 770 – 780°C. Нагрівання здійснюють повільно, щоб уникнути появи напруги та щілин у металі.

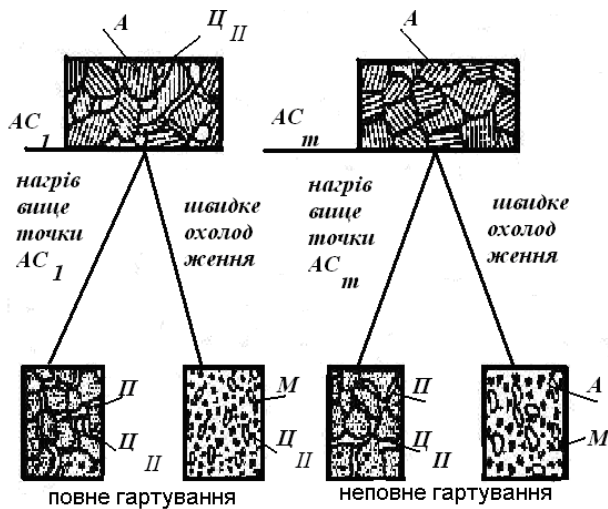


Рис. 7.50. Структурні перетворення в доевтектоїдній сталі під час гартування

при температурі 18°C, а в основному гартування виконують в маслі.

Властивість сталі гартуватись на якусь глибину називають прожарюванням. Залежно від товщини шару розрізняють об'ємне і поверхневе гартування. Об'ємне гартування розділяють на декілька видів.

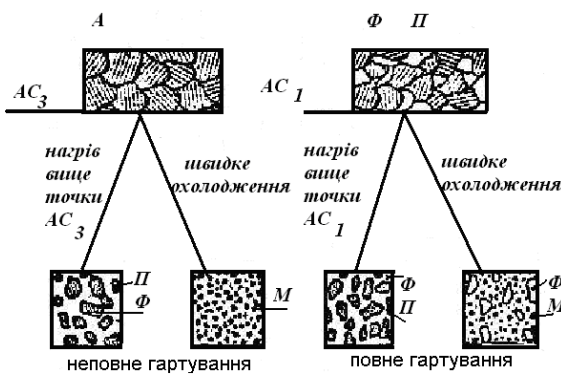


Рис. 7.51. Структурні перетворення в заевтектоїдній сталі під час гартування

полягає в швидкому охолодженні у двох різних охолоджувальних

появи напруги та щілин у металі. Час нагрівання і витримка після нагрівання залежить від складу сталі, форми деталі та її розміру. Час витримки повинен забезпечити процес перетворення ферито-цементитної суміші в аустеніт. Найчастіше період витримки займає 25% загального часу нагрівання (рис. 7.50 і рис. 7.51).

Велике значення в гартуванні має вибір гартувального середовища. Середньовуглецеві сталі дуже часто гартують у воді

Гартування в одному охолоджувачі полягає в тому, що нагріту до температури гартування деталь з вуглецевих сталей занурюють у воду, з легованих сталей – у масло, і витримують її там до повного охолодження. Головним недоліком цього способу є виникнення високих термічних напруг внаслідок швидкої зміни температур.

Ступінчасте гартування

середовищах. Першим середовищем є розплавлена сіль або масло з температурою, на 20 – 30°C вищою від точки початку мартенситового перетворення сталі. Деякий час деталь витримують у цьому середовищі для одержання рівномірної температури по перерізу деталі і структури аустеніту. Другим охолоджувальним середовищем є повітря, при цьому аустеніт перетворюється в мартенсит. Цей метод більш надійний, забезпечує добре з'єднання високої в'язкості й міцності. Його використовують для вуглецевих сталей (це деталі в перерізі не більше 10 мм), а також для легованих сталей з перерізом до 30 мм.

Ізотермічне гартування, як і ступінчасте, виконується у двох середовищах, але при цьому витримка в гартувальному середовищі більша. Температура середовища (соляні, селітрові або лугові ванни) залежить від хімічного складу сталі, а витримка деталі сприяє перетворенню аустеніту в голковий троостит. Після ізотермічного гартування високолеговані сталі мають значно вищу міцність.

Гартування з обробкою холодом полягає в охолодженні деталі, яка має залишковий аустеніт після гартування. Охолодження ведуть до 70°C, внаслідок чого залишковий аустеніт перетворюється в мартенсит. Використовують цей метод для обробки високовуглецевих (до 0,6%) і спеціальних інструментальних та шарикопідшипникових сталей.

Світле гартування полягає в нагріванні деталей у спеціальних печах із захисним середовищем або в ваннах із розплавленими хлористими солями з метою одержання неокисленої, світлої поверхні деталей. Після світлого гартування деталі вимивають в гарячій воді від залишків солей.

Поверхнєве гартування має на меті надання поверхні деталей (валам, зубчастим колесам) міцності, високого опору до зношування і водночас в'язкості серцевини, яка забезпечує опір удару. Залежно від нагрівання, поверхнєве гартування буває індукційним, контактним, газополум'яним і в електроліті.

Індукційне гартування засноване на тому, що електричний струм високої частоти, проходячи через провідник-індуктор, збуджує навколо нього електромагнітне поле. На поверхні деталі індукується вихровий струм, який швидко нагріває поверхню до високої температури, якої досить для забезпечення фазових перетворень ферит-цементитної суміші в аустеніт. Після охолодження поверхня деталі має структуру мартенситу. Змінюючи напругу струму, можна регулювати температуру і швидкість нагрівання, а регулюючи частоту струму, можна отримати

різну товщину загартованої поверхні деталі.

Перевага способу полягає у високій продуктивності, економічності процесу, відсутності окисного і безвуглецевого шару на загартованій поверхні; дуже незначна кількість деформованих деталей після гартування.

Поверхнєве гартування контактним нагріванням полягає в тому, що струм із мережі через знижувальний трансформатор подається до мідних роликів, які перекочуються по поверхні деталі та нагрівають її. При цьому деталь виконує функції опору в замкненому колі. За роликами йде механізм, який забезпечує охолодження і гартування деталі.

Газополум'яне гартування засноване на швидкому нагріванні поверхні деталі полум'ям газових сумішей і наступному охолодженні їх водою або емульсією. Використовують його для гартування великих деталей простої форми із вуглецевих сталей.

Гартування в електроліті полягає в тому, що у ванну з електролітом (50% розчин Na_2CO_3) поміщують деталь і пропускають струм напругою 250 – 300 В. Анодом є ванна, а катодом – деталь. Навколо деталі виникає щільний шар водню з дуже високим опором, у зв'язку з чим воднева сорочка швидко нагрівається до температури, необхідної для гартування. Охолоджується деталь після вимкнення струму в електроліті, або її подають у спеціальний бак для гартування. Спосіб дуже простий, але сприяє захисту деталей від корозії.

Відпускання – це завершальна операція термічної обробки, яка формує структуру і властивості сталі. Головна мета відпускання – зняти внутрішні напруження, які виникли під час гартування, і отримати необхідну структуру. Зміст відпускання полягає в нагріванні сталі до температури, нижче A_{C1} , витримці при цій температурі й охолодженні. Залежно від температури нагрівання деталей, розрізняють низьке, середнє і високе відпускання.

Низьке відпускання проводять при температурі 150 – 250°C з метою зменшення гартувальних напружень і залишення мартенситної структури. Низьке відпускання використовують для вуглецевих і легованих сталей, які працюють в умовах високої міцності та зносостійкості.

Середнє відпускання виконують при нагріванні до 350 – 500°C для зниження твердості в пружинах та ресорних сталях.

Високе відпускання полягає в нагріванні деталі до температури 500 – 650°C з метою одержання сорбіту для досягнення високої міцності, в'язкості і пластичності у середньовуглецевих сталях з 0,35 – 0,6%

вуглецю.

Найбільшою за тривалістю частиною операції під час відпускання є час витримки після нагрівання, а щодо швидкості охолодження, то вона має другорядне значення.

Термомеханічна обробка сталей полягає у виконанні пластичної деформації і термічної обробки в одному технологічному процесі, який об'єднує водночас нагрівання, пластичне деформування і охолодження деталі. Існує два види термомеханічної обробки деталей – *високотемпературна і низькотемпературна* (рис. 7.52).

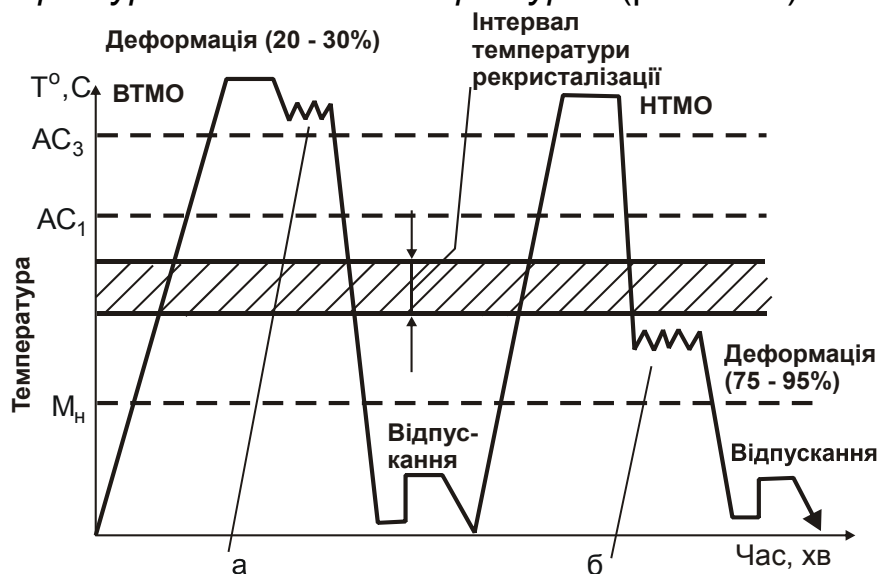


Рис. 7.52. Схеми термомеханічної обробки: а – високотемпературна; б – низькотемпературна

Високотемпературна – виконується при температурі вище температури кристалізації, коли сталь має аустенітну структуру. При цьому ступінь деформації досягає 20 – 30% після чого, щоб не допустити рекристалізації, відразу ж виконується гартування при температурі 1 150°C з наступним низькотемпературним відпусканням (100 – 200°C).

Низькотемпературна обробка виконується переважно для легованих сталей за температури, нижчої від температури рекристалізації (400 – 600°C). Ступінь деформації – 75 – 95%. Гартування виконується після деформації з обов'язковим низькотемпературним (100 – 200°C) відпусканням.

Порівняно зі звичайним гартуванням після термомеханічної обробки механічні властивості більш високі. Так, після низькотемпературної механічної обробки межа міцності й відносне подовження мають відповідно високі значення $\sigma_B = 2800 - 3300$ МПа, $\delta = 6\%$, а після звичайного гартування – не перевищують наступних значень:

$\sigma_B = 2000 - 2200$ МПа, $\delta = 3 - 4\%$.

Хіміко-термічна обробка сталей становить процес дифузійного насичення поверхні виробів вуглецем, азотом, бором, кремнієм та іншими елементами окремо або декількома водночас за високих температур. Головна мета – надання поверхні твердості, міцності, зносостійкості, опору до ударних навантажень, жароміцності, жаростійкості, опору до корозії. Види хіміко-термічної обробки наведені на рис Д.2. Хіміко-термічна обробка характерна для трьох одночасно діючих процесів. Пер-ший процес – дисоціація, яка полягає в розпаді молекул і утворенні дифундуючого елемента в атомарному стані. Другий процес – абсорбція, або взаємодія атомів дифундуючого елемента з поверхнею виробу і проникнення їх в решітку заліза. Третій процес – дифузія, або проникнення атомів насиченого елемента в глибину металу.

Розрізняють чотири найбільш поширені види хіміко-термічної обробки сталей: цементування, азотування, ціанування і дифузійну металізацію.

Цементування – процес насичення поверхні виробів вуглецем і надання їй міцності при збереженні м'якої серцевини. Найчастіше цементують низьковуглецеві сталі до 0,25% вуглецю, які працюють в умовах змінних ударних напруг і великого зносу, – автомобільні зубчасті колеса, шестерні, поршневі кільця, втулки, пальці. Температура цементації – 900 – 970°C. Товщина науглецьованого шару під час цементації змінюється від 0,1 до 4 мм, а вміст вуглецю в ньому – 0,8 – 1,2%.

Залежно від карбюризатора цементацію підрозділяють на три види: цементація твердим карбюризатором (75% деревного вугілля і 25% BaCO_3 , CaCO_3), газова цементація (метан, пропан, природний газ), рідинна цементація (розплавлені солі: 80% Na_2CO_3 ; 10% NaCl ; 10% SiC).

Цементацію твердим карбюризатором виконують шляхом нагрівання деталей у ящиках з карбюризатором до температури 900 – 950°C і витримки від 20 до 10 годин. Глибина цементувального шару – від 0,5 до 3,0 мм, концентрація вуглецю на поверхні деталі – від 0,9 до 1,2%. Після цементації деталі підлягають подвійному гартуванню і відпусканню. Перше гартування виконують за температури 880 – 900°C для виправлення серцевини деталі, а друге – за температури 770 – 780°C для запобігання перегріванню й надання високої міцності цементованому шару. Відпускання здійснюють за низької температури

150 – 180°C для зняття напруження.

Газова цементація здійснюється в печі за температури 900 – 1000°C, куди весь час подають газ. Порівняно з цементацією твердим карбюратором, газова відбувається у 2 – 2,5 рази швидше і використовується у великосерійному і масовому виробництві.

Рідинна цементація проводиться в соляних ваннах за температури 840 – 860°C від 30 хвилин до 2,5 годин залежно від складу сталей і розміру деталей. Глибина цементованого шару може бути від 0,3 до 0,7 мм.

Азотування передбачає насичення поверхні сталі азотом в атмосфері аміаку, яке ведуть в шахтових чи муфельних печах під тиском аміаку від 50 до 100 мм вод. ст. за температури 500 – 600°C протягом 4 – 12 годин з метою надання поверхні високої міцності, зносостійкості, захисту від корозії, втомлюваності металу. Під час дії на метал вільного азоту за температури 500 – 600°C атомарний азот утворює з елементами сталі (хромом, ванадієм, титаном, залізом) різноманітні нітриди, які мають високу міцність. Товщина азотованого шару – від 0,2 до 0,8 мм (за 24 – 60 годин). Перед азотуванням деталі виключно з легуваних сталей підлягають гартуванню та високому відпусканню (за температури 600 – 675°C) з метою підвищення їх механічних властивостей. Перевага азотування порівняно з цементацією полягає в незначній зміні і скручуванні деталей у зв'язку з низькою температурою нагрівання. Після азотування деталі добре працюють в атмосфері, а також у прісній і солоній воді, мають високу стійкість проти зношування.

Ціанування – процес одночасної дифузії в поверхню деталей вуглецю і азоту в рідинному або газовому середовищах. Вміст вуглецю в ціанованому шарі – 0,6 – 0,8%, тобто менший, ніж під час цементації. Після ціанування деталі піддаються загартуванню. Спеціального нагрівання під загартування не потрібно. Деталь з ціанистої ванни занурюється в гартівний бак за температури нагрівання 760 – 780°C з наступним охолодженням в маслі і низьким відпусканням за температури 150 – 170°C.

У процесі рідинного ціанування деталі нагрівають у соляній ванні. До складу ванни входить ціанистий натрій (50 – 55%), кальцієва сода (25 – 30%), кухонна сіль (15 – 20%). Під час нагрівання внаслідок окислення і дисоціації ціанистих солей виникає активний азот і вуглець, які дифундують у поверхневий шар деталі.

Газове ціанування відбувається в газовому середовищі, що

складається із суміші 70 – 80% цементувального газу і 20 – 30% аміаку в спеціально пристосованих для цього печах. Газове ціанування, як і рідинне, здійснюється за низьких (550°C) і високих (750 – 900°C) температур. У процесі низькотемпературного ціанування (500 – 600°C) азот дифундує в поверхню активніше від вуглецю. Здебільшого таке ціанування використовують для швидкорізальних сталей. У процесі високотемпературного ціанування (900 – 950°C) вуглець дифундує в поверхню деталей активніше від азоту. Використовують його для легованих сталей з низьким і середнім вмістом вуглецю.

Нітроцементация – процес насичення поверхні деталей одночасно вуглецем і азотом у середовищі з 40% водню і 20% оксиду вуглецю за температури 850 – 870°C протягом 4 – 10 годин. Головна мета – підвищення зносостійкості, межі витримки на вигин, міцності і стійкості до корозії. Нітроцементацию широко використовують в автомобільному і автотракторному виробництві.

Борування – це процес насичення поверхні виробів з низько- і середньовуглецевих сталей бором під час нагрівання в середовищі бору. Його використовують для підвищення міцності, зносостійкості, окалинотійкості, корозійної стійкості. Процес проводять за температури 850 – 950°C протягом 2 – 6 годин. Товщина поверхневого шару боридів – від 0,1 до 0,2 мм.

Дифузійна металізація – процес дифузійного насичення поверхні деталей металами з метою надання їх поверхні вогнетривкості, корозійної стійкості, зносостійкості, міцності. Дифузійна металізація може виконуватись у твердих, рідких і газових середовищах. Для твердої дифузійної металізації використовують феросплави з домішкою хлористого аміаку (від 0,5 до 5%). Рідинну дифузійну металізацію здійснюють занурюванням деталі в розплавлений метал (алюміній, цинк тощо). Газову дифузійну металізацію виконують у газових середовищах – частіше в хлоридах різних металів. Поверхнєве насичення проводиться за температур 900 – 1 200°C. Використовують також багатокомпонентне насичення поверхні деталей. Найбільш часто використовують дифузійну металізацію: силіціювання, алітування, хромування, цинкування.

Силіціювання – насичення поверхні виробів кремнієм з метою підвищення корозійної стійкості, теплостійкості, зносостійкості. Наприклад, для гнізд клапанів, вкладишів підшипників, роторів водяних насосів, сорочок

циліндрів, трубопровідної арматури, труб судових механізмів.

Алітування – процес насичення поверхні металів алюмінієм для підвищення окисностійкості, ерозійної стійкості чавунів, сталей і мідних сполук. Алітування виконують у порошкоподібних сумішах, у ваннах з розплавленим алюмінієм, у газових середовищах і рідкому алюмінії. Найчастіше використовують порошки з насиченням із газової фази. На поверхні виникає міцна плівка оксиду алюмінію Al_2O_3 , яка запобігає окисненню виробів, що пройшли алітування. Алітування виконують за температури 950 – 1 050°C протягом 3 – 12 годин. Товщина шару може становити від 0,2 до 0,8 мм. Вакуумне алітування дозволяє одержувати покриття високої чистоти.

Хромування – процес насичення поверхні виробів хромом для підвищення корозійної стійкості, міцності, зносостійкості. Найбільше поширення має хромування в порошкоподібних сумішах ферохрому або хрому, хлористого алюмінію і оксиду алюмінію. Хромування виконується за температури 1 000 – 1 050°C протягом 6 – 12 годин. Товщина шару хромування – до 0,2 мм. Найчастіше хромують вироби з низьковуглецевих сталей (клапани компресорів, матриці штампів для холодної висадки та інше).

Цинкування – процес покриття металу цинком, для чого вироби, очищені й підготовлені для покривання, занурюють у ванну з розплавленим цинком за температури 450 – 480°C. Під час гарячого цинкування на поверхні деталі з'являється залізо-цинковий сплав, внутрішній шар якого, збагачений залізом (до 80%), становить сполуку заліза з цинком $FeZn_7$, а зовнішній шар, збагачений цинком до 20%, є сполукою $FeZn_{13}$. Під час вилучення виробів з ванни на поверхні шару залізо-цинкового сплаву з'являється шар цинку, який дає під час кристалізації “кольори цинку”.

Також існує метод нанесення захисного шару цинку на вироби шляхом спільного нагрівання їх із цинковим пилом за температури, близької до температури плавлення цинку (440°C). Використовують його для покриття невеликих залізних виробів, деталей електроустаткування, болтів та гайок.

Корозія металів є процесом руйнування металів і сплавів, який відбувається під впливом хімічних або електрохімічних явищ. Хімічна корозія – це руйнування металу під дією газів або неелектролітів (бензину, масел). Електрохімічна корозія – це процес, який відбувається

під впливом на метал електролітів (водні розчини соди, кислот, лугів, вологе повітря і інше). Корозія буває трьох видів: рівномірною, коли метал руйнується однаково по всій поверхні, місцева корозія, коли руйнування металу наявне на деяких, незначних місцях поверхні металу, інтерн-кристалічна або міжкристалічна корозія, яка руйнує метал на гранях зерен у глибині металу і зовні себе не проявляє.

Хімічно стійкими матеріалами є ті, які мають властивості протистояти руйнівній силі корозії. Вони поділяються на металічні (дуже чисті) і неметалічні (силікати, пластмаси, каучук, вугілля, графіт, лаки і фарби). Металічні стійкі матеріали підрозділяють на: залізні сплави, мідь і її сплави, свинець і його сплави, алюміній і його сплави, благородні метали.

Захист металів від корозії поділяють на такі методи: електрохімічні, обробка зовнішнього середовища, захисні покриття.

Електрохімічний захист полягає у використанні протекторів, тобто до конструкції прикріплюють метал, який у даному середовищі менш стійкий і руйнується під дією корозії, захищаючи основну конструкцію (котли, конденсатори, трубопроводи, судна, літаки). Електрозахист полягає в тому, що конструкцію з'єднують з негативним полюсом джерела постійного струму (динамо-машиною, акумулятором, вимірнувачем), а позитивний полюс з'єднують з пластинкою будь-якого металу (чавуну, сталі, свинцю) і занурюють її в той самий електроліт, у якому є основна конструкція. Пластинка в таких умовах стає анодом, а основна конструкція – катодом, навколо якого виділяється водень і навколокатодний шар захисту.

Обробка навколишнього середовища полягає в обробці корозійного середовища спеціальними домішками, які упереджують корозію. Наприклад, кисень з води відокремлюють шляхом пропускання її через металеву стружку (залізну, магнієву або цинкову), яка має велику спорідненість із киснем. Відокремлення кисню з води також проводять обробкою її сульфатом і бісульфатом натрію тощо.

Захисні покриття поділяють на металеві, неметалеві й хімічні.

Металеві способи поділяють на *гальванічний, плакування, металізацію, дифузійний і гарячий*.

Гальванічний метод покривання полягає в нанесенні на поверхню виробів тонкого шару іншого, більш стійкого металу, із розчину солі. Це покриття залізних виробів цинком, оловом, кадмієм, свинцем, нікелем,

міддю, хромом, сріблом, золотом та їх сплавами. Гальванічні покриття виконують у ваннах, де катодом є деталь, на якій осідає з розчину захисний метал товщиною 0,005 – 0,03 мм під час пропускання постійного струму. Анодне покривання виконують металом, електродний потенціал якого в середовищі нижчий від електродного потенціалу захисного металу, тобто відбувається заміщення основного металу (покривання заліза цинком і кадмієм). Катодне покривання здійснюють металами, електродний потенціал яких в електроліті вищий від потенціалу основного металу (покривання заліза оловом, міддю, нікелем). У процесі руйнування покриття починається корозія металу, захисні властивості не діють.

Плакування – одержання біметалу, де серцевиною є маловуглецева м'яка сталь, а на поверхні методом прокатування наносять шар міді або якогось іншого металу (алюмінію, бронзи).

Металізація – нанесення розплавленого металу на поверхню виробів пульверизатором. Широке розповсюдження має покривання алюмінієм, оловом, свинцем, кадмієм, міддю, бронзою, нікелем. Суть технології полягає в тому, що частинки розплавленого металу вилітають з металізатора (пістолета) з великою швидкістю (до 300 м/с), під значним тиском б'ються по поверхні виробів і проникають у пори, впадини, осідають на поверхні і покривають її твердим шаром.

Дифузійне покривання полягає у спільному нагріванні до високої температури виробів у порошку захисного металу. Це такі способи, як алітування – покривання алюмінієм, хромування – покривання хромом, силіціювання – покривання кремнієм, або їх сплавами: хром-алітування – хром з алюмінієм, хром-силіціювання – хром з кремнієм.

Гарячі способи покривання об'єднують цинкування, луження і свинцювання. Для цього очищені деталі занурюють у ванни з розплавленим металом і витримують їх там деякий час. Поверхня виробів змочується захисним металом і частково сплавляється з ним, що приводить до виникнення на поверхні деталі тонкого шару покриття. Товщина шару залежить від періоду витримки і температури, за якої виконують покривання.

Цинкування проводять у ваннах з розплавленим цинком за температури 450 – 480°C. Оцинковують листи заліза, різні сталеві та чавунні деталі.

Луження – покривання листів заліза, котлів, посуду оловом у

ваннах за температури 270 – 300°C.

Свинцювання використовують для надання виробам стійкості проти кислот і хімічних розчинів. Температура розплавлення у ванні – 340 – 450°C, а технологія нанесення покриття аналогічна до луження.

Неметалеве покривання включає: оксидування, фосфатування, емалювання, азотування, гумування і фарбування.

Оксидування – процес штучного утворення оксидної плівки на поверхні деталі. Оксидна 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 оксидна плівка добре утримує змащення, усуває заїдання в парі тертя. Оксидну плівку можна одержати хімічною, електрохімічною, термічною чи термохімічною обробкою.

Хімічна обробка проводиться в лужних і кислотних ваннах за температури розчину 120 – 150°C тривалістю до 2 годин. Хімічне оксидування виконують занурюванням підготовлених деталей у киплячий розчин із каустичної соди, азотнокислого і азотистоокислого натрію, після чого деталі промивають у воді. Наприклад, технологічний процес оксидування алюмінію і його сплавів об'єднує наступні операції: очищення деталей у їдкому натрії і рідкому склі за температури 66 – 70°C; промивання в теплій воді за температури 50 – 60°C; травлення в розчині їдкого натру за температури 50°C; промивання в теплій і холодній воді; освітлення в азотній кислоті концентрації 30%; промивання в холодній воді; оксидування анодне або хімічне; промивання в холодній воді; покривання фарбами; промивання в теплій воді; сушіння в сушильних шафах за температури 60 – 70°C.

Електрохімічна обробка полягає в анодному оксидуванні в гарячих лужних розчинах окиснювачів.

Термічне і термохімічне оксидування проводиться шляхом нагрівання виробу в розплавленій селітрі. Інструменти зі швидкорізальної сталі, поршневі кільця, штовхальники клапанів та інші оксидують у середовищі водяної пари. Термічне оксидування (воронування і синіння) полягає в нагріванні в печах до температури 350 – 450°C деталей, попередньо змочених тонким шаром лаку (розчин 15 – 25% асфальтового або масляного лаку в бензині) і витримці протягом 12 – 20 хвилин для одержання гладенької поверхні чорного кольору (зброя

та інше). *Синіння* (годинникові стрілки, волоски, стрічки, пружини) виконують у розплаві суміші із натрієвої і калієвої селітри, або натрію і калію за температури 310 – 350°C, витримують у розчині, потім деталі промивають у розчині з 1 – 2% мила.

Фосфатування – процес утворення на поверхні металу плівки нерозчинних солей-фосфатів. Використовують для захисту від корозії деталі з чавуну, сталі, а також для нанесення ґрунту під лакофарбувальні покриття. Метал після фосфатування, покритий лаками, стає корозійно-стійким. Фосфатування буває хімічно-нормальним (у ванні), хімічно прискореним (у струмені розчину) і електрохімічним.

Хімічно нормальне фосфатування виконують у розчині з 46 – 52% фосфорного ангідриду, 14% марганцю і 3% заліза протягом 35 – 50 хвилин за температури 96 – 98°C.

Хімічно прискорене фосфатування проводять для виробів, які потім покривають фарбами декілька разів. Роблять це в розчині суміші фосфату марганцю і заліза з додаванням прискорювачів, наприклад, азотнокислого калію. Тривалість процесу фосфатування – від 5 до 15 хвилин.

Електрохімічне фосфатування виконують у розчині з 0,2 – 0,4% тіофосфату цинку змінним струмом з частотою 60 періодів за секунду за напруги 20 В і температурі розчину 60 – 70°C. Витримують деталь у розчині 4 – 5 хвилин.

Температура ванни для чорних металів – не більше -90°C. Фосфатна плівка має товщину від 2 до 50 мкм і великокристалічну структуру. Жаростійкість плівки – 600 – 650°C, вона стійка в атмосферних умовах і в масляному середовищі, має низьку твердість, високорозвинену пористу поверхню і міцно утримує змащення.

Емалювання об'єднує дві операції – ґрунтування і покривання емаллю. Емалювання виробів з кольорових металів ґрунтування не потребує. Ґрунтовий шар забезпечує добре з'єднання емалі з металеву поверхнею, а емаль захищає ґрунтове покриття від дії зовнішнього середовища. Склад ґрунтового шару має бути таким, щоб температура його плавлення була на 50 – 100°C вищою від температури плавлення емалі. До складу ґрунту входять: SiO_2 , B_2O_3 , Na_2O , K_2O , PbO , ZnO , Al_2O_3 , а також бура, фториди, каолін, шпати та ін.

Технологічний процес виготовлення емалі складається з наступних операцій: зважування і роздрібнення компонентів емалі, змішування їх,

розплавлення в печі за температури 1 000 – 1 500°C і вище, гранулювання емалі шляхом виливання її у воду, роздрібнення емалі в порошок у кульових млинах.

Емалювання виконується мокрим і сухим способами. За мокрим методом із порошкової емалі, глини й води одержують шлікер, який є суспензією певної консистенції. Покривання виробів шлікером виконують занурюванням у розчин, розпилюванням або обливанням. Після цього вироби висушують і обпалюють у муфельних або електропечах. За сухого емалювання пудру емалі за допомогою механічних сит наносять на гарячу поверхню виробів, які заздалегідь поґрунтовані, після чого вироби обпалюють у печах. Тривалість нанесення емалі – 2 – 12 хв. Шар покриття – 0,07 – 0,2 мм.

Гумування полягає в покриванні виробів м'якою гумою або ебонітом (твердою гумою). Гума стійка в кислотах (фосфорній, соляній, оцтовій) незалежно від їх концентрації. Гумування виконують електрофорезом або покривають вироби гумовим клеєм. Гумування електрофорезом полягає в тому, що в процесі пропускання постійного струму через латекс, колоїдні частинки каучуку з негативним зарядом приєднуються до аноду (виробу) покривають його міцним шаром гуми. Метод використовують для покривання виробів складної конфігурації. Покривання виробів наклеюванням гуми полягає в нанесенні на чисту поверхню виробів гумового клею, сушіння його, наклеювання листової гуми, вулканізації у спеціальних котлах за температури 140 – 170°C і тискові пари до 3 атмосфер, що забезпечує високу міцність з'єднання гуми з металом. Покривання виробів гумовим клеєм виконується шляхом обмазування або покривання розпилювачем.

Фарбування – процес нанесення і закріплення на поверхні виробів суцільної плівки фарби. Це найпоширеніший спосіб захисту металу від корозії, він використовується у близько 65% усіх видів покривання. Технологічний процес нанесення фарбового покриття складається з таких операцій: підготовки виробів під фарбування (очищення від жирів, іржі і забруднень), ґрунтування (нанесення безпосередньо на поверхню виробів шару фарби, який забезпечує антикорозійні властивості всього покриття), шпаклювання – нанесення лакофарбувального шару на ґрунт для забезпечення рівності поверхні покриття. Фарбування – кінцева операція покривання фарбою виробів.

Хімічне нікелювання. Покриття зі сплаву нікель-фосфор може бути отримане електрохімічним і хімічним способами. Останній заснований на

виділенні металів з водних розчинів їхніх солей.

Технології виготовлення заготовок. Заготовки, отримані ливарним способом. Суть ливарного виробництва полягає в тому, що фасонну деталь або заготовку виготовляють заливанням рідкого металу в ливарну форму, порожнина якої за розмірами і конфігурацією відповідає деталі. Такі деталі називають виливками.

До складу ливарного цеху входять такі відділення: модельне, землєпідготовче, стрижневе, формувальне, плавильне, вибивальне, обрубне, очисне. У модельному відділенні виготовляють модельний комплект, у землєпідготовчому – формову та стрижневу суміші, у формувальному – ливарну форму, у стрижневому – стрижень, у плавильному – одержують рідкий метал, у вибивальному – вибивають виливки, в обрубному – обрубують виливки від пригарів, в очисному – виконують очищення виливків від різноманітного сміття.

Для отримання виливка виконують такі основні операції: виготовлення ливарної форми (рис. 7.53); виплавлення металу; заливання металу у форму; затвердіння металу й охолодження відливка; вибивання відливка з форми; обрубання й очищення відливка; термічна обробка відливка; контроль за якістю відливка та здавання його

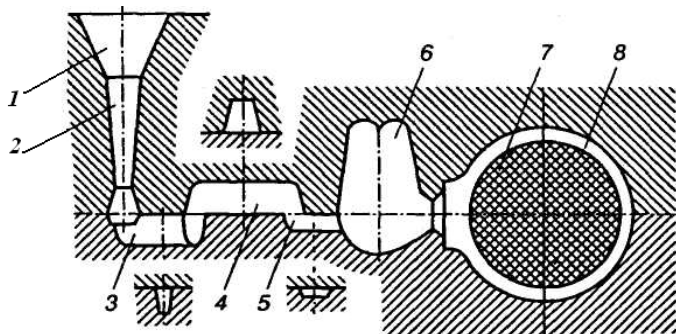


Рис. 7.53. **Схема ливарної форми**

Умовні позначення: 1 – ливникова чаша; 2 – стояк; 3 – дросель; 4 – шлаковловлювач; 5 – живильник; 6 – бічний прибуток; 7 – стрижень; 8 – робоча

на механічну обробку. У процесі виконання операцій необхідно забезпечувати високий рівень якості відливка за всіма показниками, в тому числі точністю розмірів і чистотою поверхні, сприятливу структуру металу, відсутність зовнішніх і внутрішніх ливарних та металургійних дефектів.

Ливарна форма – це пристрій, призначений для заливання металу й утворення відливка. Вона має робочу порожнину, де формується тіло заготовки, а також ливникову систему, яка забезпечує підведення металу до робочої порожнини в процесі кристалізації.

Конфігурація та розміри робочої порожнини повинні відповідати формі й розмірам виготовлюваного відливка. Слід мати на увазі, що розміри порожнини мають бути більшими за розміри відливка на

величину ливарної усадки металу. Разом із тим, розміри відливка повинні бути більшими за розміри деталі на величину технологічного припуску, що знімається під час механічної обробки. Отже, остаточні розміри робочої порожнини ливарної форми відповідають розмірам деталі, припуску на механічну обробку та на ливарну усадку металу. Всередині відливка, а також на його зовнішній поверхні можуть бути отвори, порожнини та виїмки. Складаючи форму, встановлюють відповідні керамічні або металеві елементи, які називаються стрижнями. Ці елементи видаляють з відливка у процесі вибивання, після чого в ньому залишаються заглиблення або отвори. Ливникова система має чашу (лійку); стояк; дросель, який регулює швидкість заливання та запобігає створенню вакууму в стояку; шлаковловлювач, розташований у верхній опоці для затримування неметалевих включень; живильник, який подає метал у робочу порожнину безпосередньо або через прибуток. Прибуток живить тіло відливка під час охолодження та кристалізації металу і запобігає утворенню в ньому свищів. Прибутки можуть бути верхнього або бічного розташування.

Види лиття відрізняються за матеріалом ливарної форми та за способом подавання в неї металу. Більш суттєво вони відрізняються за точністю розмірів і чистотою поверхні відлиwkів, а також за продуктивністю і ступенем складності технологічного процесу. Виділяють дві групи лиття: в піщано-глинисті разові форми та спеціальні види.

Виготовлення відлиwkів у разових формах. Це найбільш простий і поширений спосіб отримання литих заготовок. Процес виготовлення відлиwkів у разові піщані форми складається з таких операцій: виготовлення модельних комплектів, приготування формувальних і стрижневих сумішей. Формування ливарних форм і стрижнів, сушіння стрижнів і форм, складання форм, приготування рідкого металу, заливання форм металом, вибивання відлиwkів із форм і стрижнів, обрубкування ливникової системи і очищення відлиwkів, термічна обробка відлиwkів, контроль і виправлення дефектів готового відливка.

Разову ливарну форму виготовляють у рамках, які називають опоками. Нижня і верхня опоки з'єднуються між собою штирями, що їх центрують. Матеріалами для виготовлення форм у цьому разі є формувальні суміші, що складаються з піщаної основи, до якої в ролі зв'язувальних матеріалів додають глину та воду. Крім того, у суміш вводять протипригарні домішки – мелене кам'яне вугілля, маршаліт (пилоподібний кварц), мазут та інші речовини, які сприяють поліпшенню

якості відливка (дерев'яні стружки, сульфітно-спиртову барду).

Для виготовлення стрижнів використовують стрижневі суміші, що складаються переважно з піску, зв'язаного спеціальними речовинами – фіксажами, якими є лляна олія, сульфітна барда, декстрин, каніфоль тощо. Стрижні виготовляють у спеціальних пристроях – стрижневих ящиках – і обов'язково сушать.

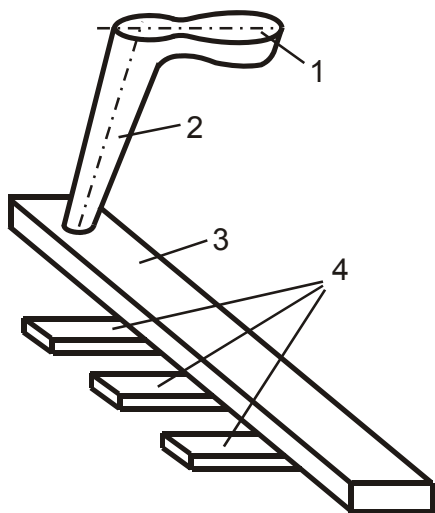


Рис. 7.54. Ливникова система

Ливникова система разової форми (рис. 7.54) складається з ливникової чаші 1, стояка 2, шлаковловлювача 3 і живильників 4. Вона забезпечує швидке заповнення форми рідким металом, правильне його тверднення у формі, повинна мати малу вагу, а також легко відокремлюватись від відливка.

Складену форму заливають спеціальним ковшем через ливникову систему і залишають на місці заливання до закінчення кристалізації й охолодження тіла відливка. Потім опоки розкріплюють і на спеціальній установці вибивають відливок із форми. Після цього здійснюють процеси обрубкування й очищення, під час яких від відливки відокремлюють ливникову систему з прибутками, видаляють залишки формувальної та стрижневої сумішей і очищають поверхню відливка від різних дефектів. Термічна обробка, яку проводять потім, має на меті усунення грубозернистої й дендритної структури металу та ливарних напружень і підготовку відливка до механічної обробки.

Машинне формування використовують у масовому і серійному виробництві дрібних і середніх відливків. Воно підвищує продуктивність праці й точність відливків, економить 10 – 15% металу за рахунок зменшення припуску на обробку, забезпечує виготовлення взаємозамінних деталей. Машини забезпечують механізоване виконання таких операцій: наповнення опок формувальною сумішшю, ущільнення формувальної суміші, відділення моделей від форм, складання і транспортування форм до місця заливання. Для виконання операцій ущільнення сумішей використовують такі машини: пресові, струшувальні та піскомети. Пресові машини виконують операції ущільнення за 4 – 5 с і є найпродуктивнішими. Машини для ущільнення шляхом струшування – універсальні, їх

використовують для виготовлення напівформ масою до 40 т.

Піскомети одночасно наповнюють опоки формовою сумішшю і ущільнюють її. Вони досить продуктивні, тому їх використовують для набивання великих і середніх опок.

Заливання форм металом виконують за допомогою ливарних ковшів місткістю від 40 до 100 кг. Розливання виконують спокійно, не перериваючи струменя металу так, щоб ливникова чаша весь час була заповнена металом.

Вибивають виливки з форм після повного затвердіння металу і достатнього охолодження виливків, щоб запобігти утворенню напружень у процесі швидкого охолодження на повітрі. Вибивання виливків із форм супроводжується значним виділенням пилу, газів і тепла. Для вибивання застосовують вібраційні коромисла або решітки (у масовому виробництві дрібних і середніх виливків).

Обрубують ливникову систему пневматичними зубилами, нерівності поверхні зачищають абразивними кругами.

Очищають виливки від пригорілої формової суміші вручну стальними щітками, ручними або пневматичними зубилами, у серійному виробництві це роблять в обертальних барабанах, дробустріминними і дробуметальними апаратами або сильним струменем води з піском.

Основні види браку: газові, піщані та шлакові свищі, усадні свищі, холодні та гарячі тріщини, недолив. Брак виливків виправляють: наплавленням, заварюванням, забиванням замазками або мастилами, просоченням розчину нашатиру, мідного купоросу, рідкого скла або бакелітового лаку.

Спеціальні способи виготовлення відливків. Відливки в разові форми мають недоліки: невисока точність розмірів і чистота поверхні відливків, великі припуски металу на механічну обробку, утворення великозернистої литої структури, невисока продуктивність і погані санітарно-гігієнічні умови праці (значне запилення і шум на робочих місцях). Для усунення цих недоліків використовують спеціальні способи виготовлення відливків: в металеві форми (кокіль), під тиском, за виплавлюваними моделями, відцентрове, в оболонкові форми. Виготовлення відливків у кокілях полягає в тому, що замість разової піщаної форми використовують металеву. За конструкцією кокілі можуть мати вертикальний або горизонтальний роз'єм чи бути нероз'ємними. Роз'ємний кокіль (рис. 7.55) складається з двох половин 1 та 2, в яких є порожнина 5 зі стрижнем 3. Ливникову чашу 6, стояк 7, живильник 4 і

випор 8 виконують у площі роз'єму. Розкривають форму і вибивають готовий відливочок вручну або механічним способом.

Порівняно з піщаними формами кокіль має наступні переваги:

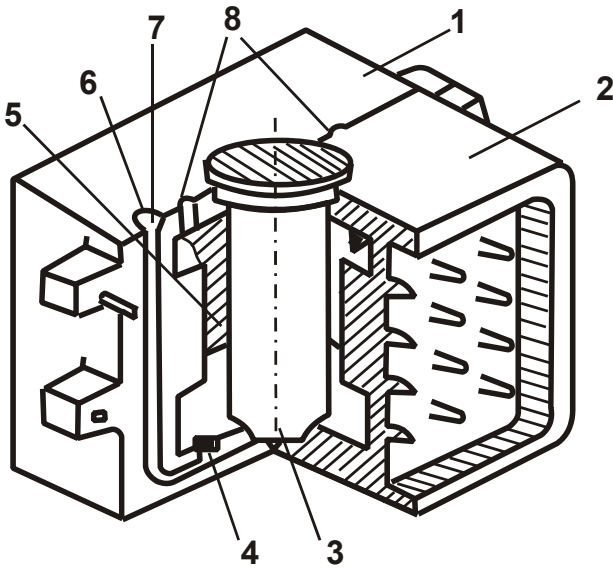


Рис. 7.55. **Металева форма (кокіль)**

непотрібні формові суміші і модельно-опокова оснастка; підвищується чистота і точність поверхні відливків; високі якість і щільність металу відливка; менша кількість пилю; підвищується продуктивність праці. У кокільях виготовляють частіше відливки кольорових сплавів, чавуну і рідко зі сталі. Форму виготовляють з чавуну або сталі. Основними перевагами цього виду є високі точність розмірів і чистота поверхні відливка, а також

дрібнозернистість металу, що знижує металомісткість виробів і підвищує міцність металу. Використовують у серійному і масовому виробництві.

Виливання під тиском полягає в тому, що метал під тиском примусово заповнює металеву прес-форму, під тиском кристалізується, у зв'язку з чим усувається поява усадочних раковин, знижується газова пористість металу, підвищується щільність відливків, часто не потрібна механічна обробка. Під тиском можна виготовити відливки з глибокими порожнинами, отворами малого діаметра. В одній прес-формі може розміщуватись кілька робочих порожнин, які живляться одночасно. Лиття під тиском є найбільш високоякісним, точним, чистим і продуктивним.

Поршневі камери холодного тиску показані на рис. 7.56. Використовують їх для виготовлення відливків зі всіх кольорових сплавів. Виготовлення відливка відбувається в три стадії. Камера відокремлена від ванни з рідким металом. Метал заливають у камеру мірною ложкою. Верхній поршень 2, опускаючись, тисне на метал, водночас нижній поршень, також опускаючись, відкриває ливниковий канал і метал заповнює порожнину прес-форми 1, яка складається з рухомої половини (пуансону) і нерухомої половини (матриці). Коли метал затвердіє, пуансон відходить убік і відливочок виштовхується. Зайвий метал видаляється назовні нижнім поршнем.

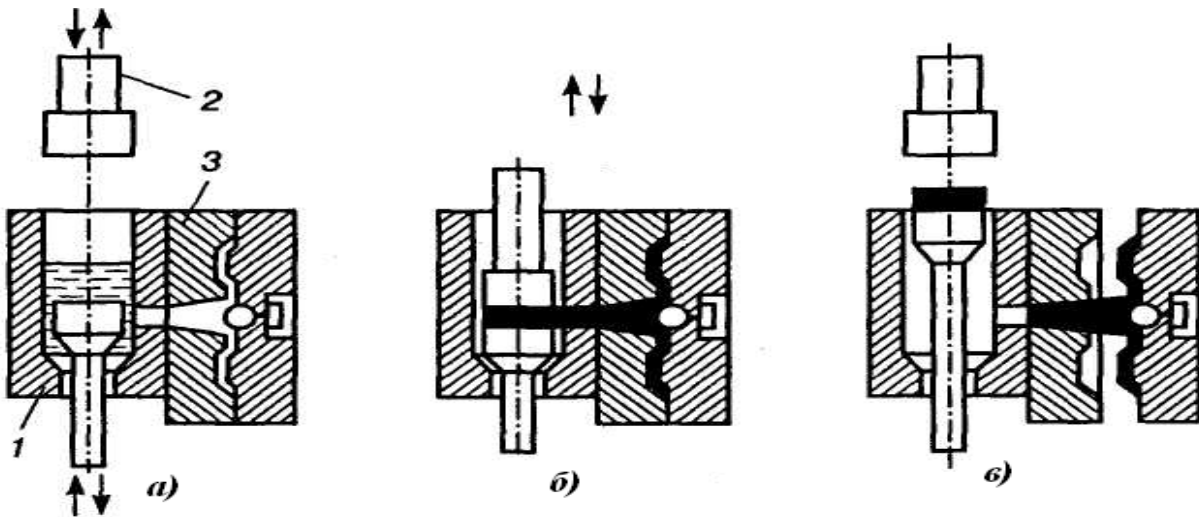


Рис. 7.56. **Схеми поршневих машин для виливання під тиском**
 Умовні позначення: а – подавання металу в передкамеру; б – нагнітання металу в робочу порожнину; в – вибивання відливка; 1 – передкамера; 2 – поршень; 3 – прес-форма

Використовують поршневі камери гарячого тиску (рис. 7.57). Камера гарячого тиску 3 розміщена безпосередньо у ванні 1 із рідким металом 2 і тому працює в складних умовах. Крізь ливник 5 метал надходить у порожнину прес-форми 6.

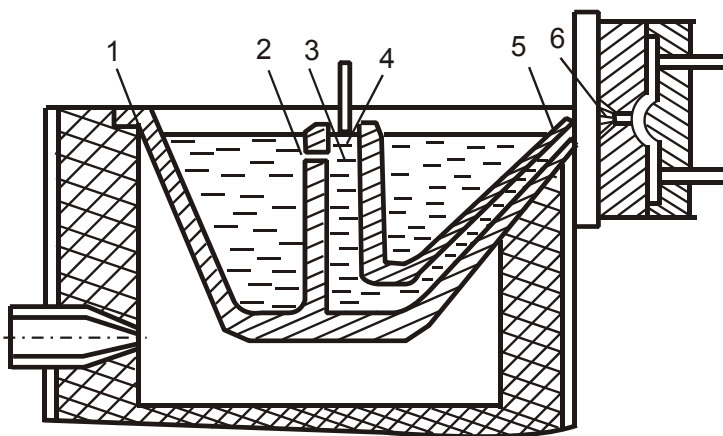


Рис. 7.57. **Схема поршневої машини гарячого тиску**

Умовні позначення: 1 – ванна; 2 – рідкий метал; 3 – камера; 4 – поршень; 5 – ливник; 6 – прес-форма

і тому працює в складних умовах. Крізь ливник 5 метал надходить у порожнину прес-форми 6. Використовується для виготовлення відливок зі сплавів з низькою температурою плавлення на основі цинку, свинцю й олова.

Виливання відливок за виплавленими моделями полягає в тому, що метал заливають у разову тонкостінну керамічну форму,

виготовлену за разовими моделями із воскової маси, що легко виплавляється. Легкоплавкі моделі виготовляють із парафіну, стеарину, воску, церезину, каніфолю. Модельну масу в тістоподібному стані шприцом заливають у металеву роз'ємну форму, яка дає точний відбиток і розміри майбутнього відливка. Моделі стояка і живильників також виготовляють з модельної маси. Легкоплавкі моделі (кілька штук або кілька десятків) пристосовують до загального стояка, утворюючи блок

моделей (рис. 7.586).

Ливарну форму виготовляють нанесенням вогнетривкого покриття, занурюючи блок легкоплавких моделей у суміш із 60 – 70% маршаліту і 30 – 40% гідролізного етилсилікату. На моделі утворюється тонкий шар вогнетривкої суміші. Для укріплення цього шару блок посипають кварцовим піском і дають покриттю висохнути; занурення у вогнетривку суміш повторюють ще 3 – 5 разів із сушінням після кожного разу. Наступна операція – виготовлення із вогнетривкої оболонки (форми) легкоплавкої моделі. Для цього блок моделей з оболонкою занурюють у гарячу воду (90°C) або ставлять у сушильну шафу. Моделі й елементи ливникової системи витоплюються і витікають із форми. Оскільки оболонка ще не досить міцна, її наформовують у металеві ящики сухим піском і поміщають у термічну піч, де й випалюють за температури 800 – 900°C. При цьому кірка зміцнюється і стає газопроникною, тому що з неї випалюються залишки модельної суміші.

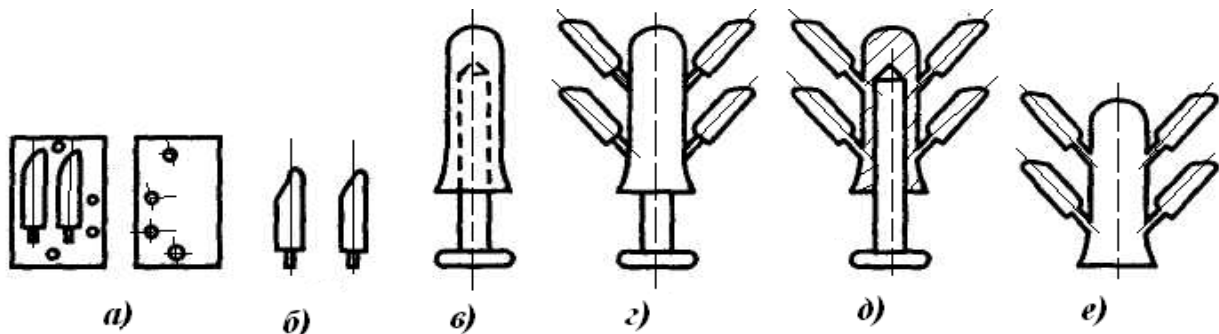


Рис. 7.58. **Схема лиття за виплавлюваними моделями**

Умовні позначення: а – прес-форма; б – моделі відливків; в – ливникова система; г – блок з моделями; д – розріз блоку; е – закристалізований блок

Металом заливають форму відразу після її випалення, не очікуючи зниження температури, що сприяє одержанню більш точного литва. Відливки вибивають із форм на вібраційних машинах. З порожнин вогнетривку масу видаляють вилуговуванням у ванні за температури 120°C, після чого відливки промивають у воді. Цим способом виготовляють відливки зі сплавів з будь-якою температурою плавлення, а також важкооброблюваних різанням і тиском металів (жароміцні, жаростійкі, різальний інструмент зі швидкорізальної сталі). Основні переваги лиття за виплавлюваними моделями – найвища точність розмірів і чистота поверхні відливків, а також висока продуктивність.

Виливання відливків в *оболонковій формі* полягає у виготовленні тонкостінних форм (0,215 мм) з мілкозернистого кварцового піску і терморективної синтетичної смоли (3 – 7%). Суміш у разі незначного нагрівання плавиться, а в процесі подальшого нагрівання –

полімеризується і незворотно твердне. Виготовлення оболонкових форм починається з нагрівання модельних металевих плит в електричній печі до температури 220 – 280°C (рис. 7.59а). Нагріту модельну плиту 1 (рис. 7.59б) закріплюють моделлю вниз за бункером 2 з формовою сумішшю 3, яка складається з піску і домішок смоли у вигляді порошку. Бункер разом з модельною плитою повертають на 180° (рис. 7.59в) і формова суміш потрапляє на модельну плиту. Смола суміші плавиться і зв'язує зерна піску в напівтверду кірку.

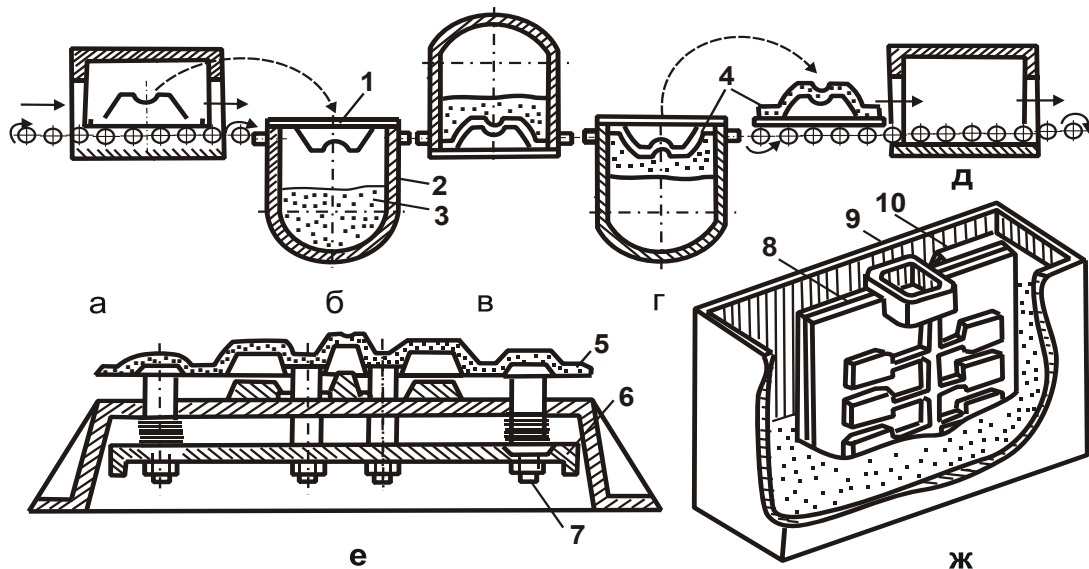


Рис. 7.59. Схема виготовлення оболонкової форми

Потім бункер повертається у вихідне положення, формова суміш, що не прореагувала, падає на дно бункера, а на модельній плиті залишається напівтверда оболонка 4 завтовшки 6 – 8 мм (рис. 7.59г). Далі модельну плиту подають у піч для остаточного затвердіння оболонки за температури до 500°C (рис. 7.59д). Готову тверду оболонку 5 знімають з модельної плити 6 за допомогою штовхачів 7 (рис. 7.59е). Таким способом виготовляють обидві половини оболонкової форми. Стрижні також виготовляють із цієї суміші в металевих стрижневих ящиках за такою ж технологією. Заключною операцією є складання оболонкової форми з напівформ. Напівформи 8 (рис. 7.59ж) скріплюють скобами, струбцинами або склеюють по площі роз'єднання. Форму кладуть у металевий ящик 9, засипають навколо крупним піском 10 і заливають металом. Висока температура сприяє вигоранню смоли, тому оболонка втрачає міцність і легко відділяється в процесі вибивання. За точністю розмірів, чистотою поверхні і форм, відливки перевищують одержані в піщано-глинистих формах і тому цей спосіб широко застосовують у серійному і масовому виробництві дрібних і середніх деталей із будь-яких сплавів.

Виливання відливоків *відцентровим способом* полягає в тому, що метал заливають у кокіль, який обертається з певною швидкістю. Заповнення кокілю і кристалізація металу відбувається під дією відцентрових сил, внаслідок чого гази і неметалеві домішки витісняються до внутрішньої порожнини відливка, звідки їх потім видаляють механічним способом. Вісь обертання збігається з віссю відливка, і тому внутрішня порожнина його утворюється без застосування стрижнів.

Для обертання форм використовують відцентрові машини (а) з горизонтальною віссю обертання і з вертикальною віссю обертання (б)

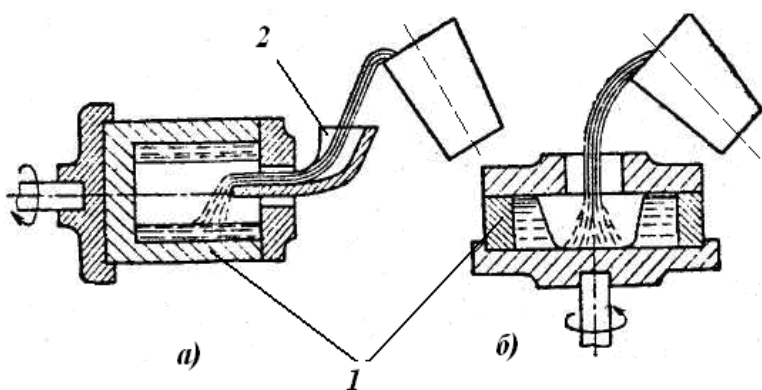


Рис. 7.60. Схема виготовлення виливків методом відцентрового лиття в машинах з горизонтальною і вертикальною віссю обертання

(рис. 7.60). Машини з горизонтальною віссю обертання дозволяють одержувати відливки великої довжини, наприклад, труб на машинах з вертикальною віссю обертання, а також деталі малої довжини, наприклад втулки. Перевагою відцентрового виливання є високий вихід придатних відливоків (до

90%) завдяки майже повній відсутності втрати металу на ливникову систему і додатки, а також незначних припусків на подальшу механічну обробку.

Виготовлення виливків *електрошлаковим виливанням* полягає у використанні технології електрошлакового переплавлення, за якого плавлення металу, заповнення ним ливарної форми і затвердіння виливка відбувається одночасно, тому що ливарна форма є плавильним агрегатом і формує виливок. Цей процес відбувається під шаром рідкого шлаку, який є джерелом тепла, очищує метал від сірки і фосфору, захищає його від кисню і азоту повітря, виконує роль теплового додатка під час кристалізації металу, що усуває усадочні свищі. Потреба в додатках і головні переваги електрошлакового виливання полягають в одержанні виливків високої якості, відсутності потреби в плавильних агрегатах, розливних ковшах, формувальних сумішах, ливникових системах і прибутках, економії металу. Використовують цей спосіб для одержання відливоків корпусів атомних реакторів, паропроводів високого тиску, колінчастих валів океанських дизелів, прокатних валків, кувальних штампів та ін.

Заготовки, отримані обробкою металів тиском. Пластичність – властивість металу змінювати свою форму під тиском зовнішніх сил. Під час обробки металу тиском його стискають більше, ніж дозволяє межа пружності металу, але менше, ніж межа міцності. Це приводить до стиснення деяких кристалічних зерен, їх роздрібнення, а також зміщення всередині зерен і на їх межах. Зміщення в монокристалах відбувається за визначеними площами (“площами ковзання”), де знаходиться найбільша кількість атомів. Деформація сприяє скручуванню кристалографічних решіток, появі внутрішніх кристалічних та міжкристалічних пошкоджень, що погіршує деформацію, метал міцніє, з'являється наклеп, змінюються механічні, фізичні та хімічні властивості металу і в разі збільшення деформації може настати момент руйнування деформованого металу. Процес холодної деформації металу здійснюють за температур, нижчих ніж 0,3 відсотка від абсолютної температури плавлення металу, а гарячої деформації – за температури 0,65 – 0,75 відсотка.

Шляхом нагрівання можна зняти наклеп і повернути метал в попереднє становище. Поступове нагрівання металу призводить до ліквідації внутрішніх напружень, поступово зникає деформація решіток. Подальше нагрівання металу сприяє виникненню нових зерен з правильною кристалічною решіткою. Це явище має назву рекристалізації. Температура рекристалізації дорівнює 0,4 відсоткам від абсолютної температури плавлення металу. Швидкість рекристалізації зростає у міру підвищення температури. Дуже часто відновлений рекристалізацією метал не має слідів зміцнення: кристалографічна решітка не зруйнована і здатна витримати значні деформації.

У металі, температура якого вища від температури рекристалізації, під час обробки тиском водночас із процесом роздрібнення зерен відбувається рекристалізація, що не дає можливості розвитку наклепу. Ця особливість поведінки металу використовується в процесі кування або теплової обробки металів.

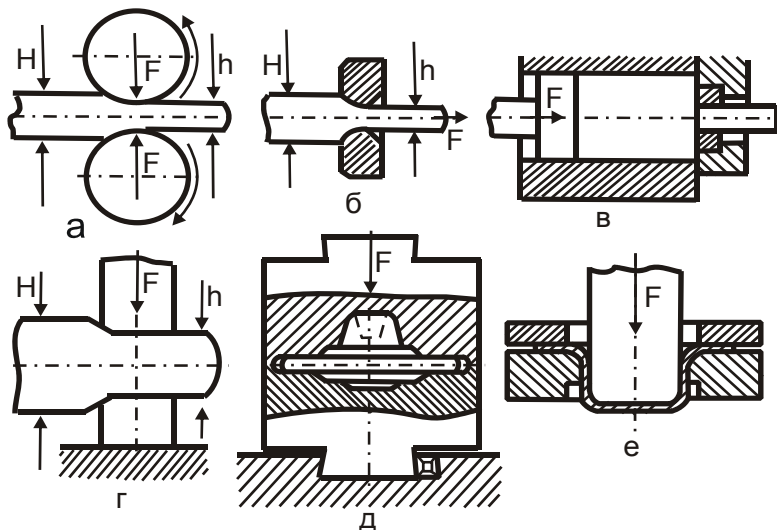
Для досягнення потрібних характеристик металу після його обробки тиском необхідно правильно підібрати температуру початку і кінця обробки. Швидке нагрівання металу може дати тріщину, а за низької температури його пластичність буде малою для деформації, висока температура може дати окиснення на межах зерен і розплавлення міжкристалічної речовини, що призведе до руйнування металу.

Закінчення теплової обробки металу тиском не повинне відбуватися за високої температури, оскільки при цьому буде формуватись великокристалічна структура. Вона не повинна бути й дуже низькою, адже це призведе до наклепу. Ось чому температура металу має велике значення під час його обробки тиском.

Під час гарячої обробки тиском зерна металу, який має велику пластичність при низькій міцності, витягуються і трансформуються у волокна. Волокниста будова металу забезпечує його важливі переваги порівняно зі звичайною зернистою структурою, оскільки міцність деформованого металу на розрив уздовж волокон виявляється значно вищою, ніж у поперечному напрямку.

Те ж саме можна сказати і про опір зрізним навантаженням: міцність на зріз поперек волокон значно вища, ніж уздовж них. Знаючи характер навантаження окремих елементів деталей в експлуатаційних умовах, можна ще в процесі виготовлення заготовок надавати волокнам найвигіднішої орієнтації, яка відповідає характеру навантаження відповідних елементів і цим забезпечує великий запас міцності виготовленої деталі.

Види обробки металів тиском. Головними видами обробки металів тиском є: прокатування, пресування, волочіння, кування, об'ємне і листове штампування (рис. 7.61).



Прокатування передбачає обтискання металу обертовими валками (рис. 7.61 а), що дозволяє отримувати вироби з однаковою по довжині формою поперечного перерізу (прутки, труби, листи, рейки, дрід).

Рис. 7.61. **Схеми обробки металів тиском**

у протягуванні заготовки крізь отвір у волочильній матриці (рис. 7.61б), що дозволяє отримувати різні сорти дроту, калібровані прутки, тонкостінні труби.

Пресування полягає у витисканні нагрітого металу із замкненої порожнини крізь отвір у матриці (рис. 7.61в). Форма та розмір

поперечного перерізу пресованих виробів відповідають конфігурації та розмірам цього отвору.

Кування – процес деформування нагрітої заготовки між ударниками молота або преса (рис. 7.61г).

Об'ємне штампування виконує одночасне деформування заготовки у штампі на молотах, пресах та горизонтально-кувальних машинах (рис. 7.61д). Форми і розміри внутрішньої порожнини штампа визначають конфігурацію і розміри вивоків. Класифікація основних операцій, які застосовуються під час кування й штампування, наведена в додатку 3 (рис. 3.1).

Листове штампування забезпечує виготовлення плоских і об'ємних деталей з листа за допомогою штампів на холодно-штампувальних пресах (рис. 7.61е).

Нагрівання металу для обробки тиском. Метали мають температурну зону нагрівання для обробки тиском: сплави алюмінію – 350 – 500°C, сплави міді – 600 – 850°C, сталі – 900 – 1 300°C.

Нагрівання металу для обробки тиском виконують у полуменевих печах і електронагріванням. Полуменеві печі бувають камерними і методичними. Камерні печі мають невеликі розміри: методичні печі високопродуктивні, економічні і їх широко використовують у прокатному і ковальсько-штамповому виробництві, а також у разі великих програм виробництва. Полуменеві печі мають недолік, який полягає у вигарі металу і зниженні кількості вуглецю на поверхні. Нагрівання металу в захисній атмосфері знижує його окиснення.

Найбільш прогресивним є електричне нагрівання металу, яке може бути контактним або індукційним.

Контактне нагрівання полягає в пропусканні струму через метал, омичний опір якого дає температуру. Використовують його, головним чином, для підігрівання прутків, труб діаметром до 75 мм.

Індукційне підігрівання ведуть в індукторі струмом високої частоти, що дає швидке підігрівання, забезпечує точне регулювання температури, обладнання займає невеликі площі. Слід розглянути більш детально способи обробки металів тиском.

Прокатування металів – це процес деформування відливка 1 або іншої довгої металевої заготовки між двома обертовими валками 2 і 3, відстань між робочими поверхнями яких менша за висоту заготовки (рис. 7.62). Метою прокатування є отримання різноманітних виробів, які

відрізняються профілями, розмірами поперечного перерізу та довжинами балок чи прутків і становлять так званий сортамент прокату.

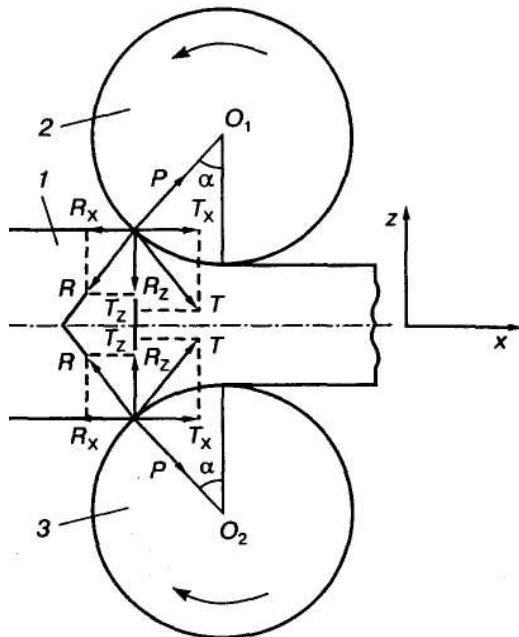


Рис. 7.62. Схема прокатування з зазначенням діючих сил

Умовні позначення: 1 – заготовка; 2, 3 – відповідно верхній і нижній обертові валки

У процесі прокатування деформація металу відбувається на ділянці дуги (рис. 7.62) в зоні деформації з центральним кутом α , ця дуга має назву дуги захоплення, а центральний кут α – кутом захоплення. Прокатування сприяє збільшенню довжини і ширини заготовки, а також зменшенню її товщини. У початкових точках контакту валків із заготовкою діють сили тиску валків на метал R і сили тертя T , проекції яких на вісь x відповідно: $R_x = R \cdot \sin \alpha$ і $T_x = T \cdot \cos \alpha$. Для умови захоплення заготовки валками потрібно, щоб $T_x > R_x$. Вона буде забезпечена, якщо кут захоплення

буде меншим, ніж кут тертя, який залежить від стану поверхні валків і заготовки і зменшується зі зростанням температури. Заготовка захоплюється в робочий простір між валками й переміщується силами тертя, що виникають між нею і валками.

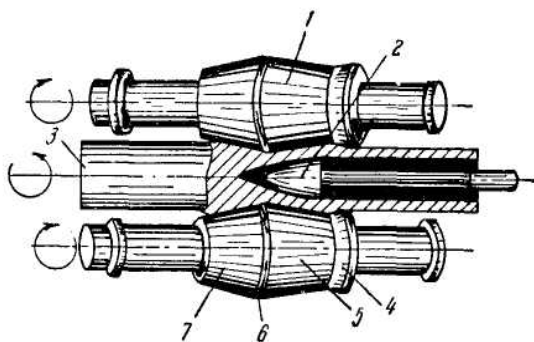


Рис. 7.63. Схема поперечного прокатування безшовних труб

Умовні позначення: 1 – валки; 2 – пробка на стрижні; 3 – заготовка; 4 – конус випуску; 5 – конус розкатування; 6 – пояс, що калібрує; 7 – конус прошивання

Прокатування може бути поздовжнім і поперечним. Поздовжнім прокатуванням виготовляють до 90% всього прокату (прутки, лист, стрічки). Він базується на тому, що заготовка переміщується перпендикулярно до валків, які обертаються навколо своїх осей у протилежних напрямках. Схема поперечного прокатування наведена на рис. 7.63. За такої схеми обробки

заготовка переміщується вздовж прокатних валків. Попережно-гвинтове прокатування здійснюється під час обертання валків в одному напрямі. Валки розміщені під кутом один до одного, що забезпечує появу осьового зусилля, завдяки якому заготовка переміщується вздовж осей валків. Використовується під час прошивання трубних заготовок.

До сортаменту сталевого прокатування входять такі основні групи:

сортове прокатування простого профілю (рис. 7.64а), що використовується для нарізування заготовок, які йдуть або на подальшу обробку тиском (кування чи штампування), або на механічну обробку для виготовлення різних деталей;

сортове прокатування фасонного профілю (рис. 7.64б), що використовується для різних будівельних конструкцій, у тому числі для залізничних колій;

листова прокатування, що поділяється на товстолистову (понад 4 мм) і тонколистову (0,2 – 3,75 мм) сталь; сюди входять і різноманітного призначення безшовні труби різного діаметра з різною товщиною стінок;

спеціальне прокатування – це вагонні колеса, шпунтові палі та ін.;

періодичне прокатування (рис. 7.64в) – це вироби з періодично змінним за довжиною профілем; використовується для штампування заготовок (наприклад, заготовки шатунів автомобільних двигунів) або безпосередньо для механічної обробки.

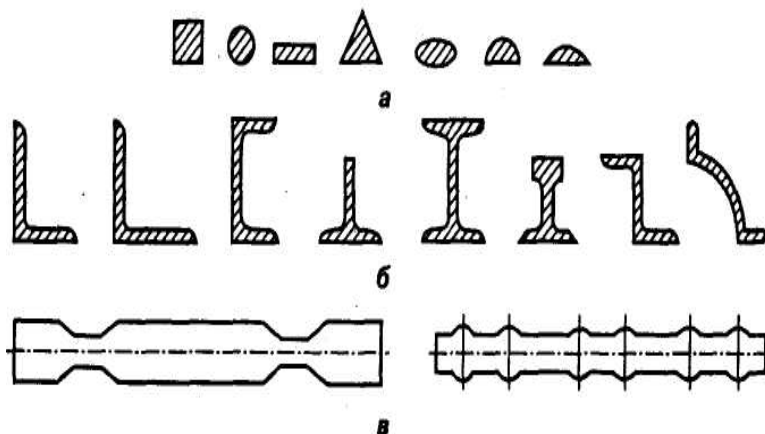


Рис. 7.64. Сортамент сталевого прокатування

Умовні позначення: а – простий профіль; б – фасонний профіль; в – періодично змінний профіль

Існують також спеціальні сортаменти прокатування з кольорових металів і сплавів (міді, алюмінію, латуні, дюралю) у вигляді листів, стрічок, труб, прутків та інших виробів.

Найважливішою особливістю деформації металу під час прокатування є можливість отримання волокнистої структури його з орієнтуванням волокон

напрямі прокатування, тобто перпендикулярно до осей обертання валків. Це пояснюється тим, що в процесі стискання перерізу заготовки між валками метал витягується переважно в напрямі найменшого опору,

тобто назовні. Деформуванню й витягуванню його в поперечному напрямі перешкоджає тертя на поверхні валків. Оскільки загальне видовжування металу заготовки складається з видовжування його окремих зерен, то ці зерна перетворюються у волокна.

Прокатування металів здійснюється на прокатних станах. Основними робочими елементами прокатних станів є валки циліндричної форми, які розміщуються в основній частині стану – робочій кліті. Робоча частина валка називається бочкою, вона може бути рівною або з рівчачками. Рівні бочки застосовуються для прокатування листів і стрічок, а рівчачкові – сортового металу. Рівчачки є кільцевими вирізами на поверхні валка. Збіжні рівчачки верхнього й нижнього валків утворюють калібри, за допомогою яких сортовому прокату поступово надаються необхідні профілі.

Прокатні стани класифікуються за рядом ознак, основною з яких є вид продукції, що випускається. У зв'язку з цим можна виділити такі найбільш поширені види станів: сортопрокатні – для випуску сортового прокату; листові й стрічкові – для гарячого прокатування; трубопрокатні; для холодного прокатування сталі та кольорових металів (тонколистові, стрічкопрокатні, фольгопрокатні тощо); деталепрокатні – для випуску спеціального або періодичного прокату.

Холодне прокатування стрічки з алюмінієвих сплавів АМц, Д1, Д16 здійснюється з гарячекатаних листів товщиною до 6 мм. Стрічку товщиною до 0,6 мм катають без проміжного пом'якшувального відпалювання. Заготовками для холодного прокатування стрічок з міді й латуні Л62 є згорнені в рулони листи завтовшки 5 – 6 мм, отримані гарячим прокатуванням зі зливків. Відпалені й протравлені рулони прокатують на спеціальних станах до товщини 0,01 – 0,2 мм протягом чотирьох-п'яти операцій холодного прокатування, що чергуються, з пом'якшувальним відпалюванням і травленням для усунення окалини.

Тонкі листи й стрічку з міді та латуні отримують холодним прокатуванням із гарячекатаних заготовок товщиною 10 – 15 мм з попередньо усуненими за допомогою фрезерування поверхневими дефектами. Прокатування виконують до необхідної товщини в кілька обтисків, застосовуючи проміжне відпалювання за температури 450 – 800°C для відновлення пластичності металу. Для холодного прокатування беруть переважно однофазні латуні із вмістом цинку менш як 30% і значним запасом пластичності. Щоб запобігти налипанню міді й латуні на сталеві валки, використовують рідке мастило (трансформаторну оливу, гас та ін.).

Будова прокатного стану. Робоча кліть має станину, в якій

змонтовано валки, для зміни зазору яких верхній валок разом з підшипником переміщується в пазах станини за допомогою натискного пристрою, рух від електродвигуна до валків передається через редуктор, трибову кліть і трєфові шпинделі, які з'єднуються з валками трєфовими муфтами.

Класифікація станів. За кількістю і розміщенням валків у клітях розрізняють стани: з горизонтальними валками, універсальні з горизонтальними і вертикальними валками, з косо розміщеними валками. Стани з горизонтальними валками поділяють на дво-, три- і багатовалкові. Двовалкові (дуо) можуть бути нереверсивними і реверсивними, на тривалкових станах (тріо) заготовка в один бік переміщується між нижнім і середнім, а в зворотному напрямі – між середнім і верхнім. Багатовалкові стани мають два робочі валки невеликого діаметра, а решта валків більшого діаметра – опорні, які запобігають прогинанню валків і забезпечують точність прокатування листів, стрічок. Стани можуть бути одноклітьовими і багатоклітьовими з лінійним і послідовним розміщенням клітей. У лінійних станах кліті 10 розташовані в одну лінію і в один привід. Швидкість на таких станах невелика – до 4 м/сек. У безперервних станах використовується послідовне розташування валків. Швидкість прокатування досягає 45 м/с, а продуктивність – 4 млн т прокату на рік.

Пресування та волочіння. Пресування є процесом витіснення металу із замкнутого простору крізь отвір матриці, переріз якого

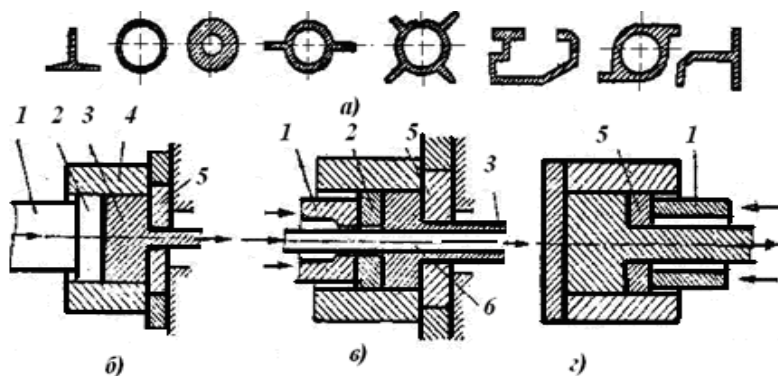


Рис. 7.65. Основні профілі та схеми пресування

відповідає профілю виробу. Заготовкою для пресування може бути зливков або круглий прокат. У процесі прямого пресування (рис. 7.65б) вихід металу крізь отвір у матриці 5 співпадає з напрямком руху пуансона 1, тиск якого на заготовку 3 передається через прес-шайбу 2. Частину металу,

що залишається в контейнері 4, називають прес-залишком, який може становити від 8 до 12% від маси зливка. Пресування труб (рис. 7.65в) потребує спочатку прошивання зливка голкою 6, яка проходить через порожній пуансон. Подальше переміщення пуансона і прес-шайби 2 сприяє видаленню металу у вигляді труби 3.

Під час зворотного пресування (рис. 7.65г) матриця 5 розміщується в кінці порожнистого пуансона і метал витискується через пуансон, що сприяє зменшенню відходів до 6 – 10%. Продукція пресування дуже різноманітна (див. рис. 7.65а). До недоліків процесу належать значні відходи металу та інтенсивне зношування інструменту.

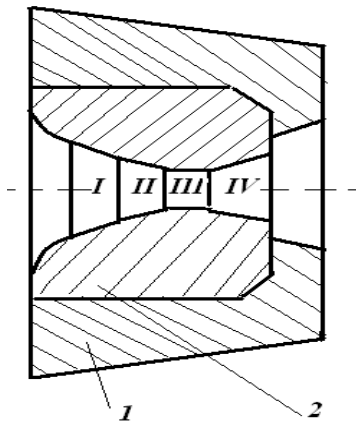


Рис. 7.66. **Складна волока**

Умовні позначення:

- 1 – корпус волоки;
- 2 – твердосплавна вставка (вічко)

Волочіння полягає в протягуванні заготовок крізь отвір у матриці (рис. 7.66), переріз якого менший за переріз заготовки, що дозволяє отримувати різноманітні профілі, калібровані прутки, холоднотягнуті труби діаметром до 500 мм зі стінками завтовшки від 0,1 до 10 мм. Інструментом для волочіння є волочильна матриця (волока) яка може бути суцільною, складною або роликвою. Складна волока має вічко, яке складається із 4-х зон: мастильної лійки I, робочого конуса II, калібрувального пояса III і вихідного конуса IV. Завдяки наклепу волочіння підвищує міцність і твердість виробів.

Волочіння труб здійснюється двома способами: зменшують тільки діаметр без оправки (рис. 7.67а), зменшують діаметр і товщину стінки труби (рис. 7.67б, в) із застосуванням оправки для зменшення зусиль волочіння, зношування інструмента, поліпшення поверхні виробів, для чого застосовують мастила: тверді, пластичні та рідкі.

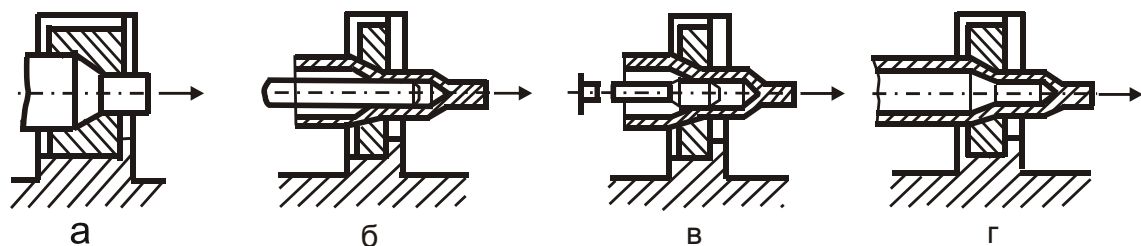


Рис. 7.67. **Схеми волочіння**

Кування. Механічною гарячою обробкою тиском називається обробка металу, нагрітого до температури, вищої від температури рекристалізації (для сталі в межах від 750 до 1350°C), що дозволяє одержати вироби необхідної форми за допомогою спеціальних машин і механізмів. Класифікація основних операцій, які застосовуються під час кування й штампування, наведені на рис. Ж.1.

Види операцій кування (рис. 7.68) різноманітні. Для подовження і зменшення заготовки використовують витягування (протягування) 3, розкочування кілець 4 для збільшення діаметра. Для місцевого потовщення заготовки використовують висадку 1, прошивання 9 і 10, згинання 6, крутіння під час виготовлення колінчастих валів 7, рубання 8.

Кування передбачає деформування нагрітої заготовки між верхнім і нижнім ударниками молота або преса. Кування може бути ручним на кувалді або механізованим. Розрізняються два види механічного кування – вільне і в гарячих (ковальських) штампах. Для виконання механічного вільного кування вручну або механізованим способом оброблюваний метал укладають на кувалду й надають йому необхідної форми, вдаряючи молотом, поступово повертаючи виріб. Іноді кування на молотах замінюється вільним гарячим пресуванням на механічних або гідравлічних пресах.

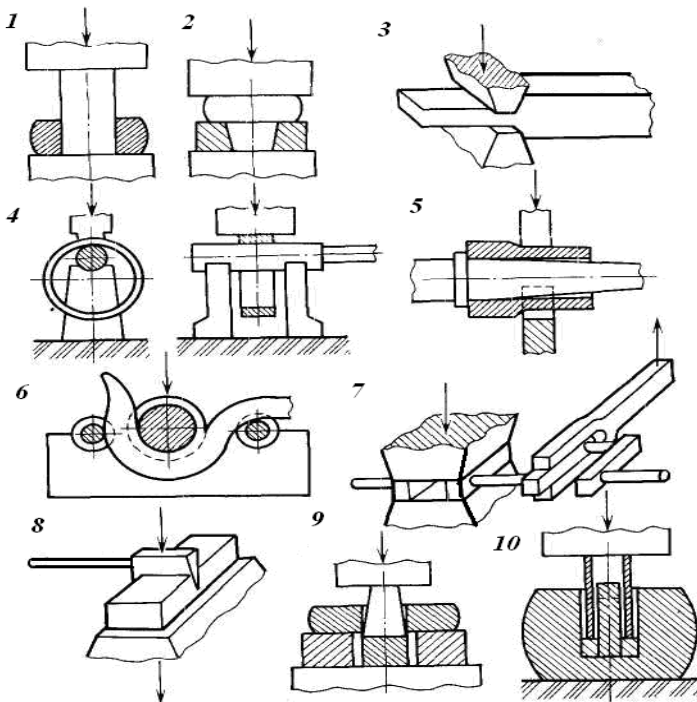


Рис. 7.68. Основні технологічні операції кування

Умовні позначення: 1 – осаджування; 2 – висадження; 3 – витягування; 4, 5 – розкочування; 6 – згинання; 7 – крутіння; 8 – рубання; 9, 10 – прошивання

поступово здійснюючи на нього тиск. Молоти за конструкцією й технологічними особливостями підрозділяються на парові, пароповітряні, спадні із фрикційними дисками й пружинні.

Великі поковки (масою більше 1,5 т) виготовляють із відливок тільки куванням. Менші поковки можна виготовляти штампуванням. Невеликі поковки (до 150 кг) кувають на кувальних молотах і пресах. Дрібні та середні поковки кувають з сортового прокату. Куванням у гарячих штампах називається кування молотом нагрітого металу, поміщеного в ривчак штампа.

Для гарячої механічної обробки тиском використовуються машини двох видів: молоти й преси. Молот – це машина, що надає нагрітому металу форми шляхом удару, а прес надає форми металу,

Преси підрозділяються на гідравлічні, парогідравлічні, гвинтові, фрикційні, ексцентрикові, кривошипні й пружинні. Принцип дії й конструкція механічних молотів відрізняється від принципу дії й конструкції пресів. Молоти, на відміну від пресів, викликають струс підлоги й будівлі.

Таким чином, для кування використовують пароповітряні молоти та гідравлічні преси, за допомогою яких одержують грубі поковки, форма яких певною мірою відповідає формі готових виробів. У процесі подальшої обробки цих поковок механічними способами витрачається значна кількість металу, що пов'язано зі значними витратами.

Штамування. Ковальський штамп становить дві сталеві товсті плити, на робочих поверхнях яких виконані заглиблення, названі рівчачками, що відповідають формі оброблюваної деталі. Для гарячого об'ємного кування і штампування застосовують два види гарячих штампів: відкриті, що мають тільки нижні рівчачки, і закриті, що мають рівчачки в обох половинках штампа. Вони можуть бути одно- й багаторівчачковими (рис. 7.69).

Кування у штампах, називають звичайно гарячим штампуванням, воно може виконуватися в однорівчачкових або в багаторівчачкових штампах.

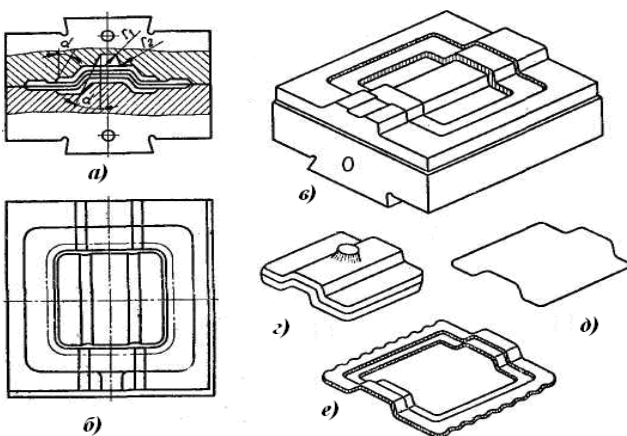


Рис. 7.69. Ковальський штамп:

Умовні позначення: а – розріз; б – вид зверху рівчачка в нижній половині ковальського штампа; в – нижня частина штампа; г – кування; д – контур рознімання; е – облой

Залежно від конструкції й маси заготовки штампи можуть бути одномісними (для однієї деталі) і багатомісними (для штампування двох і більше деталей). Таким чином, гаряче об'ємне штампування – процес виготовлення поковок у штампах, рівчак яких відповідає конфігурації поковки.

У відкритих штампах між рухомою і нерухомою частинами штампа є зазор, куди витікає зайвий метал, який потім обрізується.

У закритих штампах деформування відбувається в закритій порожнині і не супроводжується появою зайвого металу. Закриті штампи можуть бути з однією і двома площинами роз'єму, для витискання, виготовлення фасонної заготовки, збільшення перерізу заготовки, надання заготовки форми, наближеної до поковки, згинання.

Для штампування використовують окрім штампувальних молотів, пресів і горизонтально-кувальні машини. Кування у штампах порівняно з вільним має багато переваг. До них відносяться: велика продуктивність і низька вартість виробництва при значних обсягах випуску поковок, більш високі механічні властивості кувань, менші витрати матеріалу, можливість виготовлення заготовок складної форми, що наближаються до готових деталей, одержання більш точних розмірів і чистої поверхні, простота роботи, а також можливість використання на цій роботі працівників з порівняно низькою кваліфікацією. Для здійснення кування або гарячого штампування метал, залежно від виробничих можливостей, може нагріватися в горнах, газових або мазутних (нафтових), електричних печах і на спеціальних електричних установках.

Перед закріпленням штампа на молотах або пресах варто провести його зовнішній огляд. Ушкоджені або штампи, що вийшли з ладу, використовувати не можна. Справні штампи потрібно правильно встановити й надійно закріпити. Потім штамп підігрівають до температури 200 – 300°C і виконують пробне кування з матеріалу виробу. У разі використання свинцю як металу для перевірки правильності установки штамп підігрівають до 100 – 150°C. Не можна використовувати штампи, якщо вони в процесі штампування нагрілися до температури 500°C (потрібно перервати роботу). Перед тим, як розпочати кування, матрицю потрібно змазати сумішшю масла із графітом або обсипати тонким шаром мокрих ошурок. У такий спосіб кування охороняють від приварювання до стінок ривчака. Нагрітий і підготовлений до обробки матеріал потрібно очистити від окалини. Очищення виконується ударами або поливом водою.

Холодне штампування виконують без нагрівання заготовок. Його поділяють на об'ємне і листове.

Об'ємне штампування має наступні основні види: витискання, висаджування, об'ємне формування і калібрування. Холодні об'ємні формування, висадка і калібрування аналогічні до процесів гарячого об'ємного штампування, а холодне витискання аналогічне до пресування. Ці операції забезпечують досягнення більш високої точності і більш якісної поверхні заготовок. Холодне об'ємне штампування дає можливість майже повністю виключити обробку різанням, зменшує трудомісткість виготовлення деталей на 30 – 80% і підвищує коефіцієнт використання матеріалу на 50%.

Листовим штампуванням називають процес виробництва деталей з листа, стрічки. Товщина деталі майже не відрізняється від товщини листового матеріалу і не перевищує 10 мм. Цей вид штампування має високу продуктивність (до 40 тис. деталей за зміну), високу точність штамповок, що не потребує механічної обробки, економічну доцільність за умов масового і серійного виробництва. Штампування з листового матеріалу широко використовують в автомобільній промисловості, де до 60% деталей виготовляють цим способом, у приладобудуванні – до 75%, у виробництві товарів широкого вжитку – 98%. До особливих способів листового штампування відносять: штампування вибуховою хвилею, електрогідравлічне, магнітно-імпульсне, штампування гумою, рідиною, ротаційне втискування на спеціальних верстатах.

Штампування вибухом засноване на передачі заготовці енергії вибуху через рідину (воду). Штампування виконують у залізобетонних басейнах (рис. 7.70а). Штмп з матриці 1 розміщується на дні або біля стінки басейну з водою. Заготовка 3 затискується між притискачем 4 і матрицею. Зона між матрицею і заготовкою піддається вакуумуванню через систему 2. У

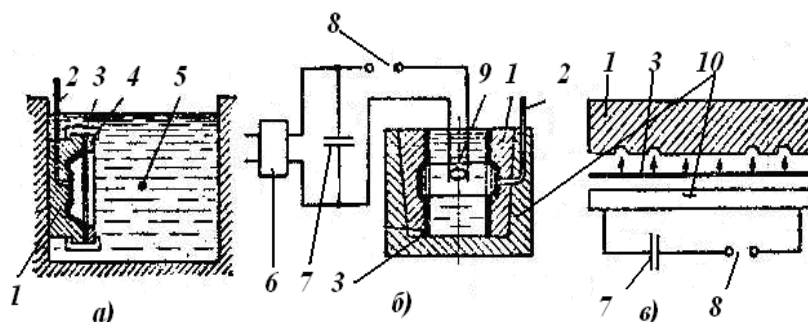


Рис. 7.70. Особливі методи листового штампування

процесі подриву вибухівки 5 у воді виникає ударна хвиля, яка й деформує заготовку. Матриці виготовляють з чавуну та інших матеріалів.

Електрогідравлічне штампування подіб-

не до штампування вибухом, де ударна хвиля виникає під час електричного розряду (рис. 7.70б). Установа, крім матриці 3 і вакуумної системи 2, як і під час штампування вибухом, має зарядний пристрій 6, розрядник 8, що забезпечує подачу енергії і накопичення її в конденсаторі 7 на робочий розрядник 9. Цей спосіб застосовується для розвальцювання труб, які використовуються в установках високого тиску.

Електромагнітне (магнітно-імпульсне) штампування ґрунтується на прямому деформуванні металу імпульсними електромагнітними полями. Установа (рис. 7.70в) має зарядний пристрій, ємний накопичувач енергії (батарею-конденсатор) 7, комутаційний пристрій 8 та

індуктор 10. У процесі проходження імпульсу електричного струму великої сили (до 150 000 А) крізь індуктор, між ним і заготовкою створюється магнітне поле високої індуктивності, яке викликає в заготовці 3 вихрові струми. Взаємодія електричного поля і наведених струмів спричиняє сили відштовхування, які деформують заготовку за пуансоном або матрицею 1. Зусилля, які виникають при цьому, діють протягом кількох мікросекунд і тиск досягає 350 МПа. Застосовують цей вид штампування для обтискання і формування трубних заготовок, штампування площинних листових деталей з електропровідних матеріалів (алюмінію, міді, латуні, маловуглецевої сталі), а також для запресування в трубах кілець, з'єднання кінців труб, виготовлення балонів.

7.4.2. Технологічні операції обробки деталей

Обробка металів різанням. Процес різання металів полягає у зрізуванні з оброблюваної заготовки металевого шару – припуску, спеціально залишеного на обробку, з метою отримання деталей із заданими кресленням формою, розмірами та шорсткістю поверхонь.

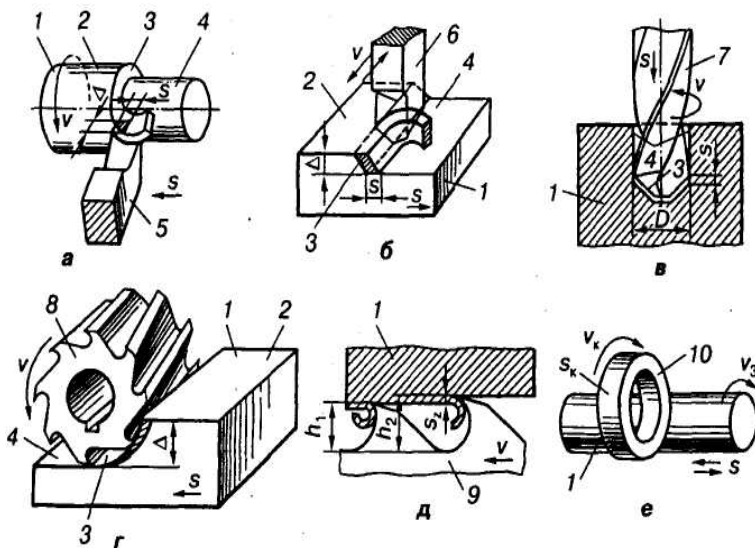


Рис. 7.71. Схеми основних видів обробки металів різанням

Умовні позначення: а – точіння; б – стругання; в – свердління; г – фрезерування; д – протягування; е – кругле шліфування; 1 – заготовка; 2 – оброблювана поверхня; 3 – поверхня різання; 4 – оброблена поверхня; 5 – токарний різець; 6 – стругальний різець; 7 – свердло; 8 – фреза; 9 – протяжка; 10 – шліфувальний круг

Основними видами обробки металів різанням є точіння, стругання, свердління, фрезерування, протягування та шліфування (рис. 7.71).

Обробку різанням виконують на металорізальних верстатах (токарних, стругальних, свердлильних, фрезерних, шліфувальних) із використанням різальних інструментів: різців, свердел, фрез, протяжок, шліфувальних кругів. Метал, що

видаляється в процесі різання, – припуск – перетворюється на стружку.

Наявність стружки є характерною ознакою всіх різновидів процесу різання металів. Для здійснення процесу різання потрібно мати головний рух різання і рух подачі. Головний рух різання D_r має найбільшу швидкість і називається швидкістю різання. Рух подачі D_x має швидкість, меншу за швидкість головного руху різання, і призначений для зрізування припуску з усієї поверхні, що підлягає обробці. Цей рух називається подачею. Головний рух і рух подачі залежно від виду обробки можуть бути обертальними або прямолінійно поступальними і здійснюватись як заготовкою, так і інструментом.

У процесі точіння (рис. 7.71а) головний рух D_r – обертальний рух заготовки, а рух подачі S – прямолінійний поступальний рух інструмента. Різець, переміщуючись відносно заготовки, зрізає її вихідну поверхню, яка називається оброблюваною поверхнею, внаслідок чого утворюється нова поверхня, що називається обробленою поверхнею. Тимчасово існуюча в процесі різання поверхня між оброблюваною й обробленою поверхнями називається поверхнею різання.

Відстань між оброблюваною й обробленою поверхнями, виміряна в напрямі, перпендикулярному до обробленої поверхні, називається глибиною різання $t = (D - d)/2$, де D і d – діаметри відповідно оброблюваної й обробленої поверхонь, мм.

Швидкість різання V (м/хв) – це лінійна швидкість руху точок оброблюваної поверхні заготовки, що визначається рівнянням:

$$V = \frac{D \cdot n}{1000},$$

де D – діаметр оброблюваної поверхні заготовки, мм;

n – частота обертання заготовки, об./хв.

Подача S (мм/об.) кількісно оцінюється відстанню, на яку переміщується різальний інструмент у напрямі руху подачі за один оберт заготовки.

Під час стругання (рис. 7.71б) головний рух надається різцю, а рух подачі – заготовці або головний рух і рух подачі надаються тільки різцю.

У процесі свердління або зенкерування (рис. 7.71в) як головний рух, так і рух подачі надаються різальному інструменту – свердлу (зенкеру), проте є схеми свердління, в яких головний рух надається заготовці.

Під час фрезерування (рис. 7.71г) головний рух надається різальному інструменту – фрезі, а рух подачі – заготовці, хоча є схеми фрезерування, за якими і головний рух, і рух подачі надаються фрезі.

У процесі круглого (рис. 7.71д) і плоского (рис. 7.71е) шліфування головний рух надається різальному інструменту – шліфувальному кругу, а рух подачі – заготовці.

Швидкість різання V в ході свердління (зенкерування), фрезерування та шліфування визначається так само, як і під час точіння. Розмірність швидкості різання в процесі шліфування визначається в м/с.

Швидкість різання струганням є лінійною швидкістю переміщення різця або заготовки. Подача S і глибина різання t визначаються, як і для точіння, але в ході стругання подача S має розмірність мм/подв. хід (подв. хід – подвійний хід різця або заготовки), а в процесі свердління (зенкерування) та фрезерування також розглядається подача на різальну кромку (зубець) інструмента $S_z = S/z$, де z – кількість різальних кромок (зубців) інструмента. Для фрезерування розглядається також

хвилинна подача S , мм/хв, яка чисельно дорівнює переміщенню фрези відносно заготовки за хвилину. Під час шліфування подача S , мм/об., визначається в частках ширини шліфувального круга $B : S = k \cdot B$, де $k = 0,2 - 0,8$ – коефіцієнт, що залежить від точності обробки.

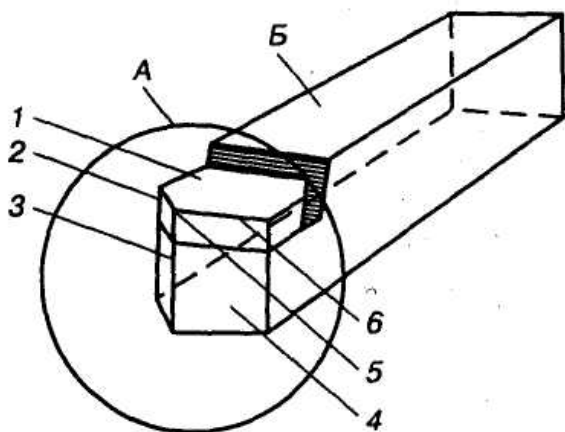


Рис. 7.72. Конструкція різця

Умовні позначення: А – різальна частина; Б – стрижень; 1 – передня поверхня різальної частини; 2, 6 – відповідно допоміжна та головна різальні крайки; 3, 4 – відповідно допоміжна та головна задні поверхні різальної частини; 5 – вершина різальної частини

поверхня повернена за ходом головного руху в бік зрізування шару на оброблюваній заготовці. По ній переміщується стружка. Головна задня поверхня повернена до поверхні різання, а допоміжна – до обробленої поверхні заготовки.

Різальний інструмент.

Найбільш поширений різальний інструмент – різець – складається з різальної частини і стрижня (рис. 7.72).

Різальна частина має передню поверхню і кілька задніх поверхонь, одна з яких називається головною, а решта – допоміжними. Передня

Передня і задня поверхні, перетинаючись, утворюють головну й допоміжну різальні крайки. Точка перетину головної та допоміжної різальних крайок утворює вершину різальної частини. Різальні крайки та контактні поверхні, що прилягають до них, на передній і задній поверхнях утворюють відповідно головні й допоміжні леза. На всіх інструментах леза в поперечному перерізі мають форму клина.

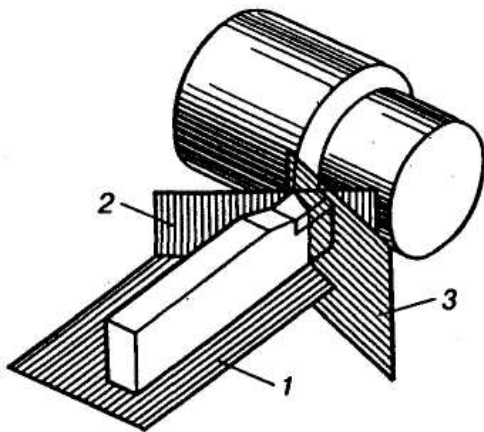


Рис. 7.73. Допоміжні площини різального інструмента в процесі точіння

Умовні позначення: 1 – основна площина; 2 – площина різання; 3 – головна січна площина

Положення поверхонь і кромки різальної частини інструмента координується відносно його державки кутівими розмірами, які називаються геометричними параметрами. Геометричні параметри інструмента розглядаються з використанням основної площини, а також площин різання та головної січної (рис. 7.73).

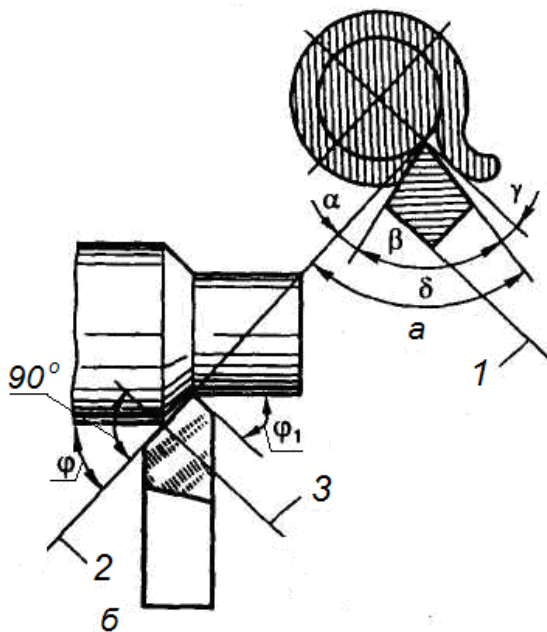


Рис. 7.74. Геометричні параметри різця:

а – в головній січній площині;
б – в основній площині

Умовні позначення: 1 – основна площина; 2 – площина різання; 3 – головна січна площина

Положення поверхонь і кромки різальної частини інструмента координується відносно його державки кутівими розмірами, які називаються геометричними параметрами. Геометричні параметри інструмента розглядаються з використанням основної площини, а також площин різання та головної січної (рис. 7.73).

Основна площина паралельна до поздовжньої та поперечної подачі і збігається з основою державки різця. Площина різання дотична до поверхні різання і проходить через головну різальну крайку.

Головна січна площина перпендикулярна до проекції головної різальної крайки на основну площину. Головні кути розглядаються в головній січній площині (рис. 7.74а): головний передній кут γ – між передньою поверхнею інструмента і площиною, яка перпендикулярна до площини різання і проходить через головну різальну кромку; головний задній кут α – між головною задньою

Головна січна площина перпендикулярна до проекції головної різальної крайки на основну площину. Головні кути розглядаються в головній січній площині (рис. 7.74а): головний передній кут γ – між передньою поверхнею інструмента і площиною, яка перпендикулярна до площини різання і проходить через головну різальну кромку; головний задній кут α – між головною задньою

Головна січна площина перпендикулярна до проекції головної різальної крайки на основну площину. Головні кути розглядаються в головній січній площині (рис. 7.74а): головний передній кут γ – між передньою поверхнею інструмента і площиною, яка перпендикулярна до площини різання і проходить через головну різальну кромку; головний задній кут α – між головною задньою

поверхнею і площиною різання; кут загострення β – між передньою й головною задньою поверхнями; кут різання δ – між площиною різання і передньою поверхнею.

Кути в плані вимірюються в основній площині (рис. 7.74б): головний кут φ – між проекцією головної різальної крайки на основну площину і напрямом подачі; допоміжний кут φ_1 – між проекцією допоміжної різальної крайки на основну площину і напрямом подачі.

Інструментальні матеріали. Металорізальний інструмент може зрізувати шар матеріалу з поверхні заготовки лише в тому разі, якщо його різальна частина виготовлена або оснащена інструментальним матеріалом, що має високу твердість, міцність, температуро- та зносостійкість. Температуростійкість інструментального матеріалу – це найбільша температура, за якої він зберігає високу твердість і міцність. Зносостійкість матеріалу визначає його здатність протистояти зношуванню матеріалу, з яким він перебуває в контакті.

У якості інструментального матеріалу для леза інструменту використовують інструментальні вуглецеві сталі, швидкорізальні сталі, тверді сплави (металокераміку), мінералокерамічні сплави (кермети), надтверді матеріали та синтетичні алмази. Так, на рис. 3.1 (додаток 3) наведені штучні абразивні матеріали та їх застосування для різальних інструментів.

ДСТ передбачено сім основних марок інструментальних, високоякісних, вуглецевих сталей: У7А, У8А, У9А, У10А, У11А, У12А і У13А. Літера “У” в позначенні марки сталі вказує на те, що ця сталь вуглецева, число, що стоїть після літери “У”, показує десяті частки відсотка вуглецю в сталі.

Наприклад, у сталі марки У8 міститься 0,8% вуглецю, а в сталі У10 – 1%. Літера “А” вказує на високоякісну сталь, що відрізняється більш низьким вмістом фосфору і сірки (допускається не більше 0,035% фосфору і не більше 0,030% сірки). Чим більше в інструментальній сталі вуглецю, тим вона твердіша, але має підвищену крихкість. Зі сталі У7 виготовляють зубила, молотки, штампи, центри токарних верстатів. Зі сталі У8 виготовляють штампи для холодного штампування, ножі. Зі сталі У10 і У12 виготовляють мітчики, свердла, фрези, планки, розгортки й вимірювальні інструменти: скоби, калібри та ін. Особливий інтерес серед інструментальних сталей становлять швидкорізальні сталі. Ці сталі,

порівняно з вуглецевими, мають більш високу стійкість перед мимовільним відпусканням. Легувальними елементами швидкорізальних сталей, наприклад P18 і P9, є вольфрам, хром, ванадій. Деякі марки швидкорізальних сталей легують також кобальтом. Легувальні елементи, що входять до складу інструментальних сталей, утворюють із вуглецем карбіди: карбіди вольфраму, хрому, ванадію та інших елементів. Подібно до цементиту, карбіди, маючи дуже високу твердість, додають сталі високої твердості, високої стійкості спрацьовування і високих різальних властивостей.

Швидкорізальні сталі з домішками вольфраму (позначається літерою P), молібдену (M), ванадію (Ф), кобальту (K) зі вмістом близько 4% хрому і 1% вуглецю. Найбільш поширені на сьогодні такі марки цих сталей: P18, P9Ф5, P6M3, P6M5, P9K5, P9K5Ф5. Їх твердість HRA = 62 – 64, температуростійкість – 620 – 640°C.

Класифікація металокерамічних твердих сплавів наведена на рис. 3.2 (додаток 3). Тверді сплави поділяються на три групи: вольфрамкобальтові (ВК), вольфрам-титан-кобальтові (ТК) і вольфрам-титан-тантал-кобальтові (ТТК). У марках твердих сплавів позначають відсотковий вміст карбідів титану (Т), сумарний вміст карбідів титану й танталу (ТТ) та металевого кобальту (К); решта – карбід-вольфраму. У твердих сплавах ці порошкоподібні карбіди з'єднуються в моноліт металевим кобальтом. У кінці марки твердого сплаву можуть стояти літери М, ОМ, Б, що означає зернистість: відповідно дрібнозернистий, особливо дрібнозернистий і грубозернистий. Наприклад, тверді сплави групи ВК: ВК3М, ВК4, ВК6М, ВК6-ОМ, ВК8, ВК10-ОМ; групи ТК: Т5К10, Т15К6, Т30К4; групи ТТК: ТТ7К12, ТТ8К6, ТТ10К8-Б.

Твердість зазначених марок твердих сплавів HRA = 87 – 91, температуростійкість 800 – 1 250°C. Покривання твердих сплавів тонким шаром (5 – 15 мкм) карбідів (титану, ніобію), боридів, нітридів дає змогу підвищити їх зносостійкість у 5 – 6 разів. Основою мінералокерамічних сплавів (керметів) є корунд – оксид алюмінію Al_2O_3 . Температуростійкість мінералокераміки і керметів – 1 300 – 1 500°C.

Надтверді матеріали є синтетичними речовинами на основі гексагонального або кубічного нітриду бору, який за твердістю перевищує кермети й поступається лише синтетичному алмазу. Температуростійкість композитів і нітриду бору – 1 300 – 1 800°C. Синтетичні алмази утворюються в процесі спікання вуглецю під високим

тиском і за високої температури. Залежно від технології вирощування кристали алмазів мають різну будову, а отже, й різні фізико-механічні властивості. За твердістю вони наближаються до природних монокристалів алмазу. Температуростійкість алмазів невисока – приблизно 650°C, але вона компенсується їх надзвичайно високою твердістю, зносостійкістю і теплопровідністю.

Процес різання. Під час переміщення різального інструмента відносно заготовки йому доводиться долати силу опору оброблюваних матеріалів пластичній деформації, силу опору пластично деформованих шарів металу руйнуванню в місцях виникнення нових (оброблених) поверхонь, а також силу тертя стружки по передній поверхні інструмента й силу тертя обробленої поверхні по його задній поверхні. Результівна цих сил називається силою різання P .

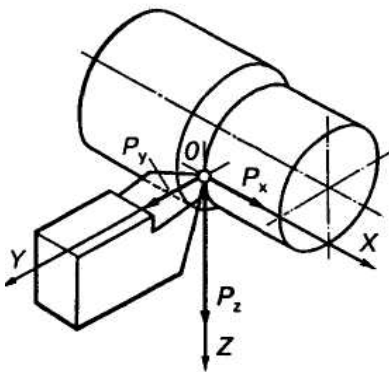


Рис. 7.75. Складові сили різання

Для зручності розрахунків силу різання P розглядають у декартовій координатній системі XYZ з центром, що збігається з вершиною перерізу O (рис. 7.75), причому вісь Y збігається з геометричною віссю державки різця, вісь X паралельна до осі обертання оброблюваної заготовки, а вісь Z збігається з вектором швидкості різання V і проходить через вершину різця – точку O . При цьому опорна площина державки різця паралельна до площини XY , а вектор швидкості подачі V проходить через вершину різця – точку O .

Проекції сили P на осі Z , Y , X називаються відповідно вертикальною (головною) P_z , радіальною P_y і осьовою P_x складовими сили різання. При куті $\varphi = 45^\circ$ співвідношення між складовими наступне: $P_z : P_y : P_x = 1 : 0,4 : 0,25$. Знаючи складові P_x , P_y і P_z , можна обчислити силу різання за залежністю:

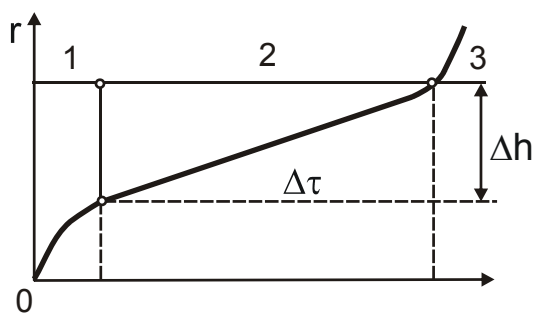


Рис. 7.76. Залежність інтенсивності зношування різального інструмента від часу обробки

Умовні позначення: 1, 2, 3 – періоди зношування

Механічна робота, яка витрачається на пластичну деформацію та руйнування металу в

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_y^2 + P_z^2} \quad (7.8)$$

Механічна робота, яка витрачається на пластичну деформацію та руйнування металу в

процесі утворення стружки й нової поверхні, а також робота сил тертя на передній і задній поверхнях інструмента майже повністю перетворюється в теплоту. Ця теплота, що виділяється в зоні різання, нагріває стружку, оброблювану заготовку і різальний інструмент, в яких утворюються температурні поля. Найвища температура, що виникає в процесі різання, не повинна бути вищою за температуростійкість інструментального матеріалу.

У процесі різання відбувається безперервне зношування передньої й задньої поверхонь різального інструмента.

Зношування різального інструмента відбувається монотонно, але не рівномірно (рис. 7.76). У 1-й період відбувається його припрацювання, протягом 2-го періоду – нормальне зношування, впродовж 3-го періоду – катастрофічне зношування аж до руйнування інструмента. Оскільки руйнування різального інструмента під час його роботи неприпустиме, то до настання періоду катастрофічного зношування потрібно припинити процес різання і перегострити інструмент.

Тривалість роботи різального інструмента до його затуплення Δt називається стійкістю (позначається літерою T). При цьому величина Δh називається критерієм затуплення різального інструмента.

Обробка на токарних верстатах. Точіння, яке виконують на

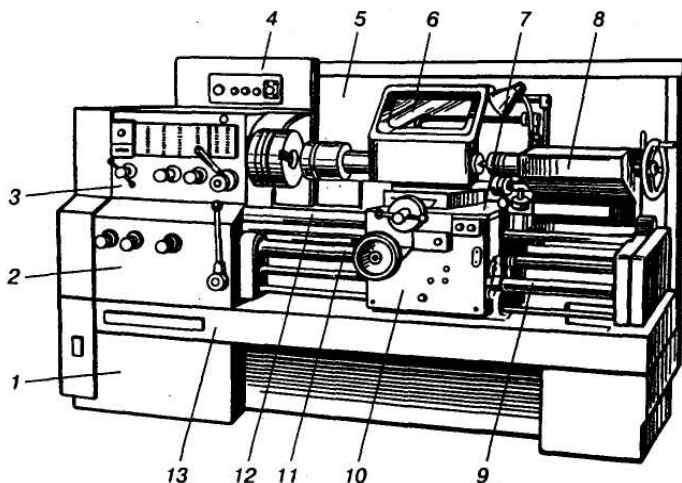


Рис. 7.77. Токарно-гвинторізний верстат

Умовні позначення: 1 – основа верстата; 2 – коробка передач; 3 – передня бабка; 4 – електрична шафа; 5 – екран; 6 – щиток; 7 – супорт; 8 – задня бабка; 9 – ходовий вал; 10 – фартух; 11 – ходовий гвинт; 12 – станина; 13 – корито для збирання стружки

токарних верстатах, застосовується для обробки зовнішніх і внутрішніх тіл обертання – циліндричних, конічних, сферичних і фасонних.

Заготовку закріплюють у встановленому на шпинделі верстата патроні. Вона обертається, а закріплений у різцетримачі різець здійснює поступальний рух у поздовжньому $S_{\text{позд}}$ і поперечному $S_{\text{поп}}$ напрямках.

Токарно-гвинторізний верстат загального призначення зображений на рис. 7.77. На основі 1 закріплені станина

12 і корито 13 для збирання стружки. На станині розміщені передня бабка 3 з коробкою швидкостей обертання заготовки і коробки передач 2 для переміщення різального інструмента з подачами $S_{\text{позд}}$ і $S_{\text{пол}}$. По напрямних станини переміщуються супорт 7 із закріпленим у різцетримачі різцем і фартухом 10, а також задня бабка 8, призначена для підтримання кінця довгої заготовки. Привід верстата – електродвигун – встановлений в основі й закритий кожухом. Рух від коробки швидкостей передається механізмам фартуха через ходовий вал 9 (у процесі точіння) або через ходовий гвинт 11 (у процесі нарізування різьби). На передніх стінках передньої бабки, коробки передач і фартуха розташовані рукоятки керування верстатом. Екран 5 і щиток 6 забезпечують безпечну роботу на верстаті. Електроустаткування верстата зосереджене в електричній шафі 4.

Обробка на свердлильних верстатах. Свердлильні верстати

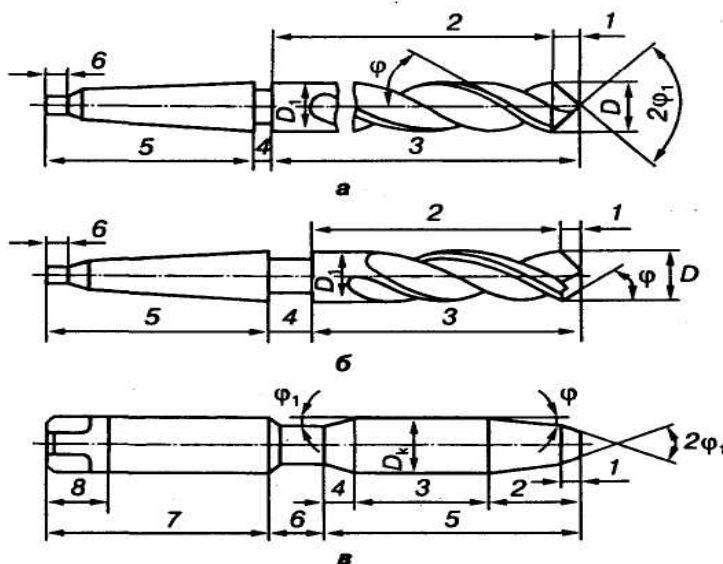


Рис. 7.78. Основні частини та конструкції свердлильних інструментів:

а – свердла; б – зенкери; в – розвертки

призначені для виготовлення отворів у деталях. Щоб підвищити точність і якість отворів, для їх обробки використовують зенкери та розвертки.

Свердла, зенкери й розвертки (рис. 7.78) застосовують для виготовлення наскрізних, глухих, східчастих і глибоких отворів із відношенням глибини отвору до його діаметра більшим ніж п'ять.

Різальна частина 1 у свердел має дві різальні й одну поперечну крайки, у зенкерів – кілька (3 – 4 й більше) різальних крайок. У розвертки різальна частина може мати початковий конус 1 і забірний конус 2 з великою кількістю (6 – 12 і більше) різальних крайок.

Напрямна частина 2 у свердел має дві стрічечки і зворотний конус ($D > D_1$) з кутом 1 – 3° для зменшення сил тертя свердла по стінках розроблюваного отвору. У зенкерів прямна частина 2 має кілька стрічечок і кут 1 – 2°. Розвертки, крім прямої, мають калібрувальну частину 3, точне виготовлення якої забезпечує отримання отворів з високою точністю та якістю.

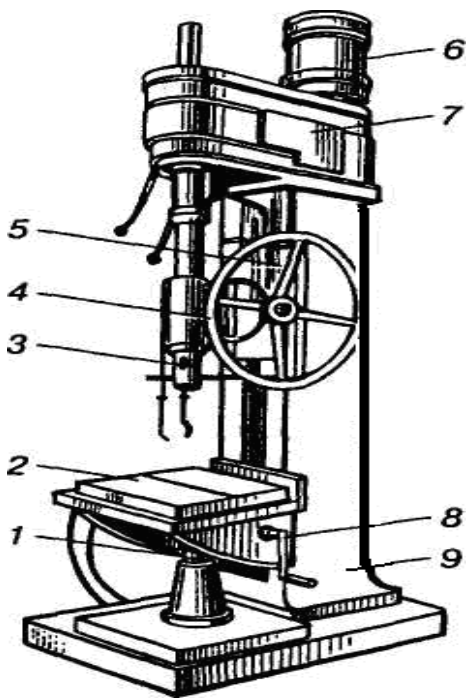


Рис. 7.79. Вертикально-свердильний верстат

Умовні позначення: 1 – гвинт; 2 – стіл; 3 – шпиндель; 4 – маховик; 5 – коробка передач; 6 – електродвигун; 7 – коробка швидкостей; 8 – рукоятка; 9 – станина

вертикальним розташуванням шпинделя (рис. 7.79).

У вертикально-свердильному верстаті оброблювану деталь закріплюють на столі 2, який за допомогою гвинта 1 встановлюють на певну висоту залежно від висоти заготовки і закріплюють рукояткою 8

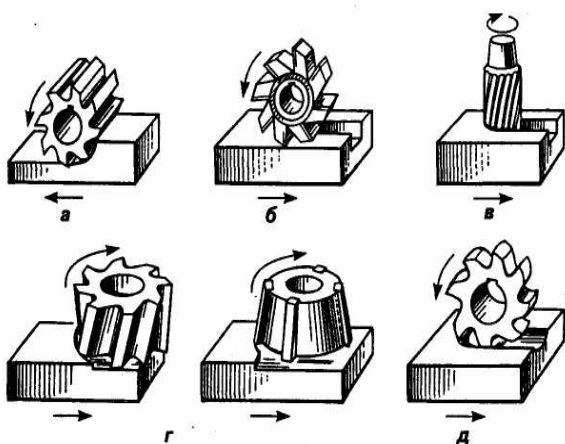


Рис. 7.80. Основні види фрез

Умовні позначення: а – циліндрична; б – дискова; в – кінцева; г – торцеві; д – фасонна

Робоча частина 3 у свердел і зенкерів має різальну 1 і напрямну 2 частини, а в розгортку робоча частина 5 додатково має зворотний конус 4 з кутом $\varphi_1 = 4 - 5^\circ$.

Шийка 4 у свердел і зенкерів і шийка 6 у розгортки є перехідною від робочої частини інструмента до його хвостовика 5 (7 – у розгортки). Лапка 6 призначена для вибивання інструмента з патрона. У свердел і зенкерів кут нахилу гвинтових канавок φ для виходу стружки з оброблюваного отвору становить відповідно $52 - 40^\circ$ і $20 - 30^\circ$. Кут біля вершини свердла 2φ дорівнює $60 - 140^\circ$, у зенкера – $90 - 120^\circ$, у розгортки – 90° .

Обробку отворів, як правило, виконують на вертикально- та радіально-свердильних верстатах з

вертикальним розташуванням шпинделя (рис. 7.79). У вертикально-свердильному верстаті оброблювану деталь закріплюють на столі 2, який за допомогою гвинта 1 встановлюють на певну висоту залежно від висоти заготовки і закріплюють рукояткою 8 відносно станини 9. Різальний інструмент закріплюють у шпинделі 3, який отримує обертальний рух від електродвигуна 6 через коробку швидкостей 7 і рух подачі від коробки передач 5. Вертикальне переміщення шпинделя також можна здійснювати вручну за допомогою маховика 4.

Радіально-свердильні верстати призначені для обробки важких і великогабаритних заготовок, які складно або неможливо обробити на вертикально-свердильних

верстатах.

Обробка на фрезерних верстатах. Фрезерні верстати призначені для обробки плоских і фасонних поверхонь, пазів, канавок, виступів, зубчастих коліс, зовнішньої і внутрішньої різьби.

Фрезерування здійснюють різальним інструментом – фрезою, що являє собою тіло обертання, на зовнішній поверхні і торці якого розташовані різальні зубці. Головний рух під час фрезерування – обертання фрези; рух подачі здійснює заготовка (іноді фреза).

Фрези (рис. 7.80) можуть бути найрізноманітніших конструкцій, з яких найбільш поширеними є циліндричні, дискові, кінцеві, торцеві та фасонні. З групи фрезерних верстатів найширше використовуються горизонтально-, вертикально- та поздовжньо-фрезерні. У горизонтально-фрезерному верстаті (рис. 7.81) шпindel 5 розташований горизонтально. На станині 2 розміщений хобот 6, що несе підтримувальну сергу 8, прикріплену до поворотної плити 7. Фрезу (або набір фрез) закріплюють в оправі, один кінець якої вставляється в шпindel 5, а другий – в отвір серги. Консоль 1 переміщується у вертикальному напрямку по станині. По напрямних консолі 1 переміщуються полозки 3 зі столом 4, на якому закріплюють оброблювану заготовку.

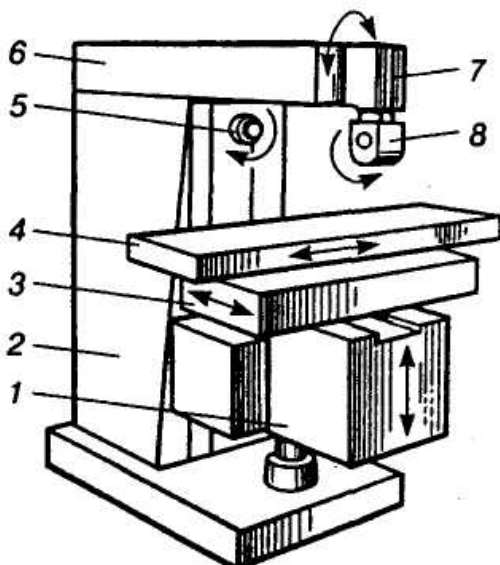


Рис. 7.81. **Горизонтально-фрезерний верстат**

Умовні позначення: 1 – консоль; 2 – станина; 3 – полозки; 4 – стіл; 5 – шпindel; 6 – хобот; 7 – поворотна плита; 8 – серга

Вертикально-фрезерний верстат має вертикально розташовану шпindelну головку, яка під час обробки похилих поверхонь може повертатись у вертикальній площині. Поздовжньо-фрезерні верстати призначені для обробки великогабаритних і важких заготовок.

Обробка шліфуванням. Шліфування – це спосіб обробки матеріалів, який здійснюється швидкісним ($V = 8 - 50$ м/с і більше) мікрорізанням (дряпанням) поверхневих шарів твердих тіл великою кількістю дрібних зерен, скріплених в інструмент (шліфувальний круг).

Шліфування є завершальною чистовою обробкою деталі, внаслідок якої отримують розміри з точністю обробки за 6 – 7-м квалітетом і шорсткістю поверхні $R_a = 0,08 - 0,32$ мкм,

а також обдирною обробкою для очищення литва, кованих виробів тощо. Шліфування здійснюють особливим видом інструментів – шліфувальними кругами. Шліфувальний круг є геометрично правильним тілом, що складається зі шліфувальних (абразивних) зерен, зв'язків та проміжків (пор) між ними. Залежно від вмісту абразивних зерен в об'ємі шліфувальних кругів їхня структура може бути щільною (62 – 56%), середньою (54 – 46%), відкритою (44 – 38%) і дуже відкритою (36 – 22%), що позначається відповідним номером: 0 – 3, 4 – 8, 9 – 12, 13 – 20.

Для виготовлення шліфувальних кругів (рис. 7.82) використовують такі штучні абразивні матеріали: електрокорунд (кристали оксиду алюмінію Al_2O_3 з домішками); нормальний корунд (12А, 13А, ..., 16А); білий корунд (22А, ..., 25А); хромистий корунд (з домішками сполук хрому; 32А, ..., 34А); монокорунд (кристали Al_2O_3 правильної форми; 43А, ..., 45А); карбіди кремнію SiC – чорний (53С, ..., 55С) і зелений (63С, 64С); алмази природні (А) і синтетичні (АС); нітрид бору (ельбор, ЛО і ЛП). Залежно від розмірів абразиви поділяють на такі групи: шліфувальні зерна (№200-16), шліфувальні порошки (№12-4), мікропорошки

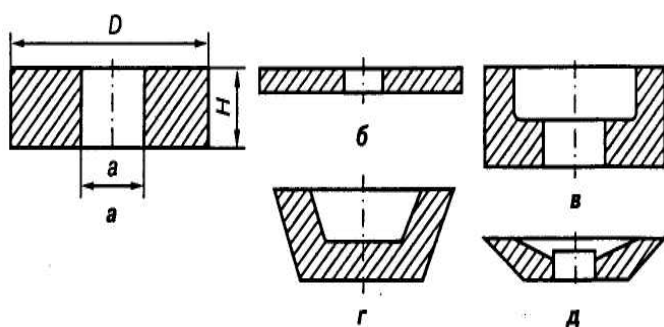


Рис. 7.82. Типові форми шліфувальних кругів

Умовні позначення: а – плоский прямий (ПП); б – дисковий (Д); в – чашковий циліндричний (ЧЦ); г – чашковий конічний (ЧК); д – тарілчастий (Т)

(М40 – М5).

Зв'язки шліфувальних кругів поділяються на неорганічні й органічні. Найбільш поширеною з неорганічних зв'язок є керамічна (К), яка складається з вогнетривкої глини, рідкого скла, польового шпату й інших компонентів, а з органічних – бакелітова (Б) і вулканітові (В), в основі яких, відповідно, бакеліт і каучук. Шліфувальні

круги мають здатність частково або повністю самозагострюватися, тобто під дією сил різання видаляти абразивні зерна, що затупилися, й оголювати гострі грані зерен наступного ряду. Ця властивість шліфувальних кругів характеризується твердістю, під якою розуміють опірність вирівнюванню абразивних зерен під дією сил різання. За твердістю шліфувальні круги поділяються на м'які (М), середньої м'якості (СМ), середні (С), середньої твердості (СТ), тверді (Т), дуже тверді (ВТ) і

надзвичайно тверді (ЧТ). Чим м'якший круг, тим легше вириваються зі зв'язки абразивні зерна. Для шліфування деталей з високою твердістю використовують м'які круги, і навпаки.

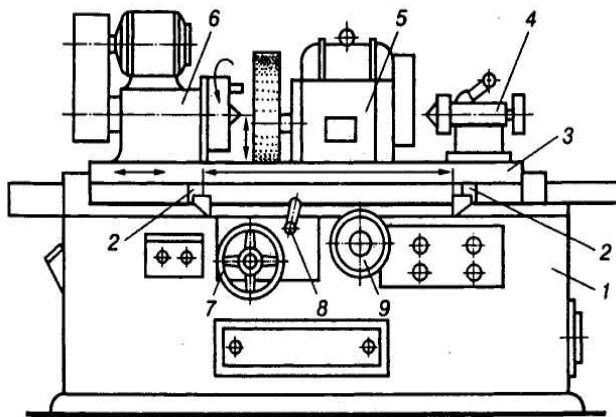


Рис. 7.83. Круглошліфувальний верстат

Умовні позначення: 1 – станина; 2 – кулачки; 3 – стіл; 4 – задня бабка; 5 – шліфувальна бабка; 6 – передня бабка; 7, 9 – маховики; 8 – важіль

Шліфувальні верстати бувають для круглого та плоского шліфування (рис. 7.83).

Круглошліфувальний верстат реалізує схему круглого шліфування. По напрямних станини 1 зворотно-поступально переміщується стіл 5 з передньою 6 і задньою 4 бабками, між центрами яких розміщується оброблювана деталь, що набуває обертального руху від приводу передньої бабки. Обертальний рух деталі разом з її зворотно-

поступальним переміщенням забезпечує обробку циліндричної поверхні обертовим кругом, установленим на шліфувальній бабці 5. Шліфувальна бабка розміщена на поперечних полозках, які за допомогою маховика 9 переміщуються в поперечному відносно деталі напрямі для встановлення заданої глибини шліфування. Автоматичне реверсування поступального переміщення стола 3 забезпечується кулачками 2, які взаємодіють із важелем 8 керування верстатом. Ручне переміщення стола здійснюється маховиком 7. Для шліфування конічних деталей стіл повертається на відповідний кут у горизонтальній площині.

Верстати з числовим програмним керуванням. Понад 70% виробів у машинобудуванні виготовляються в умовах серійного та дрібносерійного виробництва. Ефективним засобом автоматизації дрібносерійного й серійного виробництва є використання систем числового програмного керування (ЧПК) металорізальними верстатами. У верстатах із ЧПК керування робочими органами в процесі обробки виконується автоматично за заздалегідь розробленою програмою без участі людини. За заданою програмою переміщуються виконавчі органи верстата і замінюється різальний інструмент. Продуктивність праці на верстатах із ЧПК збільшується в 3 – 5 разів порівняно з універсальними

верстатами без автоматичного керування в дрібносерійному та серійному виробництві. Ефективність використання верстатів із ЧПК у цьому виробництві зумовлена незначною тривалістю переналагодження системи для обробки деталі іншого розміру. Під час механічної обробки заготовок має забезпечуватись певна послідовність робочих і холостих рухів у верстатах, яка називається програмою. У разі автоматичного керування програма виконується без участі людини. Верстати з ЧПК мають таке саме компонування, як і розглянуті верстати з ручним керуванням (рис. 7.84).

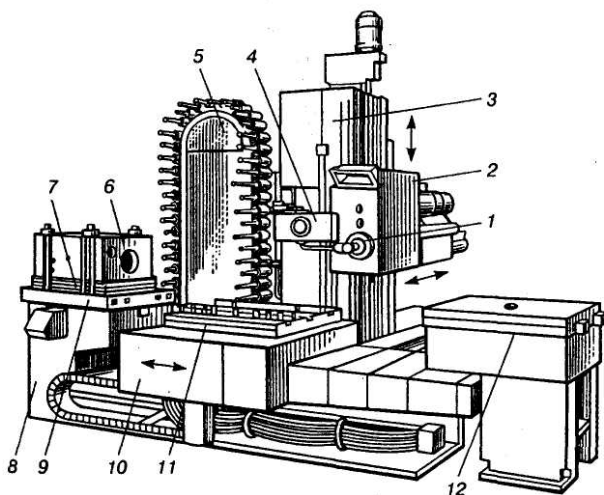


Рис. 7.84. Багатоопераційний верстат з числовим програмним керуванням

Умовні позначення: 1 – шпиндель; 2 – шпиндельна бабка; 3, 8 – стояки; 4 – автооператор; 5 – магазин інструменту; 6 – заготовка; 7 – пристрій-супутник; 9, 12 – додаткові столи; 10 – нижня частина стола; 11 – верхня частина стола

вертикальному напрямку по напрямних стояка 3. Виконаний у вигляді нескінченної стрічки інструментальний магазин 5 має гнізда, в яких розміщуються оправки з різними інструментами. Автоматична зміна різального інструмента здійснюється автооператором 4, який за командою системи ЧПК верстата витягує з відповідного гнізда магазину потрібний різальний інструмент, переміщує його до шпинделя і закріплює там. Пристрій-супутник 7 із закріпленою на ньому заготовкою 6 розміщується на додатковому столі 9. На початку циклу обробки пристрій-супутник із заготовкою переміщується по додатковому столу в

Багатоопераційний верстат із числовим програмним керуванням призначений для обробки призматичних та корпусних деталей і виконання операцій свердління, зенкерування, розкручування, нарізування різьби, фрезерування, підрізування торців та ін.

Стояк 8 переміщується по горизонтальних напрямних станини в напрямі, паралельному до осі шпинделя 1. Стіл верстата виконаний із двох частин: нижня частина 10 переміщується по горизонтальних напрямних станини в напрямі, перпендикулярному до осі шпинделя 1, верхня частина 11 виконана зворотною. Шпиндельна бабка 2 переміщується у

напрямі встановленого в положення завантаження стола 10. Потім пристрій-супутник із заготовкою розміщується на поворотній частині стола 11 і фіксується відносно нього. Стіл переміщується в зону обробки, і заготовка обробляється з усіх боків. Під час обробки заготовки на додатковому столі 12 готується до обробки наступна заготовка. Після обробки деталь повертається на додатковий стіл 9, а заготовка зі стола 12 переміщується в зону різання.

Промислові роботи й роботизовані технологічні комплекси. Верстат із числовим програмним керуванням є напівавтоматом, тому що робочий цикл обробки деталі здійснюється автоматично за певною програмою. Участь людини в роботі верстата з ЧПК зводиться в основному до переміщення деталі в зону її закріплення і після автоматичної обробки – до її розкріплення й переміщення із зони обробки. Дії робітника на верстаті з ЧПК нині успішно замінюються діями автоматичної машини – промислового робота. Промисловий робот – це автоматична машина, що замінює функції людини в переміщенні предметів виробництва і технологічного оснащення.

Промислові роботи дають змогу підвищити продуктивність праці, комплексно автоматизувати виробництво та звільнити людину від монотонних, важких, небезпечних і шкідливих робіт. Важливою перевагою промислових роботів є можливість швидкого переналагодження їх в умовах частої зміни об'єктів виробництва, тобто в умовах серійного й дрібно-серійного виробництва, в комплексі з верстатами з ЧПК. Вони називаються роботизовано технологічними комплексами.

Роботизовано технологічний комплекс складається з верстата з ЧПК, промислового робота й тактового стола, який призначений для збереження запасу заготовок і подавання їх у зону захоплення промислового робота.

Гнучкі виробничі системи. Будь-який виріб, що використовується в господарстві, морально старіє, тобто перестає відповідати належному рівню розвитку науки й техніки. Такий виріб має бути замінений на досконаліший. Крім того, кожне підприємство, як правило, виготовляє номенклатуру виробів, для випуску яких потрібно в певний календарний термін переходити з виготовлення одного виробу на інший. Для такого переходу починають широко використовуватися гнучкі виробничі системи.

Гнучка виробнича система (ГВС) – це сукупність декількох або окремої одиниці технологічного устаткування та системи забезпечення її функціонування в автоматичному режимі, яка має властивість

автоматизованого переналагодження під час випуску виробів довільної номенклатури у встановлених межах значень їхніх характеристик.

ГВС становить комплекс, який складається з ЕОМ, декількох верстатів із ЧПК, пристроїв транспортування, завантаження заготовок і розвантаження деталей, контрольно-вимірювальної системи та системи заміни різального інструменту.

ГВС є засобом удосконалення виробництва і має високу продуктивність, низьку собівартість масового виробництва та мобільність дрібносерійного виробництва, забезпечує роботу технологічного устаткування в режимі "безлюдної технології", підвищує якість продукції і зменшує кількість робітників, зайнятих у виробництві.

Обробка зовнішніх поверхонь тіл обертання. Попередня обробка валів. Вали виготовляються з прокату, поковок, штампованих заготовок і виливків. За формою розрізняються вали: гладенькі, східчасті, ексцентричні, колінчаті. За розмірами – дрібні (довжиною 150 – 200 мм), середні (довжиною до 1 000 мм), великі (довжиною більше 1 000 мм). Перед механічною обробкою вали піддаються виправленню на спеціальних правильних верстатах і розрізанню.

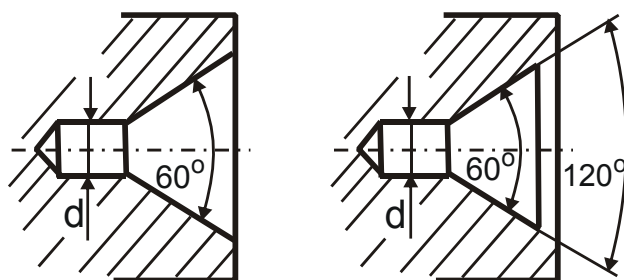


Рис. 7.85. Центрові отвори

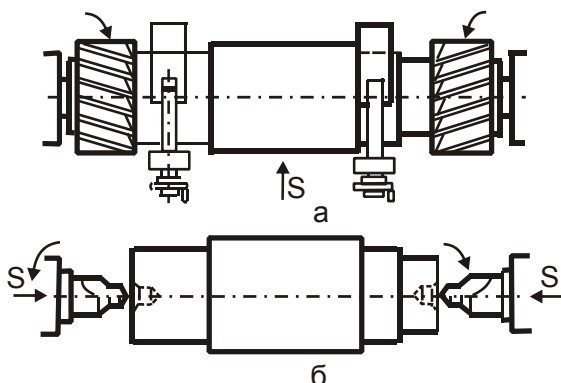


Рис. 7.86. Схема обробки на фрезерно-центрувальному верстаті

Технологічними базами переважної більшості валів є центрові отвори. У зв'язку з цим механічну обробку валів починають з операції підготовки технологічних баз – підрізування торців і їхнього центрування. Центрові отвори повинні мати достатні розміри. Кут конуса центра повинен точно збігатися з кутом конусів центрів верстата. Протилежні центрові отвори повинні знаходитися на одній осі. На практиці частіше використовуються центрові отвори заготовок із кутом 60° . Іноді в процесі обробки великих важких заготовок кут конуса збільшують

до $75 - 90^\circ$. Вершина центра не повинна вpirатися в заготовку, тому

центрові отвори мають циліндричну частину малого діаметра d (рис. 7.85). З метою запобігання випадковому ушкодженню центрального отвору 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 верстатах (рис. 7.86).

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, повздожнє 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, одношпindelних і багатошпindelних токарних напівавтоматах і автоматах.

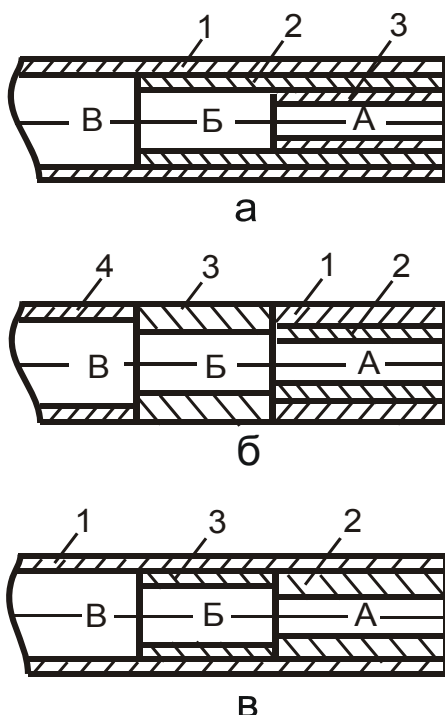


Рис. 7.87. Схеми обточування східчастого вала

Умовні позначення: 1 – 4 номери переходів; А, Б, В – східчасті частини вала

Заготовки встановлюють у центрах верстата чи в патронах різних типів: трикулачкових, самоцентрових, цангових.

Чорнову обробку східчастих валів виконують за різними варіантами (рис. 7.87). Схема обробки з найменшим часом обробки вважається найкращою. У процесі видалення припуску виходять з міркувань найменшого ослаблення твердості вала, тобто східці меншого діаметра обробляються останніми.

У процесі чорнового точіння точність обробки досягається 14-го квалітету і шорсткість $R_z = 40$ мкм. Чистове точіння забезпечує точність обробки 7 – 8-го квалітету і шорсткість поверхні $R_a = 1,25$ мкм. Під час обробки довгих, маложорстких валів застосовують нерухомі і рухомі люнети. Люнети

служать додатковою опорою, що сприймає навантаження. Рухомий люнет, йдучи за різцем, сприймає силу різання. Оброблювана поверхня спирається на кулачки люнета. У тих випадках, коли слід забезпечити співвісність поверхні, що точиться, з раніше обробленою, кулачки люнета встановлюють перед різцем, тобто на раніше обточену поверхню. Під час швидкісного різання кулачки створюють значне тертя.

Для зменшення тертя застосовують люнети з роликівими опорами (рис. 7.88а). У процесі швидкісного різання часто виникають вібрації, що здійснюють значний вплив на шорсткість поверхні і точність обробки. Для усунення вібрації застосовуються люнети з віброгасником (рис. 7.88б). Тарілчасті пружини, розташовані в корпусі віброгасника, поглинають вібрації різця.

За високих швидкостей різання стружка, маючи зливальну форму, виходить з-під різця безперервною стрічкою. Таку стружку не можна обривати чи видаляти руками – вона може сильно порізати чи викликати опік. Для роздрібнення стружки застосовують спеціальні пристрої – стружколоми.

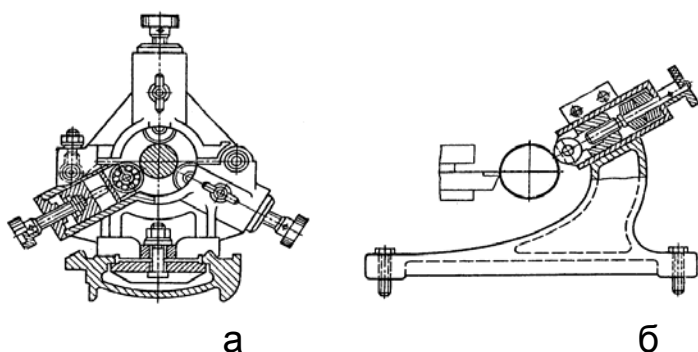


Рис. 7.88. Люнет з роликівими опорами (а); рухомий люнет – віброгасник (б)

поперечний рух, призначений для підрізування торців, прорізання канавок. Різці налагоджуються так, щоб обробка всіх ділянок закінчувалася одночасно.

Багаторіздеве обточування виконується трьома різними способами. У процесі обробки за першим способом супорт проходить шлях L , що дорівнює сумі шляхів оброблюваних східців $L = (l_1 + l_2 + l_3)$ (рис. 7.89а). Цей спосіб обробки називається способом розподілу загального припуску. Тут припуск на одній сходинці знімається послідовно декількома різцями.

У масовому і багатосерійному виробництвах обробка валів виконується на багаторізцевих верстатах і здійснюється двома супортами – переднім і заднім. Передній супорт, що здійснює поздовжній рух, слугує для точіння. Задній супорт, що здійснює

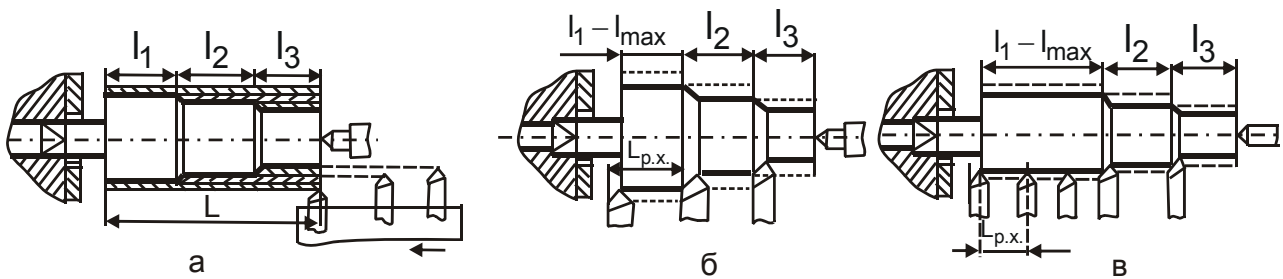


Рис. 7.89. Способи обробки східчастого вала на багаторіздцевому верстаті: а – спосіб розподілу припуску; б – спосіб розподілу довжини обробки вала; в – спосіб розподілу довжини максимальної сходитки

Другий спосіб називається способом розподілу довжини заготовки на кілька ділянок (рис. 7.89б). Цей спосіб застосовується в тих випадках, коли максимальний припуск може бути вилучений різцями за один прохід. За даної схеми обробки довжина ходу різця розраховується за формулою $l = L/n$.

Третій спосіб називається способом розподілу довжини максимальної сходитки вала (рис. 7.89в). Довша сходитка l_1 проточується декількома різцями. Встановлення різців здійснюється або за обробленою заготовкою, або за спеціальним еталоном. Багаторіздцева обробка застосовується на попередніх операціях.

Чистове обточування здійснюється на гідрокопіювальних верстатах моделей 1708, 1Н713, 1Б732 та ін., що мають два супорти, розташовані у вертикальній площині. За даної схеми обробки полегшується схід стружки із зони різання. Обточування за копіром здійснюється різцем, розташованим у верхньому супорті. Підрізування торців здійснюється різцями, розташованими в нижньому супорті. На багаторіздцевих верстатах обточування здійснюється зі швидкістю 30 – 50 м/хв, а на гідрокопіювальному – 150 – 200 м/хв. В одиничному і дрібносерійному виробництвах вали обробляють на верстатах із програмним керуванням.

Фінішна обробка. До фінішних методів обробки відносять тонке (алмазне) точіння, шліфування, притирання, суперфінішування, полірування, алмазне вигладжування й обкочування роликками і кульками.

У процесі тонкого алмазного точіння досягається шорсткість поверхні $R_a = 0,3 - 1,25$ мкм. Обробка виконується в режимах:

подавання $S = 0,02 - 0,05$ мкм, глибина різання $t = 0,05 - 0,15$ мм, швидкість різання $V = 300 - 3\,000$ м/хв. Як різальний інструмент для тонкого точіння сталей застосовують різці, оснащені пластинками з твердого сплаву Т30К4, а для обробки чавунів – пластинки з твердого сплаву марки ВК2, ВК3. Високоміцні сталі обробляються різцями, оснащеними різальними елементами з ельбору.

Для обробки валів з кольорових сплавів застосовують алмазні різці, що

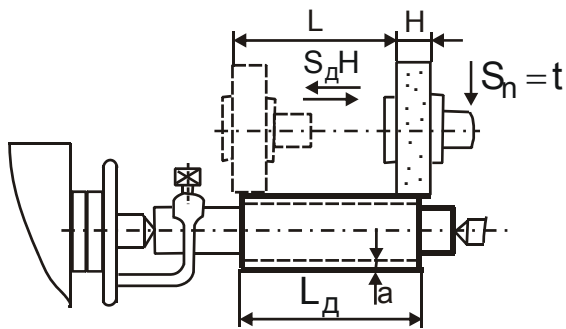


Рис. 7.90. Схема круглого шліфування з поздовжньою подачею

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. 7.90), безцентровошліфувальних (рис. 7.91) 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 поздовжньою подачею (рис. 7.90) і методом врізання (рис. 7.91). У першому випадку заготовка здійснює зворотно-поступальне поздовжнє

переміщення, а наприкінці кожного ходу здійснюється поперечна подача.

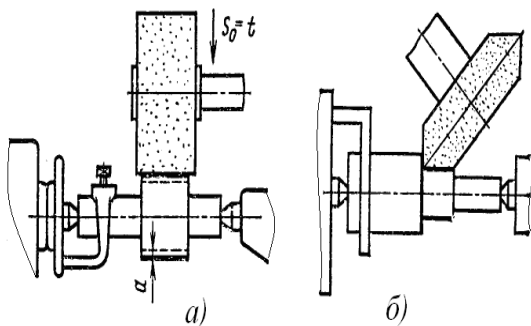


Рис. 7.91. Схема круглого шліфування з поперечною подачею (а); схема шліфування шийки й виступу вала (б)

Поздовжня подача дорівнює $S_{пр} = (0,5 \div 0,8) \cdot H$ від висоти круга за один оберт заготовки. Під час остаточних проходів поперечна подача зменшується до $S_{пр} = (0,2 \div 0,3) \cdot H$ і глибина різання –

до $0,005 - 0,02$ мм за кожен хід. Довжина поздовжнього ходу під час шліфування на прохід $l = l_0 - (0,2 \div 0,4) \cdot H$ мм.

Другий спосіб полягає в тому, що шліфувальному кругу надається тільки поперечна подача (рис. 7.91). У процесі шліфування на

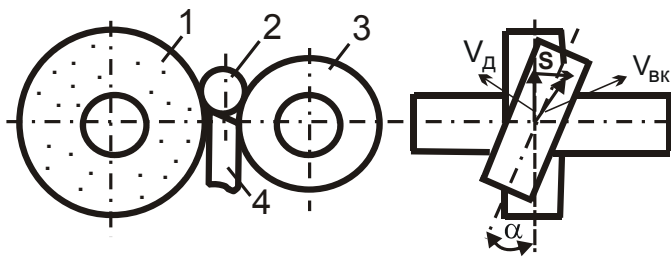


Рис. 7.92. **Схема безцентрового шліфування**

безцентрово-шліфувальних верстатах (рис. 7.92) заготовка 2 встановлюється між двома кругами 1 і 3 на спеціальний підтримувальний ніж 4, виготовлений зі стійкого до спрацьовування матеріалу. Завдяки скосу, спрямованому в бік

провідного круга, деталь притискається до нього, що сприяє передачі обертового моменту деталі.

Щоб уникнути огранування, центр деталі зміщується на 10 – 15 мм від лінії центрів шліфувальних кругів. Безцентрове шліфування може здійснюватися методом урізування до упора і шліфуванням на прохід. У ході шліфування на прохід провідний круг 3 встановлюють під кутом $\alpha = 1 \div 5^\circ$.

Поздовжня подача (мм/хв) визначається за формулою:

$$S = 1000 \cdot V_{\text{ВК}} \cdot \sin \alpha \cdot \eta_S,$$

а кругова швидкість обертання деталі:

$$V_{\text{Д}} = V_{\text{ВК}} \cos \alpha (1 + \delta),$$

де $V_{\text{Д}}$ – кругова швидкість обертання деталі, м/хв;

$V_{\text{ВК}}$ – кругова швидкість провідного круга, м/хв;

η_S – коефіцієнт осьового проковзування, який дорівнює 0,90 – 0,98;

δ – коефіцієнт, що враховує прискорене обертання виробу за рахунок швидкості круга, що шліфує ($\delta = 0,04 \div 0,07$).

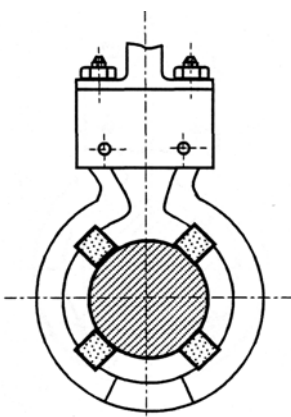


Рис. 7.93. **Схема хонінгування циліндричної поверхні**

Величина швидкості поздовжньої подачі S у ході шліфування на прохід змінюється в межах 400 – 4000 мм/хв. Швидкість провідного круга $V_{\text{ВК}} = 15 - 30$ м/хв під час чорнового шліфування, а в процесі чистового шліфування 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 і з шорсткістю поверхні $R_a = 0,32 - 0,16$ мкм. Безцентрово-шліфувальні верстати мають жорсткість, у 1,5 – 2 рази більшу порівняно з круглошліфувальними верстатами. Тому вони допускають більш форсовані режими, маючи більш високу продуктивність. Вони дозволяють здійснювати шліфування валів, які мають низьку жорсткість.

Хонінгування. Хонінгування валів виконують на спеціальних верстатах, оснащених пристроями із двома півкільцями (рис. 7.93). На внутрішній стороні півкілець закріплені шліфувальні бруски.

Оброблювана деталь, охоплювана двома півкільцями, одержує обертальний і поступальний рух. Швидкість різання в ході хонінгування 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 під час суперфінішування поряд з обертовим і поступальним подовжніми рухами заготовка має ще коливання, яке тут вважається головним робочим рухом (рис. 7.94).

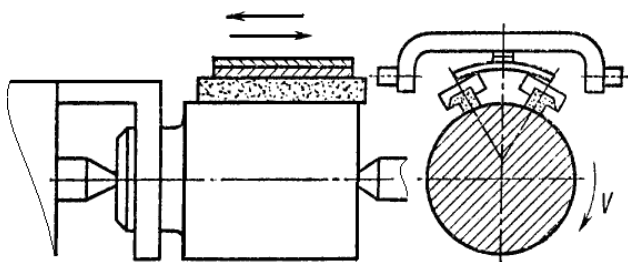


Рис. 7.94. **Схема суперфінішування**

Колівальний рух спрямований уздовж брусків, має хід 2 – 6 мм і частоту коливань 1 000 ходів/хв. У процесі суперфінішування товщина шару, який зрізується, знаходиться в межах 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. Гребінці мікронерівностей, які виступають, зрізуються абразивними брусками. У міру зрізання гребінців мікронерівність згладжується і після того, як масляна плівка стане суцільною і не буде мати розривів від зерен, що виступають, процес різання припиняється.

Під час суперфінішування висувається дуже жорстка вимога до чистоти рідини, що змазує робочу зону, тому що наявність дрібних металевих чи абразивних часточок може викликати появу рисок на поверхні. Суперфінішуванню передують операції шліфування чи тонкого точіння, що забезпечує висоту шорсткості поверхні не більше $R_a = 0,32$ мкм. Суперфінішування не виправляє дефектів форми і розмірів, отриманих від попередніх операцій.

Притирання. Притирання – оздоблювальна операція, що виконується інструментами-притирками.

Притири виготовляють з чавуну чи бронзи, і на їхню поверхню наноситься абразивна суспензія (мікропорошок з машинною олією). Віднос-не переміщення деталі і притирки повинне забезпечувати рух зерен по нових, не повторюваних траєкторіях. 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. За твердістю, різальними властивостями і продуктивністю окис хрому посідає перше місце. Найбільш чисту поверхню забезпечує віденське вапно (вуглекислий кальцій з домішками магнію і заліза). Як мастильний матеріал використовують суміш машинної олії з керосином. У процесі використання віденського вапна застосовують спирт, а в ході використання крокусу – вазелін. Для довідних робіт широко використовуються пасти “ГОІ” (за іменем власника – Державного оптичного інституту). Пасти “ГОІ” містять термічно оброблений (прожарений) окис хрому, жири й органічні поверхнево-активні кислоти (олеїнову чи стеаринову). Пасти “ГОІ” поділяються на грубі (40 мкм), середні (16 мкм) й тонкі (7 мкм). Цифри вказують товщину знятого шару зі сталеві загартованої плити в результаті 100 обернено-поступальних рухів притирання. Притирання зовнішніх циліндричних поверхонь здійснюється на токарних верстатах із використанням спеціальних пристроїв. Швидкість притирання 15 – 40 м/хв. Притирання забезпечує точність деталей до 5-го квалітету із шорсткістю поверхні $R_z = 0,32 - 0,05$ мкм. Припуск для попереднього притирання дорівнює 0,010 – 0,015 мм, а для остаточного – 0,005 мм.

Операції обробки отворів. У деталях машин отвори бувають циліндричними, сідчастими, конічними, фасонними. Отвори можуть бути відкритими з двох сторін чи з однієї сторони (глухі). Їх обробляють

лезовими й абразивними інструментами і фізико-хімічними методами. Лезовим інструментом отвори можна свердлити, зенкерувати, розгортати, розточувати, протягувати. Абразивним інструментом – шліфувати, хонінгувати, полірувати, притирати.

У процесі обробки отворів у важкооброблюваних матеріалах (твердих сплавах, склі, кераміці та ін.), а також під час одержання 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 із застосуванням операцій: алмазного вигладжування, розкочування кульками чи роликками, прошивання дорном чи каліброваними кульками. Отвори в деталях з листового матеріалу найчастіше пробивають у вирубних штампах.

Обробка отворів лезовим інструментом.

Свердління – розповсюджений спосіб обробки глухих і наскрізних отворів у суцільному матеріалі з точністю до 12 – 13-го квалітету і шорсткістю $R_z = 10 - 30$ мкм (ДСТ 2789-73). Отвори діаметром більше 30 мм свердлять за два переходи, спочатку свердлом меншого розміру, потім – необхідного діаметра.

Розрізняють два методи свердління: з обертовим свердлом (на цьому принципі працюють свердлильні й розточувальні верстати) і з обертанням деталі (токарно-револьверні верстати). Для зменшення відведення свердла виконують попереднє свердління (центрування) коротким твердим свердлом. Центрування здійснюють на токарно-револьверних верстатах і автоматах, а також на свердлильних і розточувальних верстатах з напрямними втулками. Необхідна точність взаємного розташування отворів забезпечується за допомогою кондукторів. Якщо задана точність отворів вища від 9-го квалітету, то залежно від його діаметра і виду заготовки наступна обробка здійснюється зенкеруванням, розточуванням, розгортанням. Точність взаємного розташування отворів у процесі послідовної обробки різними інструментами здійснюється також за допомогою кондуктора, але зі змінними втулками і швидкозмінними патронами для закріплення інструментів у шпиндель верстата.

Зенкерування застосовують для обробки попередньо отриманого отвору литтям, прошиванням чи свердлінням.

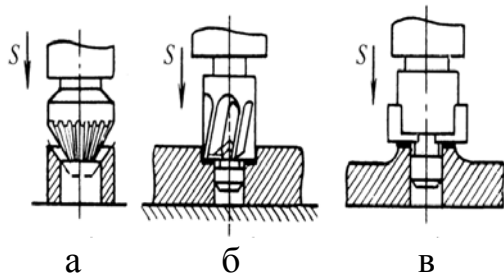


Рис. 7.95. **Зенкування (а),
цекування (б, в)**

Для обробки фасок в отворах циліндричних і торцевих поверхонь під головки заклепок, гвинтів, болтів і гайок застосовують зенкери (рис. 7.95). Зенкери, залежно 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 хвостовиком і з трьома різальними зубами, а діаметром 25 – 30 мм – насадними з чотирма чи шістьма різальними зубами. Насадні зенкери діаметром 60 – 175 мм виконують зі сталевими рифленими ножами з пластинками з твердих сплавів.

Для забезпечення заданої точності й усунення відведення осі інструмента застосовують кондуктори. Розрізняють три способи орієнтації зенкера: верхнє, нижнє й подвійне (рис. 7.96).

Верхнє спрямування зенкера 1 у втулці кондуктора 2 забезпечує його орієнтацію спеціальною циліндричною напрямною (рис. 7.96а). Нижнє спрямування здійснюється втулкою 2, розташованою під деталлю (рис. 7.96б). Для обробки отворів діаметром понад 25 мм рекомендується застосовувати подвійне спрямування. Зенкер зі шпинделем звичайно має шарнірне з'єднання чи плаваюче. Це виключає вплив похибок, пов'язаних

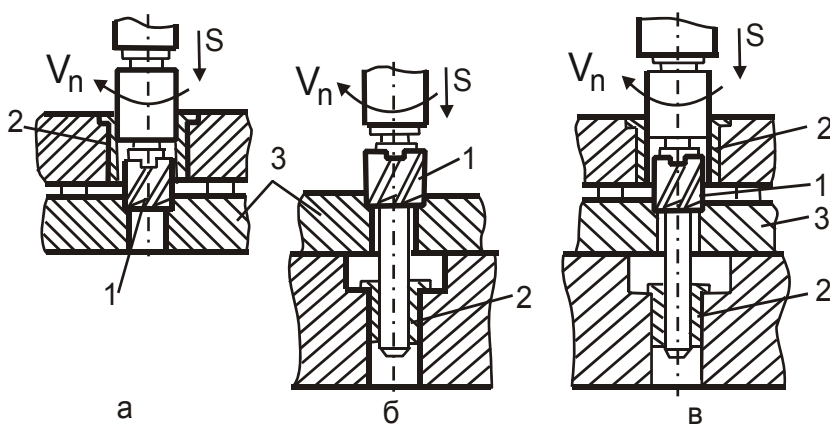


Рис. 7.96. **Спрямування зенкера
в кондукторних втулках:
а – верхнє, б – нижнє, в – подвійне**

із биттям шпинделя щодо осі напрямних втулок, на положення осі отвору деталі.

Припуск для зенкерування приблизно дорівнює 0,1 від діаметра отвору. Грубе зенкерування отворів після лиття забезпечує 13-й квалітет обробки, а після

свердління чи чорнового розточування – 11 – 12-й квалітет, шорсткість поверхні $R_a = 10 - 25$ мкм.

Розгортання – основний спосіб обробки отворів у матеріалі з твердістю $HRC \leq 40$, 5 – 6-го квалітету обробки, із шорсткістю $R_a = 2,5 - 0,15$ мкм. Інструмент-розвертка відрізняється від зенкера великою кількістю зубців і менших кутів у плані. Необхідною умовою досягнення високої точності обробки в процесі розгортання є рівномірність припуску, що знімається, і чіткий збіг осі розгортання з віссю оброблюваного отвору. Розгортки під час роботи повинні вільно встановлюватися по отвору чи мати точний напрямок. Розгортка спрямовується кондукторною втулкою з нижнім, верхнім чи подвійним напрямкуванням. Залежно від необхідної точності розгортання виконується одним чи двома розгортками. Отвір 7-го квалітету обробляється однією розгорткою, а 5-го квалітету – двома розгортками.

Розточування здійснюється на токарних, розточувальних, агрегатних і спеціальних верстатах під час обертання деталі (токарні верстати) чи обертанні розточувальної борштанги (горизонтальні, вертикальні, координатні, агрегатні і багатошпиндельні верстати).

У 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 борштанзі, що має переднє спрямування. Розточення отворів у корпусних деталях виконується на координатно-розточувальних верстатах із програмним керуванням 262ПР, обладнаних оптичними системами відліку по шкалах із точністю $\pm 0,002$ мм. У ряді випадків борштанга шарнірно з'єднується зі 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 із кольорових сплавів здійснюється у 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 багатошпиндельних вертикальних і горизонтальних верстатах мод. 2A710, 2705, 2706, 2714, 2722, 2A715, 278Л та ін. Верстати мають підвищену твердість і вібростійкість. На цих верстатах можна свердлити, розточувати, зенкувати, розгортати циліндричні й конічні отвори, підрізати торці, нарізати різьби, проточувати канавки і т. ін.

Для обробки отворів на агрегатних верстатах використовуються багатолезові, комбіновані та складені інструменти, заздалегідь налагодженні 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 за шорсткості поверхні $R_a = 0,25 - 0,18$ мкм. Похибка форми (овальність, конусність) складає 0,003 – 0,004 мм.

Протягування – це процес обробки циліндричних, шліцьових і квадратних отворів діаметром від 10 до 300 мм з точністю 5–6-го квалітету і шорсткістю $R_a = 0,15 - 0,08$ мкм. Довжина протягування отвору звичайно не перевищує триразової величини його діаметра. Перед протягуванням отвір обробляється свердлінням, зенкеруванням чи розточуванням. Розрізняють профільне, генераторне й прогресивне протягування.

Для профільної схеми різання форма різальних кромek протягування відповідає профілю оброблюваної поверхні. Зубці протяжки зрізають заданий припуск послідовно. Остаточний розмір отвору забезпечується каліброваними зубами.

За генераторної схеми різання форма різальних зубців протягування не відповідає профілю оброблюваного отвору деталі. Остаточна форма і розміри оброблюваної поверхні забезпечуються останніми зубцями, що працюють за профільною схемою. За прогресивної схеми різання різальні зуби по периметру розділені на окремі секції. Зубці в ході протягування зрізають метал окремими ділянками контуру, але товщиною, в 5 – 10 разів більшою, ніж під час роботи з профільною схемою.

Отвори протягують на горизонтальних і вертикально-протяжних верстатах зі швидкістю різання 3 – 5 м/хв. Під час протягування деталь встановлюється на тверду чи кульову опору. На тверду опору встановлюють деталі, в яких забезпечена перпендикулярність торця до осі отвору в ході підрізування. Якщо торець деталі не підрізаний, наприклад, у поверхні після лиття чи під час обробки 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. У процесі протягування застосовують сульфозфрезол чи 20-відсотковий розчин емульсола у воді з додаванням 4% мила. Основний час (у хв) у процесі протягування визначається:

$$t_0 = \frac{L+I}{1000} \left(\frac{1}{V_p} + \frac{1}{V_x} \right), \quad (7.1)$$

де L – довжина робочої частини протягування, мм;

I – довжина деталі, що протягується, мм;

V_p – швидкість різання (робочого ходу) м/хв;

V_x – швидкість зворотного ходу, м/хв.

Швидкість зворотного ходу береться в 2 – 3 рази більшою від швидкості робочого ходу.

Обробка отворів абразивними інструментами. Внутрішнє шліфування циліндричних, конічних, наскрізних і глухих отворів у деталях, виготовлених зі сталей, чавунів, жароміцних сплавів, забезпечує точність 5 – 6-го квалітету і шорсткість поверхні $R_a = 1,25 - 0,15$ мкм.

На шліфувальних верстатах обробку здійснюють, коли є обертова деталь, закріплена в патрон; нерухома деталь на верстатах із планетарним рухом шпинделя; обертова незакріплена деталь на безцентрово-шліфувальних верстатах.

Найбільш розповсюджений перший спосіб обробки з поздовжньою чи поперечною подачею (рис. 7.97). Діаметр шліфувального круга зазвичай вважають таким, що дорівнює 0,8 – 0,9 діаметра отвору.

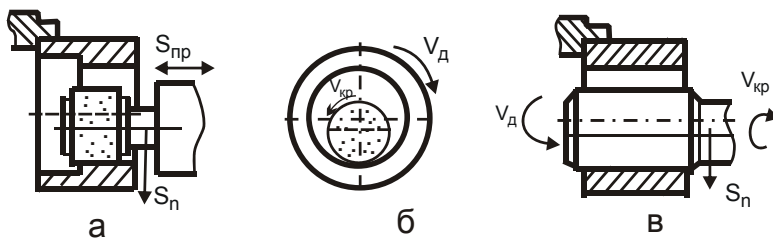


Рис. 7.97. Схема шліфування отворів:

а – з подовжньою подачею;

б, в – з поперечною подачею

Залежно від властивостей оброблюваного матеріалу і виду операції, швидкість різання під час шліфування змінюється від 25 до 100 м/с. Поздовжня подача виражається в частках ширини круга і вважається $S_{пр} = (0,2 - 0,3) \cdot V_k$ мм/об. в разі чистового шліфування, а в разі чорнового – $S_{пр} = (0,6 - 0,8) \cdot V_k$ мм/об.

Поперечна подача $S_п$ круга в процесі чистового шліфування дорівнює 0,003 – 0,015 мм/подв. хід столу, а під час чорнового – 0,05 – 0,075 мм/подв. хід столу. Основний час (у хв) для внутрішнього шліфування з поздовжньою подачею круга визначається за формулою:

$$t_0 = \frac{a}{n_{\text{дв.х}} \cdot S_{\text{п}}} \cdot k, \quad (7.2)$$

де a – припуск на сторону, мм;

$n_{\text{дв.х}}$ – кількість подвійних ходів на хвилину $n_{\text{дв.х}} = \frac{V_{\text{пр}} \cdot 1000}{2 \cdot L}$;

$S_{\text{п}}$ – поперечна подача за один подвійний хід столу (глибина різання), мм;

k – коефіцієнт доведення (виходжування), що враховує точність шліфування;

$V_{\text{пр}}$ – швидкість поздовжнього ходу столу, м/хв.

Величина k залежить від точності виготовлення діаметра. За точності шліфування 0,1...0,15 мм – $k = 1,1$; 0,07...0,09 мм – $k = 1,25$; 0,04...0,06 мм – $k = 1,4$; 0,02...0,03 мм – $k = 1,7$.

Довжина поздовжнього ходу столу визначається за формулою:

а) в ході шліфування на прохід (у мм): $L = l_0 - (0,2...0,4) \cdot B_k$;

б) у разі шліфування в упор (у мм): $L = l_0 - (0,4...0,6) \cdot B_k$,

де l_0 – довжина поверхні, що шліфується, мм;

B_k – ширина шліфувального круга, мм.

Основний час у процесі шліфування з поперечною подачею (метод врізування) визначається за формулою:

$$t_0 = \frac{a}{n_{\text{д}} \cdot S_{\text{п}}} \cdot K, \quad (7.3)$$

де $S_{\text{п}}$ – поперечна подача на один оберт деталі;

$n_{\text{д}}$ – частота обертання деталі, хв⁻¹;

K – коефіцієнт доведення.

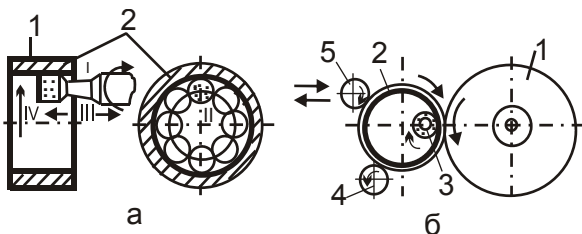


Рис. 7.98. **Схеми шліфування отворів: а – планетарного; б – безцентрового**

На рис. 7.98 а показана схема планетарного шліфування внутрішнього отвору. Шпиндель шліфувального круга 1 має чотири рухи: обертання навколо своєї осі 1; планетарний рух по колу внутрішньої

поверхні деталі, нерухомо закріпленої на столі верстата II; зворотно-поступальний рух уздовж осі деталі III; поперечне переміщення (поперечна подача). Ця схема шліфування застосовується для обробки корпусних деталей.

Безцентрове шліфування отворів. На рис. 7.98б показана схема безцентрального шліфування внутрішнього отвору втулки. Деталь підтримується трьома роликами. Ролик 1 є провідним: він викликає обертальний рух деталі 2 щодо шліфувального круга 3. Верхній ролик 5 притискає деталь до провідного ролика 1 і нижнього підтримувального опорного ролика 4. Деталь, затиснута між трьома роликами, має швидкість провідного ролика. У разі зміни деталей затискний ролик 5 відходить вліво, звільняючи деталь. Точність обробки в процесі безцентрального шліфування отвору відповідає 5 – 6-му квалітету, а концентричність і паралельність осей внутрішнього і зовнішнього діаметра досягає 0,003 мм.

Хонінгування застосовується для обробки попередньо розгорнутих, розточених чи шліфованих наскрізних і глухих циліндричних отворів. Обробка здійснюється хонем – інструментом, що має абразивні чи алмазні бруски. Голівка (хон) здійснює одночасно обертальний ($V_{об} = 30 - 60$ м/хв) і обернено-поступальний ($V_{п} = 10 - 15$ 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 електрокорунду, карбїду кремнію, ельбору, алмазу. Процес хонінгування здійснюється в присутності мастильно-охолоджувальної рідини, яка вимиває відходи обробки. Під час обробки 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 деталей з чавуну і 0,01 – 0,08 мм – для сталевих.

Хонінгування проводять на горизонтальних і вертикальних одно- і багатошпіндельних верстатах. Хонінгування усуває овальність, конусність, бочкоподібність та інші похибки форми, забезпечуючи точність 5 – 6-го квалітету і шорсткість поверхні $R_a = 0,32 - 0,04$ мкм.

Притирання – оздоблювальна абразивна обробка, що забезпечує шорсткість поверхні $R_a = 0,16 - 0,01$ мкм і точність розмірів 5-го квалітету. Інструментом слугує притир, який є розрізною втулкою, на

зовнішню поверхню якої наносяться перехресні пази, а внутрішня поверхня має конус. Притири виготовляються з чавуну, сталі, латуні, міді й інших матеріалів, але більш м'яких, ніж матеріал оброблюваної деталі.

На поверхню притира наноситься паста чи суспензія на основі електрокорунду, карбїду кремнію, карбїду бора (зернистістю M20 – M3); алмази (зернистістю 100 – 1 мкм і дрібніше). Як з'єднувальні матеріали в пастах застосовують стеарин, парафін, вазелін і олеїнову кислоту. Притир здійснює обертові і зворотно-поступальні рухи з питомим тиском 0,2 – 0,5 МПа.

Різьбові поверхні за своїм призначенням поділяють на кріпильні й ходові. До кріпильних різьб належать метричні (нормальні, тугі, щільні), трубні, дюймові, упорні (пилкоподібні) і спеціальні (часові, артилерійські та ін.). Ходові різьби прямокутного, трапецієподібного і напівкруглого профілю застосовуються в ходових гвинтах, у верстатних, складальних і контрольно-вимірювальних пристроях. Вони слугують для перетворення обертального руху в поступальний.

На машинобудівних заводах застосовується багато методів обробки різьб. Залежно від розмірів, 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.

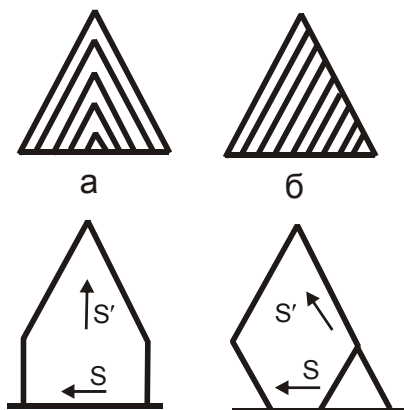


Рис. 7.99. **Схема нарізування різьби:**
а – профільна;
б – генераторна

Нарізування різьб різцями і гребінками. У разі нарізування різьб великого кроку ($S > 3$ мм) застосовують різці, що працюють за генераторною схемою (рис. 7.99б).

Профільна схема нарізування різьб застосовується для чистового нарізування (рис. 7.99а). 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 кількість проходів до одного. Основний машинний час нарізування різьб різцями:

$$t_0 = \frac{(l+x) \cdot i}{n \cdot S} \cdot q, \quad (7.4)$$

де l – довжина різьбової частини, мм;

n – частота обертання деталі, об./хв;

S – подача на оберт деталі, дорівнює кроку нарізування різьби;

i – кількість проходів залежно 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:

$$t_0 = \frac{l+x}{nS}. \quad (7.5)$$

Гребінки (рис. 7.100) за своєю конструкцією поділяють на плоскі, призматичні і круглі. Для попередньої обробки великогабаритні різьби

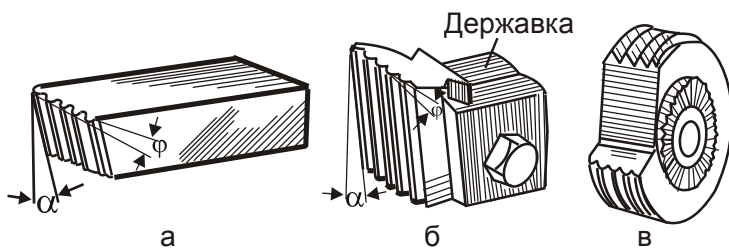


Рис. 7.100. Різьбові гребінки:
а – плоска, б – призматична,
в – кругла

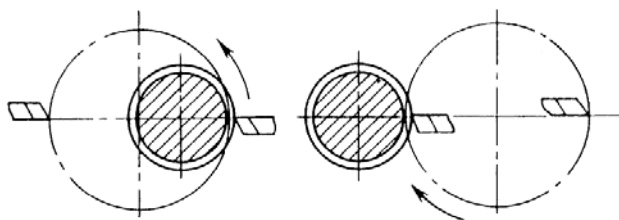


Рис. 7.101. Схема вихрового нарізування різьби

найбільш доцільно нарізати вихровим методом (рис. 7.101). Він полягає в наступному: оброблювана деталь обертається з частотою 30 – 100 об./хв, а різець, закріплений у різцевій головці, обертається з частотою 1 000 – 3 000 об./хв. За кожен оберт 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 оберт деталі в процесі переміщення обертової головки вздовж осі деталі на величину кроку різьби на деталі буде

сформований один виток різьби.

Мітчиками, плашками і нарізними головками нарізуються різьби невеликого діаметра. Залежно від способу нарізування мітчики

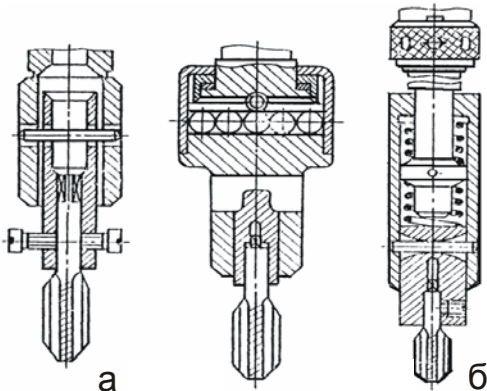


Рис. 7.102. Патрони для кріплення мітчиків:
а – плаваючий;
б – компенсувальний

поділяються на машинні, які застосовують для нарізування різьб на верстатах, і слюсарні, які застосовують при ручному нарізуванні різьб.

Нарізування різьб машинними мітчиками виконується на свердлильних, револьверних і токарно-револьверних автоматах, які мають зворотний хід для вигвинчування інструмента. Робоча частина мітчика складається із забірної частини і калібрувальної.

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. 7.102а). Для узгодження подачі верстата з кроком різьби застосовуються патрони, що компенсують розбіжність (рис. 7.102б). 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 1 000 до 3 000 гайок) і досить високу точність (рис. 7.103). Зовнішні різьби нарізають плашками чи різьбонарізними головками. Плашка є розрізним кільцем з внутрішньою різьбовою поверхнею. У процесі нагвинчування її на циліндричну поверхню відбувається нарізування різьби. Цей метод нарізування різьб малопродуктивний, тому що вимагає додаткового часу для згвинчування при зворотному ході інструмента. Основний час для нарізання різьби мітчиками і плашками визначається за формулою:

$$t_0 = \left(\frac{l+x}{n \cdot S} + \frac{l+x}{n_1 \cdot S} \right) \cdot i, \quad (7.6)$$

де l – довжина різьби, що нарізується, мм;

x – величина врізання і перебігу, яка дорівнює $2/3 \cdot S$, мм;

n_1 – частота обертання заготовки під час зворотного ходу, об./хв;

n – частота обертання заготовки під час прямого ходу, об./хв;

S – подача на оберт заготовки, яка дорівнює кроку різьби, мм/об.

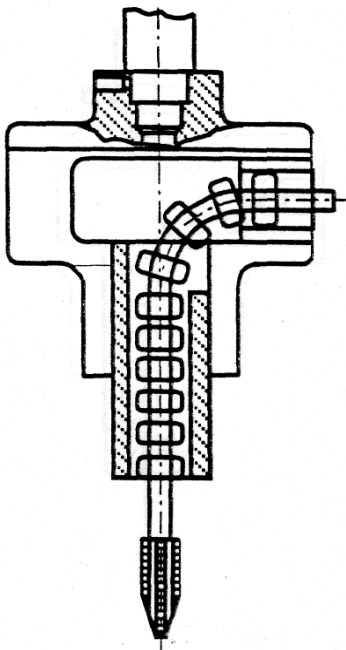


Рис. 7.103. Схема нарізання різьби в гайках вигнутим мітчиком

У серійному і масовому виробництві замість плашок застосовують самовідкривані різьбонарізні головки. Різьбонарізні головки за своєю конструкцією поділяються на три види: із плоскими, тангенціальними і круглими різцями. Різьбонарізні головки забезпечують нарізування різьб більш високої точності. Основний (машинний) час під час нарізування різьб головками, які самовідкриваються, визначається за формулою:

$$t_0 = \frac{l+x}{n \cdot S}, \quad (7.7)$$

де $x = (2 \div 3) \cdot S$.

Для фрезерування різьб застосовують дискові й гребінчасті фрези. Дискові фрези використовують у процесі нарізання довгих різьб із великим 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 є набором дискових фрез. Ширина набору фрез береться більшою на 2 – 3 нитки від довжини різьбової частини деталі. Цикл нарізання різьби дорівнює 1,25 оберту деталі. У процесі нарізання різьби фреза встановлюється на супорті різьбофрезерного верстата паралельно до осі деталі. Різьба одержує обертальний рух різання і повздовжню подачу. Деталь закріплюється в патроні верстата й одержує повільний обертальний рух подачі. За повний

оберт деталі фреза переміщується на величину кроку різьби. У початковий момент фреза врізається в заготовку на повну глибину різьби, а потім за 1,25 оберту деталі різьба повністю нарізується. Додаткові 0,25 оберта деталі передбачені для перекриття часу врізання фрези в заготовку. Основний (машинний) час обробки в ході нарізання різьби гребінчастою фрезою визначається формулою:

$$t_0 = \frac{1,25}{n_d}, \quad (7.8)$$

де n_d – частота обертання деталі, об./хв.

Продуктивність різьбофрезерування гребінчастою фрезою в багато разів вища, ніж нарізання різьби різцем і забезпечує стабільну якість поверхні й точність обробки. Схема фрезерування зовнішньої і внутрішньої різьби показана на рис. 7.104.

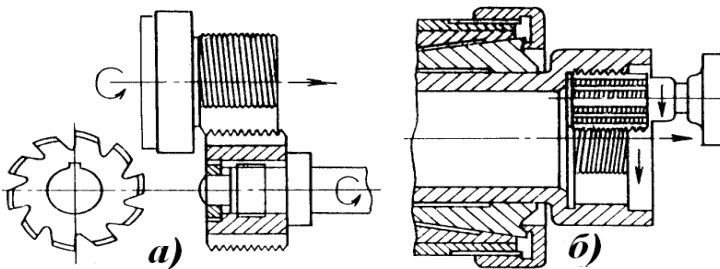


Рис. 7.104. **Схема нарізання різьби гребінчастою фрезою:**
а – зовнішньої; б – внутрішньої

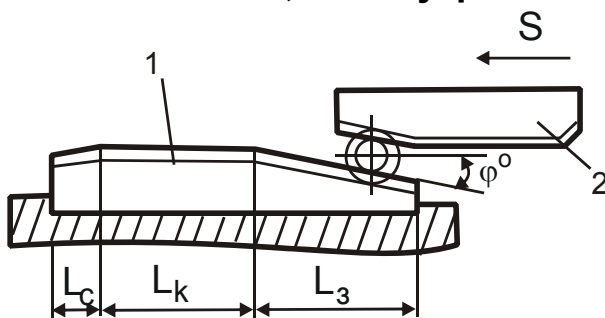


Рис. 7.105. **Схема накочування різьби плоскими пластинами**

Умовні позначення: L_3 – західна частина; L_k – частина, що калібрує; L_c – збіг різьби

На рис. 7.105 показана схема накочування різьби плоскими плашками. Плашка 1 нерухома, плашка 2 встановлена на повзуні, що здійснює прямолінійні зворотно-поступальні рухи. Робоча поверхня плашок має прямолінійну різьбу з профілем і кутом підйому, що

Процес формування різьби під час *накочування* відбувається без зняття стружки шляхом витискання. 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 верстаках моделей МФ-103, МФ-128, 5А935 з автоматизованим циклом обробки.

відповідають профілю і куту підйому накочуваної різьби. Плашка має забірні конуса для захоплення заготовки. Різьба накочується за час одного ходу повзуна.

Цей спосіб застосовується для накочування деталей обмеженого діапазону діаметром від 3 до 24 мм із кольорових металів і конструкційних сталей $\sigma_B < 60 \text{ кгс/мм}^2$. Спосіб вимагає тривалого переналагодження верстата і має низьку стійкість інструмента, виключає можливість накочування різьб на пустотілих деталях (втулках). Ці обмеження звужують сферу застосування накочування різьб плашками на машинобудівних заводах.

У практиці найбільшого поширення набув процес накочування різьб круглими обертовими роликми. Цей спосіб значно відрізняється від умов роботи плоскими плашками і має більш широкі технологічні можливості.

Процес накочування роликми характеризується: значно меншим

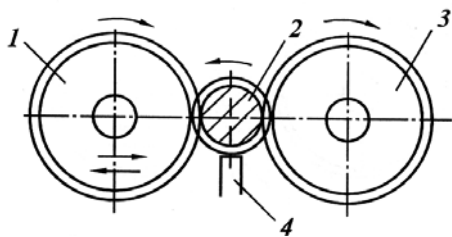


Рис. 7.106. **Схема накочування різьби з радіальною подачею**

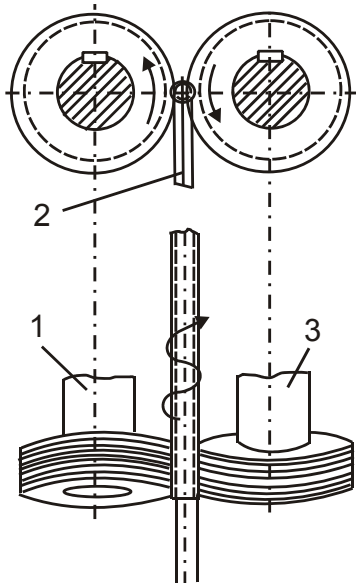


Рис. 7.107. **Схема накочування різьби з осьовою подачею**

Умовні позначення: 1, 3 – різьбонакочувальні ролики; 2 – опора

тиском, що створює можливість накочування різьби в пустотілих деталях з високоміцних, термічно оброблених сталей з $\sigma_B < 120 \text{ кгс/мм}^2$ і HRC 40; має значно менші габарити верстата з більш широким діапазоном розмірів різьб – від 5 до 60 мм. Накочування різьби накатними роликми здійснюється з радіальною й осьовою подачею. Накочування різьби з радіальною подачею здійснюється двома чи трьома роликми. Ролики мають різьбу, спрямовану протилежно до напрямку різьби, що нарізується, тобто права різьба накочується роликми з лівою різьбою, і навпаки.

Схема накочування різьби з радіальною подачею двома роликми показана на рис. 7.106. Заготовка 2 розміщується на напрямній планці 4 між роликми 1 та 3. У процесі накочування обидва ролики обертаються в одну сторону й один з них одержує радіальну подачу від приводу. Під час накочування 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. 7.107).

Ролики з кільцевою нарізкою порівняно 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 накочування різьби:

$$d_3 = \sqrt{0,5 \cdot (d_3^2 + d_B^2)}, \quad (7.9)$$

де d_3 – зовнішній діаметр різьби;

d_B – внутрішній діаметр різьби.

Шліфування різьб застосовується під час виготовлення загартованих виробів із точним різьбленням. Шліфування різьб здійснюється односторонніми чи багатосторонніми абразивними кругами. У процесі багатостороннього врізаного шліфування довжина різьби, що шліфується, повинна бути меншою на 3 – 4 кроки від ширини круга. Шліфування здійснюється методом врізання на повну глибину профіля за умов повільного обертання заготовки.

Для нарізання довгих різьб застосовують багатостороннє шліфування з поздовжньою подачею. Забірний конус на багатосторонньому кругі 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.

Обробка зубів зубчастих коліс. Залежно від умов експлуатації зубчастих коліс визначається встановлений ступінь точності їхнього виготовлення. Наприклад, зубчасті колеса, призначені для передачі з особливо строгою погодженістю рухів чи які працюють із круговими швидкостями 100 – 150 м/с, повинні виготовлятися за 3-м і 4-м ступенями точності згідно з ДСТ1643-72. 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) за умов великих навантажень, 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 до ДСТ1643-72, якість виготовлення зубчастих коліс оцінюється нормами кінематичної точності, плавності роботи передачі й контакту зубів. Крім того, стандарт регламентує норми бічного зазору, що слугує 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 ДСТ 1643-72 ступінь точності зубчастого колеса позначається тризначним числом і однією з літер відповідно до виду сполучення 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.

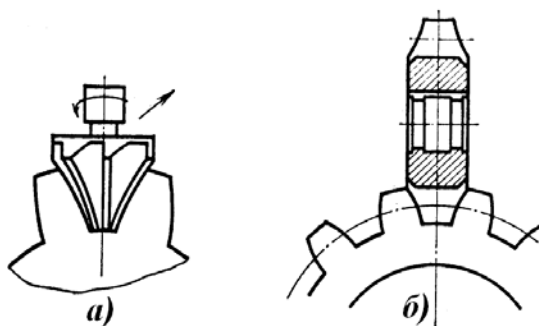


Рис. 7.108. Фрезерування западин зуба методом копіювання:

- а – пальцевою фрезою;
- б – дисковою фрезою

Вимога одержання високої точності і плавності сполучення зубчастих коліс, а також прагнення підвищити продуктивність зубонарізування привели до створення спеціальних зуборізних верстатів. Найбільш розповсюдженими методами нарізування зубчастих вінців є фрезерування і зубодовбання.

Під час обробки на зубодовбальних верстатах виходить більш правильний профіль евольвенти, ніж під час зубофрезерування. Тому метод зубодовбання застосовується для чистового нарізування зубів, а метод зубофрезерування дво- чи тризахідними фрезами – для чорнового нарізання.

На зубофрезерних верстатах можна нарізати зубчасті вінці шестерень із прямими і косими зубами, черв'ячні зубчасті колеса,

черв'яки, шліцьові валики, ланцюгові колеса.

Нарізування зубців. Зубці коліс можна нарізати методом копіювання і методом обкочування. У першому випадку застосовують у якості інструмента пальцеві чи дискові фрези із зубами, що мають форму профілю западини колеса. Нарізування виконується на фрезерних верстатах з використанням ділильних пристроїв (головок).

На рис. 7.108 наведені схеми нарізування зубчастих коліс методом копіювання пальцевою і дисковою фрезами. Цей метод є неточним і малопродуктивним. Іноді цим методом здійснюють чорнове нарізання зубів.

Більш точним і продуктивним методом обробки зубів є метод обкочування зуба на довбальних чи зубофрезерних верстатах.

Зубодовбання циліндричних коліс. Зубодовбання здійснюється на верстатах моделей 5А12, 5А14, 5А16, "Комсомолец", "Феллоу", "Лоренц" та інших. На зубодовбальних верстатах можна нарізувати прямі

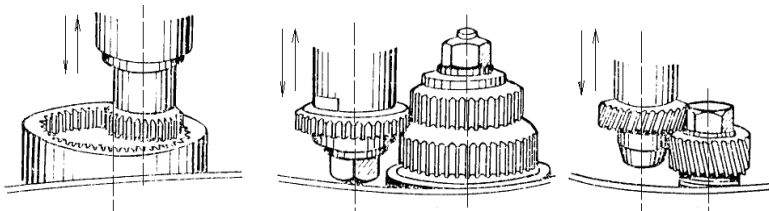


Рис. 7.109. Приклади зубодовбання циліндричних кілець

й спіральні зуби коліс як зовнішнього, так і внутрішнього зчеплення. На рис. 7.109 подані приклади нарізання зубів циліндричних коліс довбанням.

У процесі нарізання спіральних зубів штассель із закріпленим на ньому довбачем здійснює зворотно-поступальні гвинтові рухи. Режими різання: $V = 12 - 18$ м/хв, $S_{кр} = 0,25 - 0,5$ мм/дв. хід (для чорнової обробки); $V = 20 - 30$ м/хв, $S_{кр} = 0,15 - 0,3$ мм/дв. хід (для чистової обробки).

Основний машинний час (хв) у процесі зубодовбання обчислюється за формулою:

$$t_0 = \frac{\pi \cdot m \cdot z_d \cdot i}{n \cdot S_0} + \frac{h}{n \cdot S_{рад}}, \quad (7.10)$$

де m – модуль зубців;

z_d – кількість зубців довбала;

n – кількість подвійних ходів на хвилину;

h – висота зуба, мм;

i – кількість проходів;

S_0 – кругова подача, мм/об;

$S_{\text{рад}}$ – радіальна подача, м/хв.

Зубчасті колеса з модулем 1 – 2 мм нарізаються за один прохід, з модулем 2,25 – 4 мм – за два проходи і з модулем більше 4 мм – нарізаються за 3 проходи. З метою збільшення продуктивності зубодовбальних верстатів під час нарізання зубчастих коліс малих і середніх модулів застосовують комбіновані довбала, що здійснюють послідовне чорнове і чистове нарізання зубів за один оберт довбала. У таких довбал частина зубів має занижену товщину. Вони виконують чорнове нарізування профілів зубів, інша частина видаляє припуск, що залишився, під час чистового нарізання.

На довбалі передбачена ділянка зі зрізаними зубами, що дозволяє знімати і встановлювати деталі без відведення шпинделя з довбала.

Слід зауважити, що комбіновані довбала придатні для нарізання зубчастих коліс тільки з певною кількістю зубів. Отже, їх доцільно застосовувати тільки на заводах масового і багатосерійного виробництва. Комбіновані довбала придатні тільки для нарізування зубчастих коліс з малою кількістю зубів, тому що кількість зубів цих довбал повинна дорівнювати подвоєній кількості зубів колеса, що нарізається. Зубодовбальні верстати забезпечують 7 – 8-й ступінь точності. Вони дозволяють робити обробку зубчастих вінців у блокових зубчастих колесах із двома та чотирма вінцями. На рис. 7.110 наведений порівняльний графік продуктивності процесів зубофрезерування і зубодовбання.

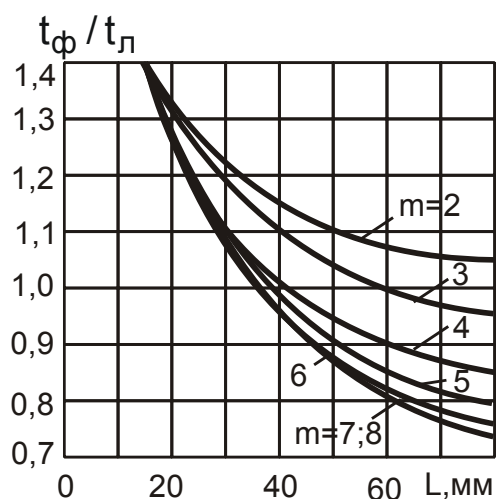


Рис. 7.110. Порівняльний графік продуктивності процесів зубофрезерування і зубодовбання

довжини зубчастого вінця вигідніше застосовувати зубофрезерування.

Фрезерування зубів зовнішніх зубчастих коліс із прямими і косими зубами, а також черв'ячних коліс виконується на зубофрезерних верстатах типу "Комсомолец", моделей 5Д32, 5Е32. Різальним інструментом є черв'ячні фрези з прямолінійними різальними крайками зубів, розміщеними під кутом зчеплення. Фрези бувають однозахідними і багатозахідними. У процесі нарізання черв'ячна фреза і черв'ячне колесо, що нарізаються, перебувають у стані зчеплення. Це зчеплення відповідає черв'ячній

передачі з передаточним числом $i = n_{\text{ф}} / n_3 = z_3 / k$, де $n_{\text{ф}}$ і n_3 – частота обертання фрези і зубчастого колеса на хвилину; k і z_3 – кількість заходів черв'ячної фрези і кількість зубів колеса.

Схема нарізання зубів показана на рис. 7.111. Фреза 1 встановлюється під кутом підйому зубів фрези на ділильному циліндрі. Заготовка 2 одержує обертальний рух, а фреза, крім обертального руху, має ще поступальний рух подачі вздовж твірної поверхні колеса.

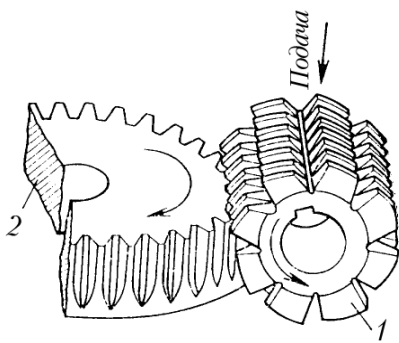


Рис. 7.111. **Схема фрезерування зубів**

У процесі нарізання 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 поздовжнього переміщення прямобічної вихідної різальної рейки і обертання зубчастого колеса. Для

забезпечення обкочування зубчастого колеса по вихідній різальній рейці необхідно виконати під час налагодження гітари обкочування наступну умову.

Один оберт фрези повинен відповідати повороту заготовки на кут k/z_3 , де k – кількість заходів фрези; z – кількість зубів оброблюваного зубчастого колеса.

У процесі обробки зубчастих коліс з косими зубами налаштовуються чотири гітари: гітара головного руху, гітара подач, гітара обкочування і гітара диференціала. Остання гітара налаштовується 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 оберт.

Під час нарізання зубчастих коліс з косими зубами фрезерний супорт встановлюється з урахуванням нахилу гвинтової лінії витків фрези α і кута спіралі зуба зубчастого колеса β .

Якщо напрями нахилу гвинтової лінії фрези і зубчастого колеса однакові (фреза і зубчасте колесо право- чи лівозахідні), то кут встановлення фрези дорівнює різниці кутів фрези і зубчастого колеса, тобто $\beta' = \alpha - \beta$; якщо ж напрями нахилу гвинтової лінії фрези і зубчастого колеса різні, то кут встановлення дорівнює сумі кутів, тобто

$$\beta' = \alpha + \beta.$$

Залежно від величини модуля встановлюється кількість проходів фрези: зубчасте колесо з модулем до 2,5 мм нарізають за один прохід – начисто; зубчасте колесо з модулем більш в 2,5 мм нарізають за два проходи – начорно і начисто.

Крім звичайної схеми фрезерування зубів циліндричних зубчастих коліс, відомий метод діагонального фрезерування зубів. Тут обробка проводиться за наявності двох подач: поздовжньої – вздовж осі оброблюваної заготовки і тангенціальної – вздовж осі черв'ячної модульної фрези.

За такої схеми обробки у різанні беруть участь всі різальні зуби фрези, що сприяє підвищенню її стійкості. Однак точність обробки в процесі діагонального фрезерування зубів знижується через похибки в кінематичному ланцюгу механізму фрезерної головки. Практично встановлено, що в процесі фрезерування зубів коліс зі 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 оберт заготовки і 0,5 – 1 мм – на чистових проходах.

Основний машинний час (хв) фрезерування зубів обчислюється за формулою:

$$t_0 = \frac{m \cdot l + l_1}{n \cdot S \cdot k} z \cdot i, \quad (7.11)$$

де l – ширина зубчастого вінця, мм;

l_1 – величина врізання і перебігу, мм;

i – кількість проходів;

n – частота обертання фрези, об./хв;

z – кількість зубів колеса;

S – подача, мм/об.;

m – кількість одночасно нарізуваних зубчастих коліс;

k – кількість заходів фрези (для чистових проходів $k = 1$, для чорнових рекомендується $k = 2$).

Накочування циліндричних зубчастих коліс має у 15 – 20 разів вищу продуктивність порівняно із зубофрезеруванням. Відходи металу складають усього лише 3 – 4% від ваги заготовки. Зуби модулем до 1 мм

накочуються в холодному стані, а більше 1 мм – в гарячому. У холодному стані дрібномодульні зубчасті колеса можна накочувати на токарних верстатах з поздовжньою подачею (рис. 7.112а).

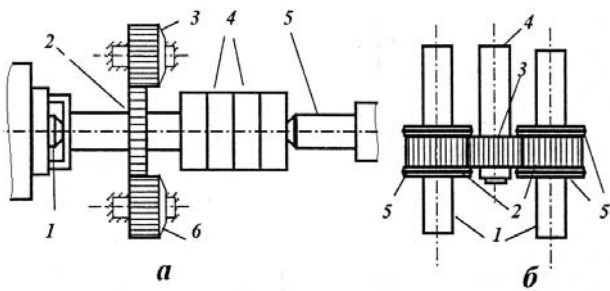


Рис. 7.112. Методи накочування зубів циліндричних зубчастих коліс: а – на токарному верстаті, б – на спеціальному стенді

У передньому 1 і задньому 5 центрах встановлюється оправка, обертання якої викликається шпинделем верстата. На оправці встановлюються заготовки 4 і ділильне зубчасте колесо 2, що знаходиться на початку процесу накочування в сполученні з двома чи трьома накочувальними роликами, закріпленими на супорті верстата. Біля виходу зі сполучення з ділильним зубчастим

колесом 2 ролики приводяться в обертання зубами торцевої 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 – це зубчасті колеса з модулем, що дорівнює модулю колеса, яке накочується. Вони мають забірну частину для поступового впровадження в метал оброблюваних заготовок. Ступінь точності коліс, що накочуються, приблизно 8-й.

У процесі накочування зубчастих вінців з нагріванням застосовуються спеціальні

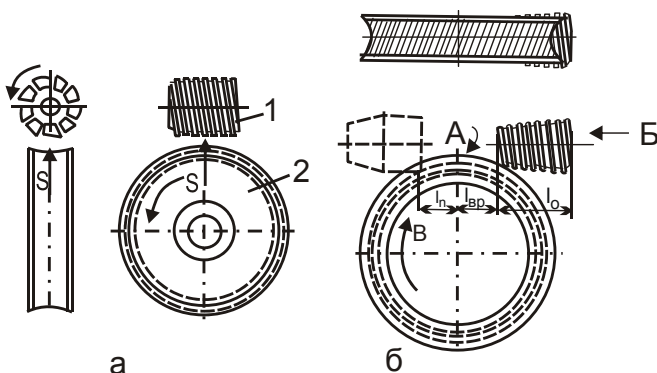


Рис. 7.113. Схеми нарізування зубців черв'ячних зубчастих коліс:

а – спосіб радіальної подачі;

б – спосіб тангенціальної подачі

Зміцнення поверхні зубів значно підвищує стійкість проти спрацьовування зубчастих коліс.

стенди. Схема накочування з радіальною подачею показана на рис. 7.112б. 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 1 000 – 1 200°С. Точність зубчастих коліс після накатування відповідає 9-му

У процесі *нарізування зубців черв'ячних коліс* вісь фрези встановлюється перпендикулярно до 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. 7.113а), на якому нарізають зубці, розраховують так, щоб за один оберт фрези колесо обернулося на кількість зубів, яка дорівнює кількості заходів черв'яка. Стіл зубофрезерного верстата із закріпленою заготовкою здійснює в горизонтальній площині подачу на глибину зуба в радіальному напрямі. Недолік зазначеного способу полягає в тому, що черв'ячна фреза працює обмеженою кількістю різальних 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. 7.113б). Стрілка А вказує обертання фрези, стрілка Б – поздовжню подачу по дотичній лінії до колеса, стрілка В – його обертання.

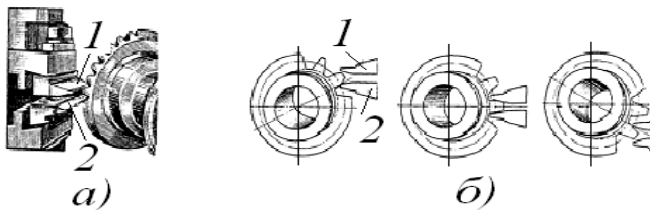


Рис. 7.114. Нарізування конічного зубчастого колеса на зубостругальному верстаті:
а – встановлення різців;
б – схема обкочування

Умовні позначення: 1, 2 – різці

Для *нарізування зубів конічних зубчастих коліс 7 – 8-го ступеня точності* застосовуються спеціальні зуборізальні верстати. Зубостругальні верстати працюють за методом обкочування (рис. 7.114а). Два стругальних різці 1 і 2 здійснюють прямолінійні зворотно-поступальні рухи вздовж зубів оброблюваної заготовки. Під час зворотного руху різців вони відводяться від оброблюваної поверхні з метою зменшення спрацювання різальної крайки різців. Різці утворюють прямо бічну різальну рейку, що обкочується по зубчастому колесу, формуючи профіль зубів, який відповідає евольвенті. На рис. 7.114б показані три різних положення вихідної різальної рейки, які відповідають початку, середині й кінцю обробки одного зуба. Після виходу різців із зачеплення з обробленим зубом, заготовка автоматично обертається для обробки наступного зуба. Нарізання 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.

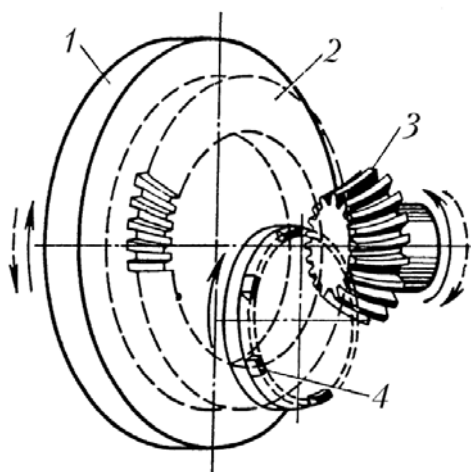


Рис. 7.115. Нарізування конічних коліс із криволінійними зубами

Умовні позначення: 1 – інструментальний барабан; 2 – уявлюване виробляє колесо; 3 – зубчасте колесо, яке нарізається; 4 – зуборізна головка з різцями

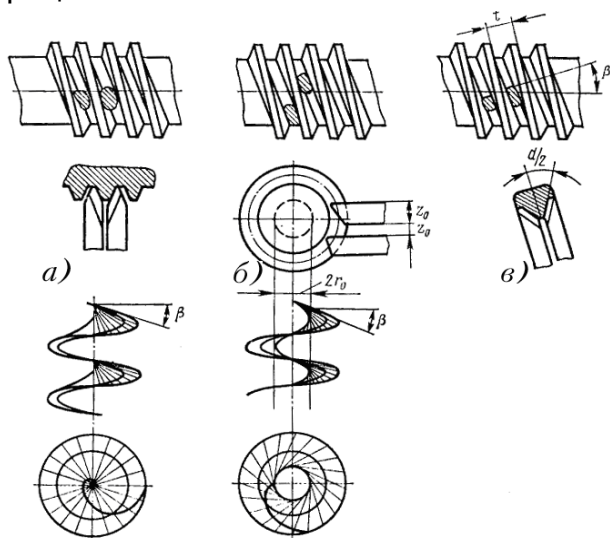


Рис. 7.116. Схеми утворення профілю черв'яків:
а – архімедового;
б – евольвентного;
в – конволютного

На рис. 7.115 наведена 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 уявного плоского спіральньо-конічного колеса. Заготовка зубчастого колеса наприкінці циклу обробки виходить із зчеплення 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 – інший.

Обробка черв'яків. Існують черв'ячні передачі з циліндричним (гелікоїдальним) і глобоїдним черв'яком. Перетин витків циліндричного черв'яка з осью площиною становить прямолінійну рейку, а в глобоїдного – кругову.

Серед циліндричних черв'яків найбільше застосування для невідповідальних передач має гвинтовий черв'як (зі спіраллю

Архімеда), який є звичайним гвинтом із трапецеїдальним профілем (рис.

7.116а). Черв'ячна пара з таким черв'яком має низький ККД і піддається швидкому спрацюванню, тому її застосовують у тихохідних слабо навантажених передачах. Іншим різновидом циліндричного черв'яка є черв'як із профілем евольвенти (рис. 7.116б). Третім різновидом циліндричного черв'яка є конволютний черв'як (рис. 7.116б).

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 зі спіраллю Архімеда є нарізання різцем на токарно-гвинторізному верстаті.

Під час обробки прямолінійна різальна крайка двох різців сполучається з площиною, яка проходить через вісь черв'яка. За цих умов обробки в перетині черв'яка, перпендикулярному його осі, отримується архімедова спіраль (рис. 7.116а).

Нарізування витків евольвентного черв'яка здійснюється двома різцями, прямолінійні різальні крайки яких розташовуються вище і нижче від осьової площини черв'яка основного циліндра гвинтової евольвентної поверхні (рис. 7.116б).

Гвинтова поверхня називається евольвентною, тому що в торцевій площині черв'яка утворюється евольвента. У процесі нарізування витків конволютного черв'яка (рис. 7.116в) різці встановлюються так, щоб їхні різальні крайки збігалися з площиною нормальної і гвинтової поверхонь.

Описані методи нарізування гвинтової поверхні черв'яків забезпечують необхідну точність, але мають малу продуктивність.

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 .

Чистова обробка зубчастих коліс. Зі збільшенням швидкохідності машин виникла нагальна потреба в зубчастих колесах, які безшумно працюють. Шум, викликаний зубчастими колесами, пов'язаний, в основному, з точністю виготовлення елементів зубчастих коліс. Підвищення точності зубчастих коліс, яке сприяє поліпшенню динамічних характеристик зчеплення і зменшенню шуму, досягається застосуванням раціональних способів чистової обробки зубів і спеціальних високоміцних сталей і неметалічних матеріалів (пластмас, текстоліту та ін.).

Кінцева чистова обробка зубчастих вінців шестірень залежить від їхньої форми, твердості матеріалу й необхідної точності. Для обробки

зубів на машинобудівних заводах застосовують: обкочування, шевінгування, шліфування і притирання.

Обкочуванням називають процес одержання гладенької поверхні зубів незагартованого зубчастого колеса шляхом обкочування його між трьома обертовими загартованими зубчастими колесами (еталонами), точність яких перебуває в межах ± 5 мкм.

Шевінгуванням (бриючим різанням) називається процес чистової обробки зубів незагартованого зубчастого колеса (твердістю до HRC < 40), що полягає у видаленні дуже тонких стружок спеціальним інструментом – шевером.

Шевер – це зубчасте колесо чи рейка з прорізними на бічних сторонах кожного зуба поперечними канавками глибиною 0,8 мм. Ці канавки утворюють різальні крайки, які зіскрібають волосоподібні стружки. Оправка з оброблюваним зубчастим колесом (рис. 7.117) закріплюється в центрах верстата. Шевер розташовується над зубчастим колесом під кутом 15° , утворюючи з колесом ніби гвинтову пару з перехресними осями.

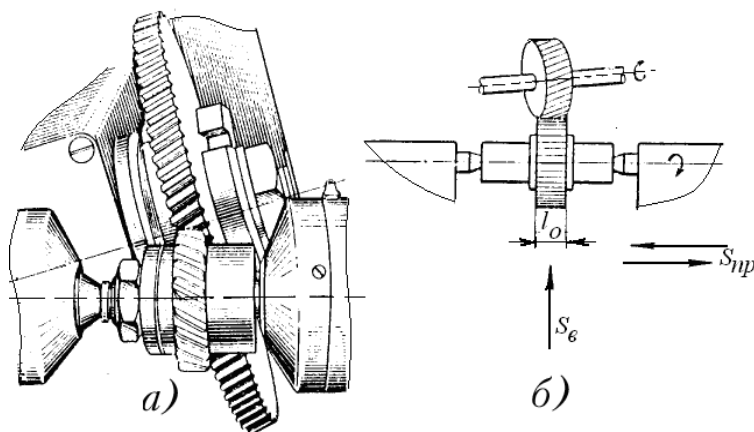


Рис. 7.117. Шевінгування циліндричного зубчастого колеса дисковим шевером

Умовні позначення: а – загальний вигляд (подача поздовжня); б – схема шевінгування з вертикальним переміщенням столу верстата

Шевер обертає оброблюване зубчасте колесо, яке здійснює осьове зворотно-поступальне переміщення, що називається поздовжньою подачею ($S_{пр} = 0,15 - 0,3$ мм на один оберт зубчастого колеса).

Для видалення стружки шевер виконує вертикальне переміщення (подачу на врізання $S_B =$

$0,025 - 0,04$ 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:

$$t_0 = \frac{(l_0 + l_{вр} + l_n) \cdot z}{n_{шев} \cdot z_{шев} \cdot S_{пр}} \cdot \frac{a}{S_B} \cdot k \quad (ХВ), \quad (7.12)$$

де l_0 – довжина зуба шестерні, мм;

$l_{вр}, l_{п}$ – врізання і перебіг, що в сумі дорівнюють 10 мм;

z – кількість зубів зубчастого колеса;

a – припуск на сторону, мм;

$n_{шев}$ – кількість обертів шевера;

$S_{пр}$ – поздовжня подача, мм/об зубчастого колеса;

$S_{в}$ – вертикальна подача в мм на один хід столу;

k – коефіцієнт, що враховує додаткові калібрувальні проходи ($k = 1,1 - 1,2$).

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. 7.1 наведені дані, що характеризують ступінь виправлення похибок шевінгуванням.

Таблиця 7.1

Похибки до і після шевінгування

Найменування похибки	Величина похибки, мм	
	до шевінгування	після шевінгування
1. Сумарна похибка 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

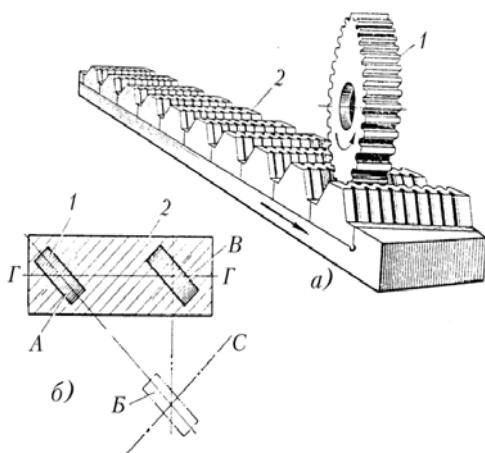


Рис. 7.118. Шевінгування шевером-рейкою

Умовні позначення: а – шевер-рейка; б – схема ковзання шевера-рейки по зубах шестерні

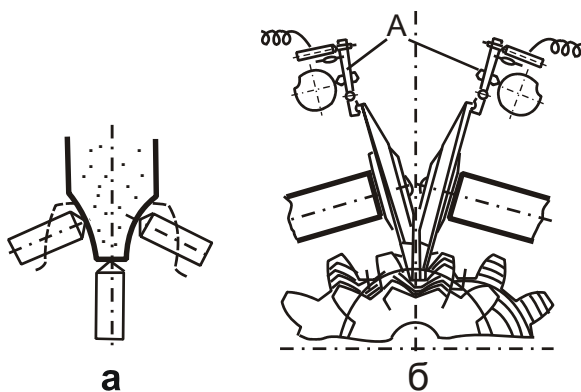
На рис. 7.118 показана шевер-рейка і схема, що пояснює здійснення поздовжнього ковзання зубів шевера-рейки по зубах шестерні.

Якщо оброблюване зубчасте колесо 1 може котити по шеверу-рейці 2 з положення А, то воно повинне було б переміститися в положення Б. Але оскільки зубчасте колесо і шевер-рейка становлять ніби гвинтову зубчасту пару з перехресними осями, то колесо пересунеться не в положення Б, а в

положення В. У результаті створюється відносно проковзування зубів оброблюваного колеса і шевера-рейки. При цьому різальні кромки шевера зрізують тонкі стружки з бічних поверхонь зубів шестірні. Швидкість проковзування є під час шевінгування швидкістю різання. Шевінгування проводять із мастильно-охолоджувальною рідиною – сульфофрезолом 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 за методом копіювання, здійснюють шліфування кругом, профіль якого відповідає западині зубів, аналогічно до дискової модульної фрези. Круг заправляється трьома алмазами з використанням спеціального механізму – пантографа (рис. 7.119а). Метод копіювання забезпечує високу продуктивність порівняно з методом обкочування, але має низьку точність.



7.119. Шліфування зубів

Умовні позначення: а – заправка круга трьома алмазами; б – обробка двома тарілчастими кругами

У процесі шліфування зубчастих коліс з великою кількістю зубів за методом копіювання має місце значне спрацювання 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. За цих умов спрацювання круга не буде викликати появу великих похибок. Основний час у процесі шліфування зубів методом копіювання визначається формулою:

$$t_0 = \frac{2L \cdot i \cdot \alpha}{1000 \cdot V_{ст}} \cdot z \quad (\text{хв}), \quad (7.13)$$

де L – довжина ходу столу, мм;

i – кількість проходів;

α – коефіцієнт, що враховує час розподілу, тобто поворот на один зуб ($\alpha = 1,3 \div 1,5$);

z – кількість зубів зубчастого колеса;

$V_{ст}$ – швидкість зворотно-поступального руху столу, м/хв.

Довжина ходу столу:

$$L = l_0 + \sqrt{h \cdot (D_k - h)} + 10 \quad (\text{мм}), \quad (7.14)$$

де l_0 – ширина зубчастого вінця колеса, мм;

h – висота зуба зубчастого колеса, мм;

D_k – діаметр круга, мм.

На верстатах, які працюють за методом обкочування, можна шліфувати прямі та спіральні зуби коліс із зовнішнім і внутрішнім зчепленням. Існують різні типи зубошліфувальних верстатів. Наприклад, шліфування високоточних зубчастих коліс здійснюється на верстатах типу МААГ моделей 5851, 5853, що працюють двома тарілчастими кругами. Ці верстати мають пристрій, що компенсує їх спрацьовування. Цей пристрій працює автоматично в процесі шліфування (рис. 7.119б).

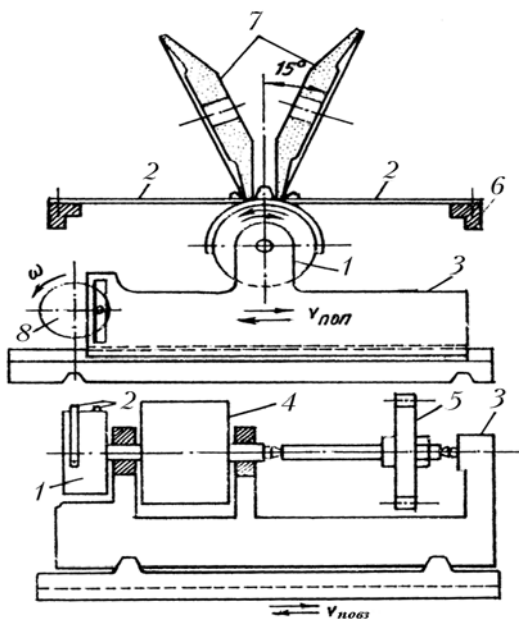


Рис. 7.120. **Схема роботи
зубошліфувального
верстата моделі 5851 МААГ**

закріплені на ролику 1, за наявності зворотно-поступального руху каретки відтворюють рухи зубчастого колеса по вихідній різальній рейці шліфувальних кругів. Встановлення довжини поперечного ходу каретки 3 здійснюється за рахунок радіуса кривошипа 8. Шліфувальні круги 7

встановлюються під кутом $\alpha_{\text{ш}}^{\circ}$, який дорівнює 15° чи 0° . За методом обкочування працюють також верстати типу НАІЛС (модель 5831).

Конусний круг (рис. 7.121а) здійснює повільне обкочування і швидкий зворотно-поступальний рух уздовж зуба.

Після обкочування одного зуба відбувається перехід до наступного зуба. Шліфування 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 моделі 5831 встановлюють два конусних шліфу-вальних круга (рис. 7.121б).

На машинобудівних заводах знаходять широке застосування верстати з черв'ячними абразивними кругами моделей 5830, 5832, що випускаються фірмами "Рейсхауер" (Швейцарія) і "Мартикс" (Англія) (рис. 7.121в). Виправлення черв'ячного круга з прямолінійним профілем здійснюється алмазами за допомогою спеціального механізму. Верстати цієї групи мають високу продуктивність, забезпечуючи обробку зубчастих коліс 5 – 6-го ступенів точності і шорсткості $R_a = 1,25$ мкм.

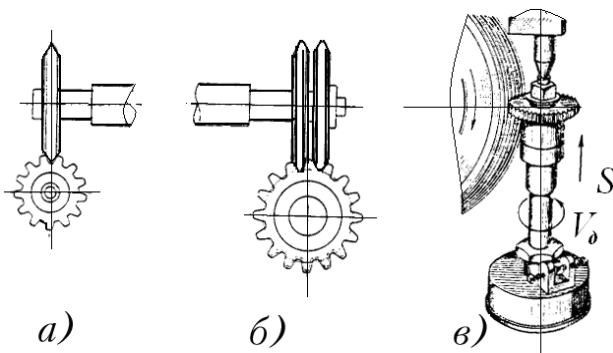


Рис. 7.121. Шліфування зубів

циліндричних зубчастих коліс:

- а – на верстаті моделі 5851 одним конусним кругом; б – двома абразивними кругами; в – на верстаті МАТРИКС черв'ячним абразивним кругом**

встановлюються під деяким кутом схрещування $15 - 20^{\circ}$. У процесі хонінгування зубів оброблюване колесо здійснює вздовж своєї осі коливальні рухи з частотами 17 – 220 Гц.

Процес хонінгування зубів застосовується для обробки зубчастих коліс з модулем $m = 2 - 6$ мм, $d = 30 - 500$ мм, шириною зубчастого

Хонінгування зубів.

Процес хонінгування зубів 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 за наявності радіального тиску. Осі виробу й інструмента

вінця 150 мм. Після хонінгування зубів висота шорсткості поверхні зменшується на 2 – 3 класи порівняно з вихідною. Хонінгування зубів – високопродуктивний метод обробки, але він має обмежену величину припуску, який знімається, – не більше 0,05 мм. Зі збільшенням припуску зростає підріз 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 за умов постійного тиску між інструментом і колесом з рясною подачею мастильно-охолоджувальної рідини.

Притирання зубів зубчастих коліс. Притирання застосовується для остаточної обробки загартованих зубчастих коліс. Процес притирання полягає в тому, що оброблюване зубчасте колесо вводиться в зчеплення 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 дзеркального блиску 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 шліфування зубів, а потім притирання.

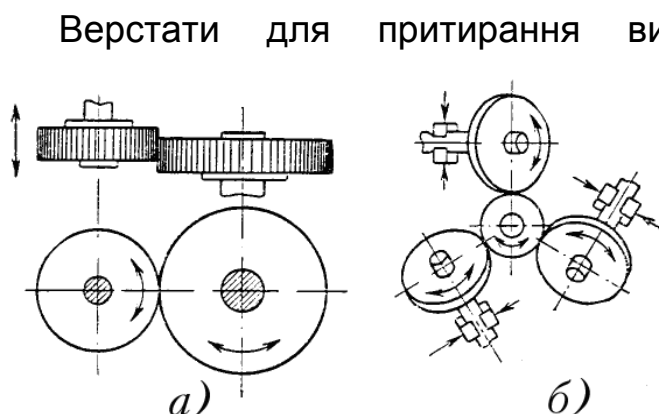


Рис. 7.122. Схеми притирання зубів циліндричних зубчастих коліс:
а – з рівнобіжними осями притирів;
б – з перехресними осями притирів

(рис. 7.122а) і з перехресними (рис. 7.122б) осями притирів. Різальними елементами в процесі зубопритирання слугують абразивні зерна, які надходять у зону обробки у вигляді суміші з рідкими компонентами. Абразивні зерна, що перебувають у

вільному стані, обкочуються з проковзуванням по евольвентних поверхнях зубів, частина з них впроваджується в поверхню інструмента, закріплюється в ній і здійснює процес мікрорізання виступаючими вершинами. Зубопритирання набуло значного поширення для обробки закритих зовнішніх і внутрішніх зубчастих вінців з цементованих і, особливо, з азотованих сталей. У разі видалення малих припусків процес притирання зубів є більш продуктивним порівняно з їх шліфуванням.

Особливості обробки тонкостінних деталей. Жорсткість деталей з великим відношенням їх розмірів до товщини стінки незначна, що призводить до неможливості використання металорізальних верстатів і традиційного полірувального обладнання для фінішної обробки зовнішніх і внутрішніх поверхонь з малими значеннями характеристик їх шорсткості. У Харківському національному економічному університеті були розроблені нові технології фінішної обробки поверхонь деталей із тонкого листа і стрічок.

Розроблена ефективна технологія фінішної обробки світловідбивних поверхонь деталей зі стрічок пружних сплавів (довговимірних трубчастих елементів). Запропоновано планетарну схему абразивного полірування трубчастих елементів довжиною 25 м і більше, виготовлених зі стрічки товщиною 0,15 мм (рис. 7.123).

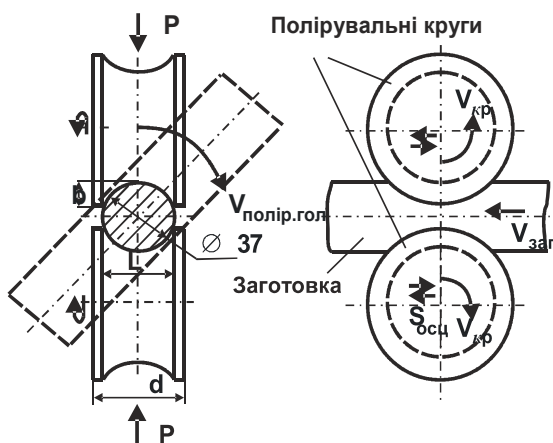


Рис. 7.123. Схема полірування трубчастих елементів із пружних стрічок на спеціальній оправці

або вигнуто-крутильної форми втрати стійкості визначають за формулами:

Відношення швидкості обертання полірувальних кругів навколо своєї осі до швидкості обертання полірувальної головки навколо осі трубчастого елемента складає 25:1. Зі збільшенням тиску на деталь повстання полірувальних кругів можлива втрата стійкості крайок стрічки. Вибір оптимальних режимів різання під час абразивного полірування обумовлений втратою стійкості пружної стрічки. Значення поздовжньої сили стискання стрічки: P_x і P_1 , які визначають появу вигину

$$P_x = \frac{n^2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I_x}{l};$$

$$P_1 = \frac{1}{2 \left(1 - \frac{a_y^2}{r_p^2} \right)} \cdot \left[P_y + P_\omega - \sqrt{(P_y + P_\omega)^2 - 4P_y \cdot P_\omega \left(1 - \frac{a_y^2}{r_p^2} \right)} \right], \quad (7.15)$$

де $P_y = \frac{n^2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I_y}{l^2}; \quad P_\omega = \frac{1}{r_p^2} \left(\frac{n^2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I_\omega}{l^2} + G \cdot I_k \right);$

E – модуль пружності, Н/м²;

G – жорсткість під час закручування, Н/мм²;

I_x, I_y, I_ω, I_k – головні центральні моменти інерції, секторальний момент інерції та момент інерції під час закручування відповідно, мм⁴;

a_y – координата центру вигину, мм;

r_p – полярний радіус інерції поперечного перетину, мм;

l – координата точки прикладання сили по осі Z , мм;

n – ціле позитивне число (1, 2, 3...).

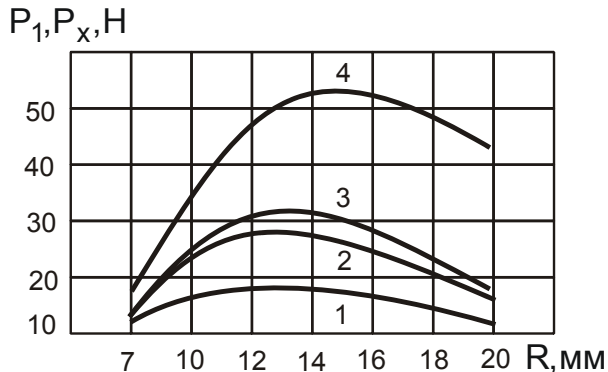


Рис. 7.124. Вплив радіуса трубочастої заготовки і її товщини на значення критичної сили стискання $P_{кр}$

(ширина розгортки 50 мм)

Умовні позначення: 1, 2 – сила P_x при товщині стрічки 0,15 і 0,2 мм; 3, 4 – сила P_1 при товщині стрічки 0,15 і 0,2 мм відповідно

Розрахункове значення критичної сили $P_{кр}$ визначається як найменше з двох значень P_x і P_1 . Установлено, що якщо $P_x < P_1$, то раніше виникає форма вигину втрати стійкості (вигин у площині симетрії); якщо ж $P_x > P_1$, то раніше настає вигнуто-крутильна форма втрати стійкості (вигин із площини симетрії, супроводжуваний закручуванням перетинів). Для перевірки на стійкість і визначення інтервалів варіювання значень окружних швидкостей і тиску інструмента були прийняті геометричні розміри перетинів

заготовок зі стрічки 0,15 x 50 мм і 0,20 x 50 мм із радіусом кільцевого

перетину 7, 12, 14 і 20 мм (матеріал – сплав марки 36НХТЮ). Результати обчислення критичної поздовжньої сили стискання стрічки трубчастої заготовки під час обробки наведені на рис. 7.124, з якого видно, що при товщині стрічки 0,15 мм величина сили стискання не повинна перевищувати 18 Н ($R = 14$ мм) і 11 Н ($R = 20$ мм) для заготовки 0,15x50 мм. Втрата стійкості трубчастої заготовки відбувається у формі вигину. З урахуванням цього для абразивного полірування поверхонь трубчастих заготовок з тонких пружних стрічок хромонікелевих і мідноберилієвих сплавів рекомендується режим обробки: окружна швидкість повстяних полірувальників з алмазною пастою АСМ 2/1 – 30 м/с, питомий тиск інструмента – до 500 кПа.

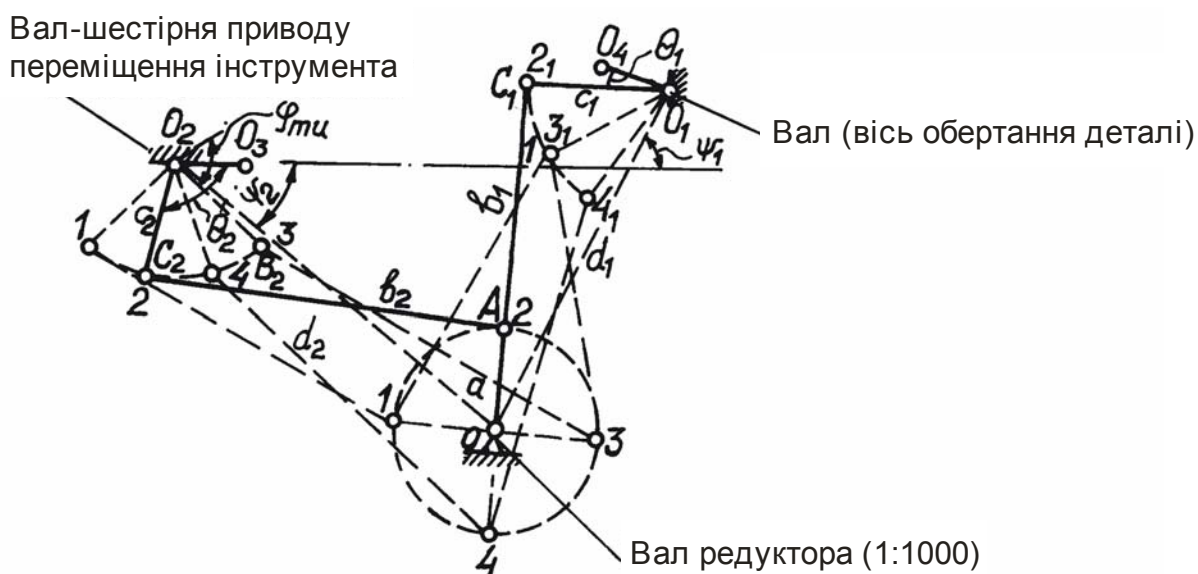


Рис. 7.125. Схема двох чотириланцюгових механізмів приводу відносного переміщення інструмента й деталі

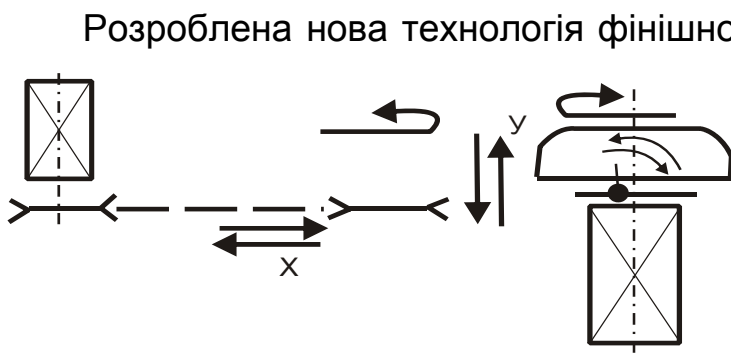


Рис. 7.126. Схема руху інструмента й деталі в процесі обробки зовнішньої поверхні

Умовні позначення: X і Y – рух інструмента

Розроблена нова технологія фінішної обробки деталей термостата з тонколистових матеріалів, що забезпечує створення поверхонь, які розсіюють світло. Кінематика процесу заснована на обкатуванні поверхні спеціальним еластичним абразивним інструментом, у результаті чого досягається матування пове-

рхні з заданими оптичними характеристиками.

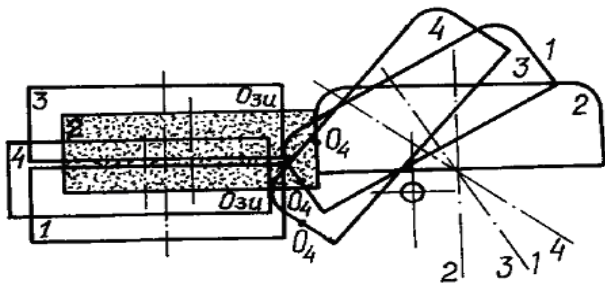


Рис. 7.127. Схема положення інструмента й деталі в процесі обробки (один цикл)

Умовні позначення: 1, 2, 3, 4 – відносні положення інструмента й деталі

Відносні переміщення інструмента й деталі пояснюють схеми двох чотириланцюгових механізмів і схему руху інструмента й деталі (рис. 7.125 і рис. 7.126), а також схему положення інструмента й деталі в процесі обробки (рис. 7.127). Розроблено конструкції і виготовлені зразки пелюсткових кругів і голкофрез (рис. 7.128). Фінішну обробку поверхонь деталей термосу зі сплаву марки АМг2

виконували голкофрезами (діаметр голок 0,15 мм зі сталі 65Г, коефіцієнт заповнення 0,7). Макет обладнання (дослідний зразок) наведений на рис. 7.128. Обробка поверхонь деталей із симетричною віссю виконується шляхом обкочування поверхонь інструментом (швидкість у контактній зоні точок інструмента й деталі співпадає і дорівнює 15 м/с).

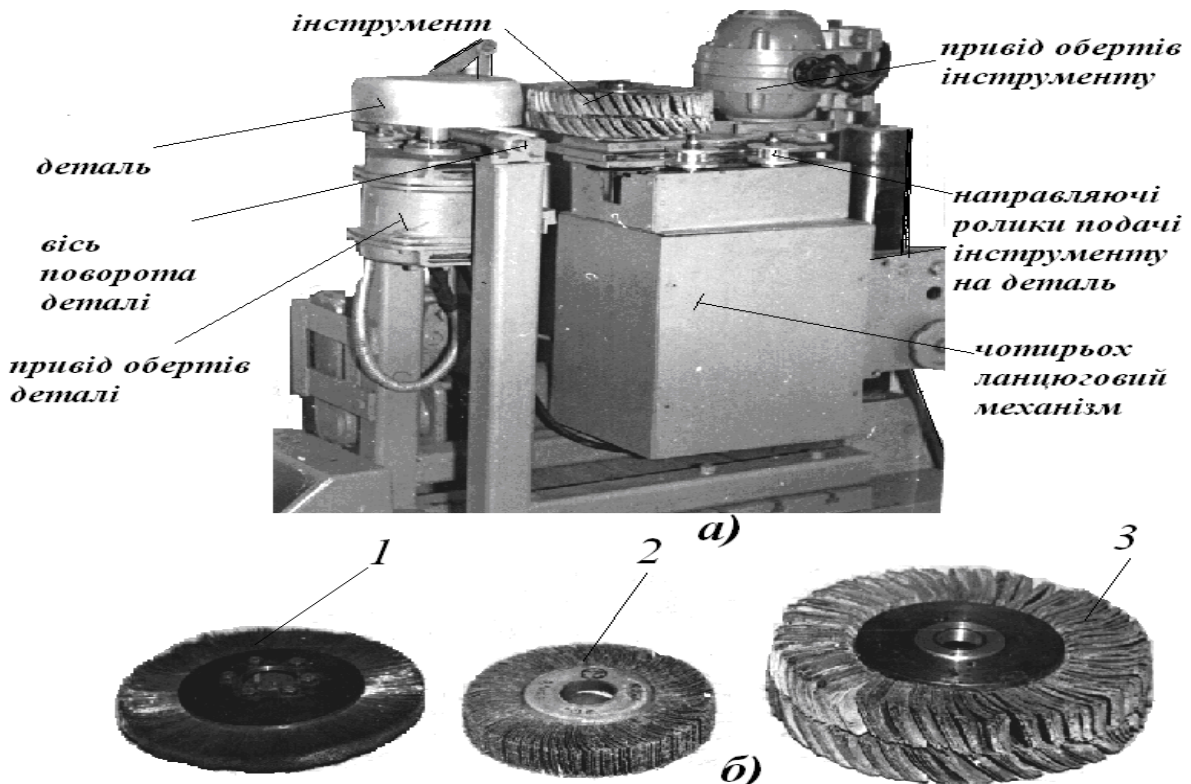


Рис. 7.128. Обладнання для абразивної обробки зовнішньої поверхні деталей термосу (а) й абразивний та лезовий інструмент (б)

Умовні позначення: 1 – голкофреза; 2, 3 – пелюсткові круги

Альтернативні методи обробки. Деталі із жароміцних, титанових сплавів та інших важкооброблюваних матеріалів обробляються фізико-хімічними методами. Найбільшого застосування у практиці підприємств набули наступні методи обробки: електроерозійний, електрохімічний, ультразвуковий, електронно-променевий і світлопроменевий. 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.

Види електрофізичної і електрохімічної обробки. Електрофізична обробка полягає в зміні форми, розмірів і параметрів шорсткості поверхні заготовки із застосуванням електричних розрядів, магнітострикційного ефекту, електронного й оптичного випромінювання, струменя плазми (ДСТ 3.1109-82).

Електрохімічна обробка заснована на принципі локального анодного розчинення за високої щільності струму (20 – 250 А/дм²) і малих міжелектродних зазорів (0,02 – 0,5 мм) у проточному електроліті.

На практиці застосовують і комбіновані методи електрофізичної та хімічної обробки. Основні способи обробки деталей із зазначенням точності обробки, яка досягається, і параметра шорсткості наведені на рис. 7.129.

Електроерозійна обробка. Різновидами цього методу є електроіскрова й електроімпульсна обробка. Електроіскрова обробка заснована на використанні електричної енергії шляхом спрямованого впливу імпульсних електричних розрядів на оброблювану поверхню. Це явище називається електричною ерозією. Під час цього явища відбувається плавлення, випаровування і гідродинамічне викидання розплавленого металу. Електроіскрова обробка здійснюється в рідкому середовищі-діелектрику – олії або керосині. У результаті електричного розряду в ерозійному проміжку між двома електродами (деталлю й інструментом) у локальній ділянці виникає температура більш ніж 3 000 °С. Під впливом цієї температури відбувається гідродинамічне викидання розплавленого металу з утворенням кратера. Електроіскрова обробка застосовується для обробки складних фасонних деталей, наприклад, лопаток із жароміцних титанових сплавів і вирубних штампів із твердих сплавів. Таким чином, у процесі електроіскрової обробки знімання металу здійснюється короткочасними іскровими розрядами між

електродами – інструментом і заготовкою (за рахунок електричної ерозії більше руйнується заготовка).

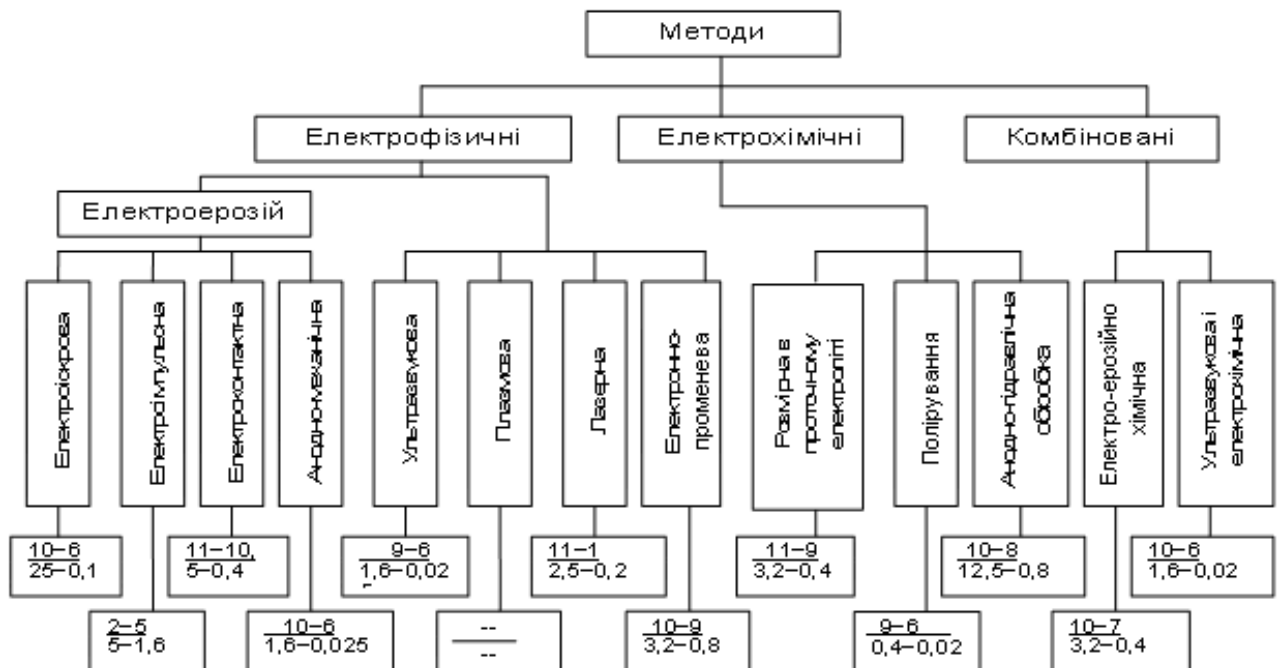


Рис 7.129. Класифікація електрофізичних і електрохімічних способів обробки [21]

Примітка: цифри в чисельнику означають квалітети, які досягаються, у знаменнику – параметр шорсткості Ra, мкм

Принципова схема електроіскрової обробки наведена на рис. 7.130.

Для обробки лопаток з жароміцних сплавів рекомендується застосовувати наступні режими: напруга 20 – 30 В, сила струму 30 – 50 А. 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 $\text{мм}^3 / \text{хв}$:

$$Q = C \cdot A \cdot f,$$

де C – коефіцієнт, що залежить від теплофізичних констант оброблюваного металу й електрода;

A – енергія імпульсів;

f – частота імпульсів.

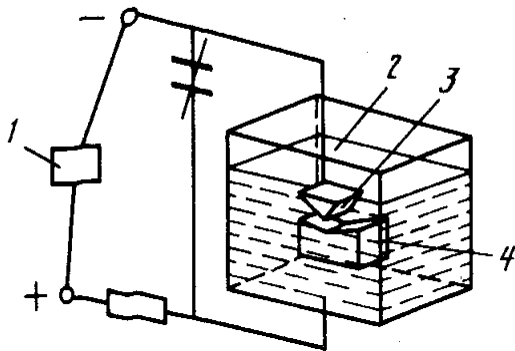


Рис. 7.130. Принципова схема електроіскрової обробки

Умовні позначення: 1 – генератор імпульсів; 2 – рідке діелектричне середовище; 3 – електрод-інструмент; 4 – електрод-виріб

На рис. 7.131 наведені різні варіанти схем обробки деталей: прорізання пазу, прорізання криволінійного отвору і розкрій листового матеріалу дротяним електродом.

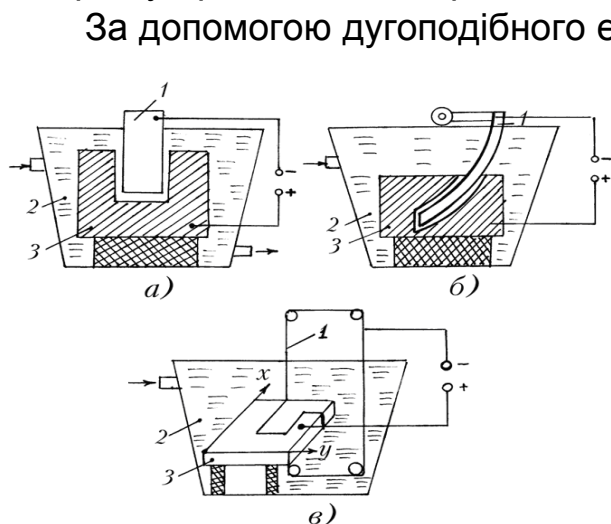


Рис. 7.131. Варіанти схем обробки електроерозійним способом

Умовні позначення: 1 – електрод; 2 – діелектрична рідина; 3 – деталь

За допомогою дугоподібного електрода можна обробляти криволінійні отвори. У процесі вирізання в пластинах отворів складної конфігурації застосовують дровові електроди. Дрововий електрод, до якого підключений позитивний полюс, повільно переміщується по замкненому контуру. Деталь зі столом за встановленою програмою одержує необхідні переміщення відносно координат x і y .

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, закріплюють до негативного полюса.

У 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.

У процесі вирізання в пластинах отворів складної конфігурації застосовують дровові електроди. Дрововий електрод, до якого підключений позитивний полюс, повільно переміщується по замкненому контуру. Деталь зі столом за встановленою програмою одержує необхідні переміщення відносно координат x і y .

У процесі електроімпульсної обробки метал знімається імпульсним дуговим розрядом.

Процес здійснюється аналогічно до електроіскрової обробки, але за умов зворотної полярності. Цим методом обробляють фасонні порожнини сталевих штамів, прес-форми, форми для лиття, турбінні лопатки і т. д.

Електроіскрова й електроімпульсна обробки здійснюються на електроерозійних верстатах різного призначення: копіювально-прошивальних, вирізних, електроерозійних шліфувальних та ін. Найбільшого поширення набули копіювально-прошивальні верстати.

Електроконтактна обробка. Електроконтактна обробка заснована на руйнуванні металу внаслідок електротермічних процесів, що сполучаються з механічним видаленням продуктів, які утворюються.

Проходячи через місце контакту інструмента й заготовки електричний струм розігріває, розм'якшує і плавить метал, полегшуючи його видалення з виробу (заготовки). Щоб уникнути плавлення інструмента, його швидко обертають або штучно охолоджують. Електроконтактну обробку застосовують для видалення металу (різання, прошивання, шліфування, заточення), згладжування гребінців нерівностей і віброконтактних наплавлень. Принципова схема електроконтактної обробки показана на рис. 7.132.

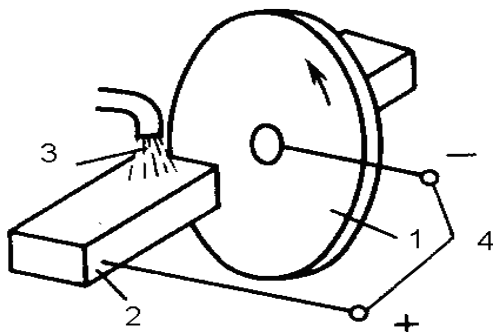


Рис. 7.132. Принципова схема електроконтактної обробки

Як інструмент застосовують диски, роликівий або чашковий інструмент (сталевий, чавунний, латунний і под.).

Продуктивність методу досить висока: під час чорнової обробки – $(0,5 - 3) \cdot 10^6$ мм³/хв; під час точіння 1 000 – 10 000 мм³/хв.

Ультразвукова обробка застосовується для формоутворення складних поверхонь (отворів будь-якої форми,

порожнин, щілин і под.) у заготовках із твердих і крихких матеріалів (загартованої сталі, твердого сплаву, скла, алмазів тощо).

Метод заснований на використанні ультразвукових коливань інструмента, здійснюваних за допомогою магніострикційних вібраторів.

Магніострикційний ефект заснований на здатності деяких металів змінювати свої геометричні розміри в магнітному полі. Такими властивостями володіє нікель. Магніострикційні вібратори дозволяють одержати частоти коливань близько 20 – 30 кГц. Іноді потрібно одержати коливання з частотами близько 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.

За наявності ультразвукових коливань у рідких середовищах виникає кавітація – утворення в рідині невеликих кавітаційних пухирців.

Якщо в зону обробки безперервно подавати абразивну суспензію з дрібних часток алмазного пилю, карбїду бору чи карбїду кремнію, то під впливом високочастотних коливань інструмента магнітостриктора 3 (рис. 7.133) абразивні зерна з великою швидкістю будуть ударятися об поверхню, яка обробляється, руйнуючи її.

Під час резонансу 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 – 0,1мм. Для досягнення цієї мети застосовують підсилювачі коливань.

Конічний стрижень (концентратор) 3 виготовляють з високоміцного металу, що має високі антифрикційні властивостями і стійкість проти спрацьовування від руйнівного впливу абразиву. Продуктивність процесу обробки залежить від властивостей оброблюваного матеріалу, амплітуди й 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, карбїду вольфраму і молібдену, скла, графіту, кераміки і под. 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. Таким чином, розрізняють ультразвукову обробку вільно спрямованим абразивом і розмірну.

Як абразивний матеріал застосовують карбїди бору, кремнію, алмазні порошки та ін. Інструменти виготовляють із конструкційних і мало легваних сталей залежно від виду обробки (розрізання, свердління глибоких отворів, шліфування, гравіювання і под.), розмірів оброблюваної площі, твердості оброблюваної заготовки й потужності ультразвукового перетворювача.

Ультразвукову обробку виконують на вітчизняних ультразвукових верстатах, зі встановленими магнітострикційними перетворювачами (рис. 7.133). Відомі також верстати з п`єзокерамічними перетворювачами.

Продуктивність, точність розмірної обробки ультразвуком і шорсткість поверхні після її залежать від властивостей матеріалу (твердості й крихкості), розмірів оброблюваних поверхонь. Продуктивність під час обробки твердих сплавів досягає 40 – 80 мм³/хв. Відхилення діаметра наскрізних отворів, як правило, становить 0,01 – 0,02 мм.

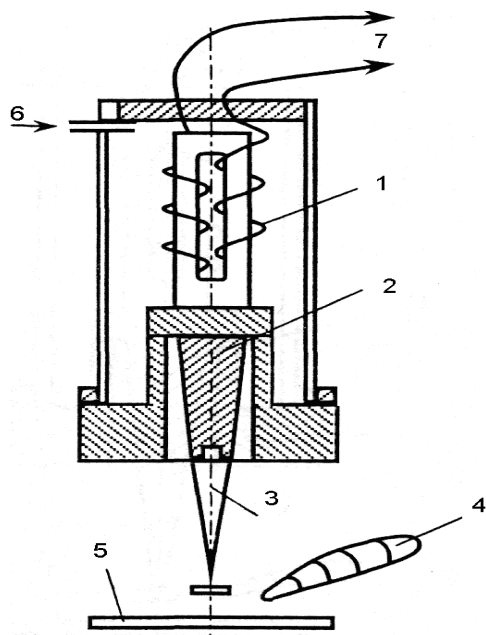


Рис. 7.133. **Схема
ультразвукової обробки**

Умовні позначення: 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

високопродуктивний, що дозволяє застосовувати його в потоковому безперервному виробництві.

Нанесення покриттів напилюванням виконують для захисту поверхонь деталей, призначених для роботи в особливих умовах (високі температури, агресивні середовища, інтенсивний вигин). Покривають деталі тугоплавкими металами, карбідами та ін.

Плазмову обробку застосовують також для одержання порошків металів, використовуваних у порошковій металургії. Точність плазмової обробки й шорсткість поверхні залежать від багатьох факторів і ще недостатньо вивчені.

Лазерна обробка. Останнім часом набула поширення лазерна технологія. Лазерна технологія – обробка й зварювання матеріалів випромінюванням лазерів. Лазер – джерело електромагнітного випромінювання атомів і молекул видимого, інфрачервоного й ультрафіолетового діапазонів. Потужні лазери дозволяють робити різання, свердління, загартування і зварювання різних матеріалів без

На практиці ультразвук широко використовують для очищення деталей від жирових і механічних забруднень, продуктів корозії, лакофарбових покриттів і под.

Плазмова обробка – це обробка матеріалів низькотемпературною плазмою, яка генерується дуговими або височастотними плазмотронами. Плазма – частково або повністю іонізований газ, у якому щільність позитивних і негативних зарядів практично однакові.

У процесі плазмової обробки змінюються форма, розміри, структура оброблюваного матеріалу або стан його поверхні. Плазмова обробка набула широкого застосування під час різання заготовок, нанесення покриттів, наплавлення і зварювання. Різання здійснюється стислою плазмовою дугою, що горить між анодом (заготовка) і катодом (плазмовий пальник). Процес

виникнення в них механічних напруг, неминучих за звичайної обробки. Обробляються заготовки з матеріалів будь-якої твердості, металів, алмазів, рубінів та ін. з великою точністю.

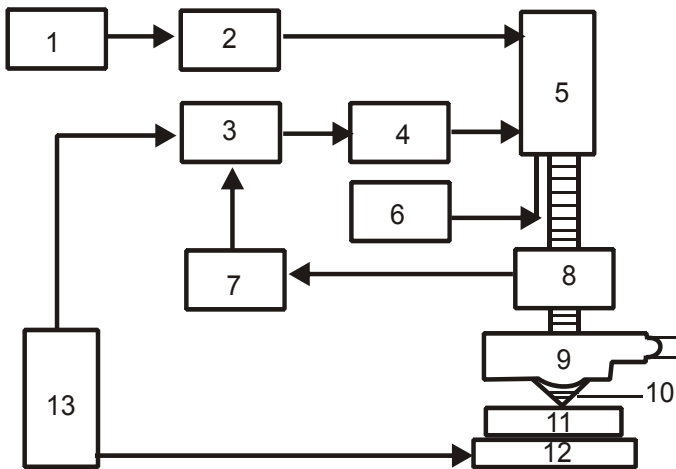


Рис. 7.134. Типова структурна схема лазерної установки із твердотільним лазером

Умовні позначення: 1 – зарядний пристрій; 2 – ємнісний накопичувач; 3 – система керування; 4 – блок підпалу; 5 – лазерна головка; 6 – система охолодження; 7 – система стабілізації енергії випромінювання; 8 – датчик енергії випромінювання; 9 – оптична система; 10 – сфальцьований промінь лазера; 11 – оброблювана заготовка; 12 – координатний стіл; 13 – система програмного керування

лазером наведена на рис 7.134. У процесі лазерного різання ширина перетину звичайно становить 0,3 – 1 мм, товщина матеріалу, що розрізається – 10 – 20 мм. Швидкість різання залежить від товщини і властивостей оброблюваного матеріалу й становить 0,5 – 10 м/хв.

Електронно-променева обробка. Цей метод заснований на використанні теплової енергії, що виділяється під час зіткнення великої кількості електронів з оброблюваним матеріалом. Електронно-променевою обробку застосовують для виготовлення деталей із твердих сплавів, алмазів, титана й інших важкооброблюваних матеріалів. Цим методом виконують прошивання отворів, різання, зварювання і под. Продуктивність прошивання невисока: на чорнових режимах – 20 мм³/хв, на чистових – 1 мм³/хв, точність обробки 5 – 20 мкм, параметр шорсткості поверхні $R_a = 3,2 \dots 0,8$ мкм.

Для технологічних цілей застосовують твердотільні й газові лазери, які можуть працювати як у безперервному, так і в імпульсному режимах. Основними характеристиками лазерного випромінювання є потужність випромінювання (Вт), довжина хвилі (0,4 – 10,6 мкм), тривалість (мс) і форма імпульсів, розходження пучка.

Лазерний промінь застосовують для прошивання отворів діаметром від декількох мікрометрів до десятків міліметрів і глибиною до 15 мм. Продуктивність лазерних установок досить висока: 60 – 240 отворів за 1 хв. Типова структурна схема лазерної установки із твердотільним

Недоліки цієї обробки наступні: необхідність захисту від рентгенівського випромінювання; відносно висока вартість і складність устаткування (установок); застосування глибокого вакууму.

Електрохімічні методи обробки. Найбільш широкого розповсюдження набули розмірна обробка, полірування і нанесення покриттів.

Електрохімічна розмірна обробка заснована на явищі анодного розчинення металу під час проходження електричного струму через електроліт. Електроліти – це речовини, які володіють іонною провідністю. За електрохімічної обробки в якості електроліту застосовують водяні розчини солей, кислот, основ (лугів). Анодне розчинення супроводжується утворенням на оброблюваній поверхні пасивувальної плівки (гідрату окису металу). Ця плівка через недостатню провідність струму сповільнює перебіг процесу, а в ряді випадків повністю припиняє електрохімічне розчинення металу. Для нормального перебігу анодного розчинення пасивувальну плівку необхідно видаляти.

У процесі алмазного хонінгування й полірування продукти обробки видаляються з поверхні механічним шляхом – абразивними зернами. За електрохімічної розмірної обробки 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. Під час проходження електричного струму ланцюгом катод (інструмент) – анод (заготовка), останній під дією струму розчиняється, набуваючи форми електрода-інструмента. Продукти анодного розчинення безперервно видаляються з поверхні анода-заготовки потоком електроліту, що прокачується, й осідають у бакові у вигляді шламу. Електроди-інструменти за електрохімічної обробки практично не спрацьовуються, зберігаючи свою первинну форму і слугують струмопровідними елементами. Залежно 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 проходження 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. У процесі вибору 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 урахуванням цих вимог рекомендується застосовувати для сталей водяні розчини повареної солі NaCl, для титанових сплавів – розчин азотнокислого натрію NaNO_3 , для жароміцних сталей – розчин сірчанокислого натрію NaSO_4 . Концентрація розчинів коливається від 10 до 15% (найкраща – 8 – 12%), щільність струму – 20 – 30 A/cm^2 , швидкість проходження електроліту – 20 – 30 м/с, температура електроліту – 20 – 30°C.

Пропорційно до величини зазору змінюється шар знімання металу на окремих ділянках заготовки, наприклад, профілю пера оброблюваних лопаток. Чим більший зазор, тим менший шар знімання металу і навпаки. Отже, на виступах профілю пера лопатки знімання металу буде здійснюватися 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. Під час пропускання газованого електроліту через міжелектродний зазор повітряні пухирці будуть концентруватися в зонах, які мають максимальний зазор, тобто в зонах із мінімальним опором. За цих умов концентрація повітря в електроліті буде нерівномірною.

У зонах зі збільшеною концентрацією повітря процес електрохімічного розчинення буде сповільнюватися, і навпаки, в зонах із мінімальним міжелектродним зазором (на виступах) знімання металу буде відбуватися 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. 7.135 наведена 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 E1 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 $200 - 300 \text{ A/дм}^2$ практично дуже складно. Тому обробку великогабаритних деталей здійснюють за принципом біжучої хвилі, що рухається електричним полем. З цією метою електроди виготовляються у вигляді окремих секцій, ізольованих одна від одної. На кожну секцію подаються короточасні імпульси за рахунок вибіркової комутації. У першу чергу підключаються ті секції, які мають мінімальний міжелектродний зазор.

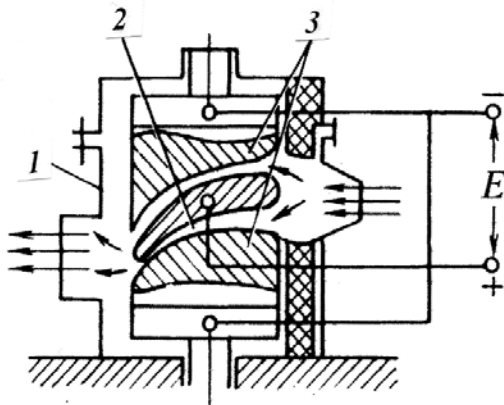


Рис. 7.135. Схема електрохімічної обробки пера лопатки ГТД

Умовні позначення: 1 – робоча камера; 2 – деталь; 3 – електрод-інструмент

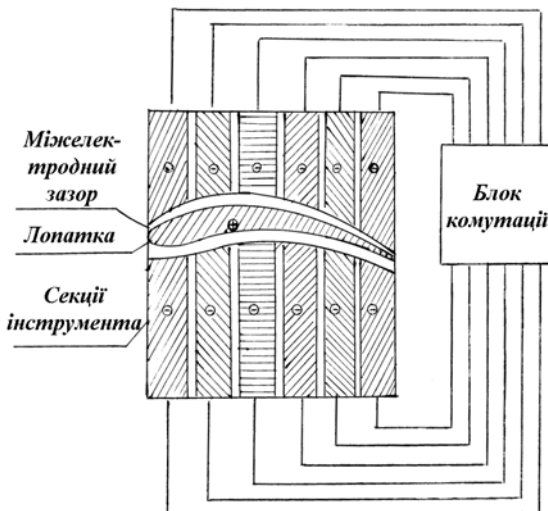


Рис. 7.136. Електрохімічна обробка великогабаритних лопаток секційними електродами

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.

Таким чином, широко освоєним різновидом електрохімічної обробки є розмірна обробка в проточному електроліті. Формоутворенню поверхонь піддаються досить складні поверхні лопаток, штампів, прес-

форм та ін. Наприклад, за даними Горьківського автозаводу, продуктивність обробки кувальних штампів (для штампування шатунів), качання хрестовин становить 4,2 – 8,3 кол./хв. Час обробки – 13 – 30 хв.

Електрохімічну обробку отворів здійснюють порожніми електродами шляхом зовнішнього або внутрішнього підведення електроліту.

Електрохімічне полірування. Обробка заснована на тому, що під дією електричного струму в електроліті відбувається розчинення поверхні заготовки-анода. Розчинення відбувається по всій поверхні, однак виступні гребінці нерівностей розчиняються швидше. У результаті поверхня ніби вирівнюється й зменшується параметр шорсткості до $R_a = 0,2$ мкм.

У Харківському національному економічному університеті розроблена технологія електрохімічного полірування світловідбивних зовнішніх поверхонь трубчастих елементів із пружних стрічок. Розроблено конструкції і виготовлено дослідні зразки технологічного оснащення (рис. 7.137, рис. 7.138). Технологія забезпечує високі оптичні показники оброблених поверхонь.

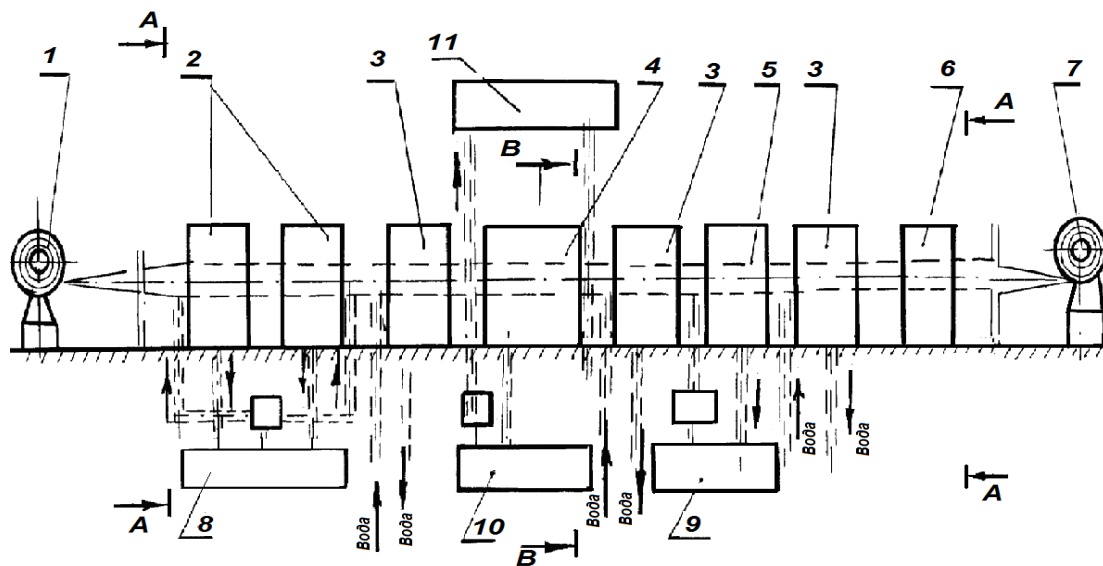


Рис. 7.137. Схема установки для електрохімічного полірування трубчастих елементів зі стрічок

Умовні позначення: 1 – розмотувач; 2 – ванни знежирення; 3 – ванна промивання; 4 – електролізер; 5 – ванна нейтралізації; 6 – сушка; 7 – намотувач; 8, 9, 10, 11 – ємності

Комбіновані методи. До цих методів відносяться електроерозійно-хімічна, ультразвукова й електрохімічна, абразивно-електрохімічна й інша обробка. Вони, як правило, поєднують у собі переваги електрофізичних і електрохімічних методів. Це сполучення дозволяє збільшувати продуктивність обробки до 20 разів, не знижуючи якості обробки. Існуючі електроерозійно-ультразвукові верстати дозволяють використати обидва методи як окремо, так і разом.

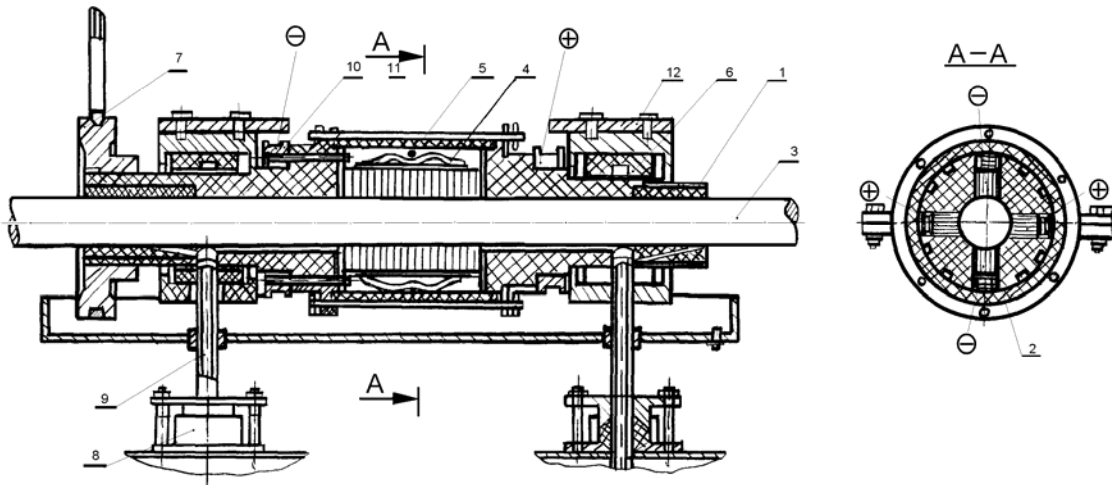


Рис. 7.138. Пристрій для електроконтактної обробки трубчастих заготовок (електролізер)

Умовні позначення: 1 – тампон; 2 – тримач тампонів; 3 – стрічка (заготовка); 4 – притиск; 5 – ізолятор; 6 – кільце підшипника; 7 – шків; 8 – ємність; 9 – трубка; 10 – струмознімач; 11 – шпилька; 12 – корпус підшипника

За абразивно-електрохімічної обробки інструментом-електродом є шліфувальний струмопровідний круг. Зазор між деталлю-анодом і шліфувальним кругом-катодом дорівнює висоті найбільш виступних зерен із зв'язки. У цей зазор подається електроліт. Продукти анодного розчинення матеріалу заготовки видаляються абразивними зернами, які виступають. Абразивно-електрохімічна обробка застосовується в процесі плоского і круглого шліфування твердих сплавів, швидкорізальних конструкційних і жароміцних сталей та сплавів, під час шліфування профільних пазів, шліцьових поверхонь, заточення різальних інструментів. Процес відбувається за умов значно меншої теплонапруженості порівняно зі звичайним шліфуванням.

Як різальний інструмент застосовуються абразивні й алмазні круги на струмопровідних зв'язках М1, М5, СЕШ-1, СЕШ-2, основними компонентами в яких є мідь, цинк, алюміній. За абразивно-електрохімічного шліфування 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 додаванням інгібіторів для надання їм антикорозійних властивостей. Як інгібітори використовують двохромовоокислий калій, бензойноокислий натрій, триетаноламін.

Абразивно-електрохімічне шліфування твердих сплавів здійснюється в наступних режимах: швидкість круга – 15 – 30 м/с, напруга – 15 – 20 В, щільність струму – 1 – 7 А/см², тиск – 15 – 20 МПа.

Анодно-механічна обробка. Анодно-механічна обробка здійснюється за допомогою постійного струму, що проходить через електроліт і занурені в нього електроди. При цьому відбувається розчинення поверхні анода заготовки й утворюється плівка, що знімається катодом (інструментом), який рухається. Операціями анодно-механічної обробки є розрізання, шліфування, заточування, профілювання на анодно-механічних верстатах. Інструменти – диски, стрічки, профільні “шаблони” та ін.

Анодно-механічний метод обробки здійснюється в результаті електрохімічного, теплового і механічного впливу на оброблювану деталь. Процес анодно-механічної обробки здійснюється в електроліті, склад якого залежить від марки оброблюваного матеріалу. Різальний 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 залежно 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 усі операції (чорнова, напівчистова, чистова) виконуються з одного встановлення, змінюється лише електричний режим шляхом ввімкнення додаткового опору. У табл. 7.2 наведені режими для заточення різців із твердого сплаву.

Таблиця 7.2

Режими заточення різців

Операція	Напруга, В	Сила струму, А	Опір ланцюга, Ом	Продуктивність, мм/хв
Чорнове шліфування	18 – 20	50 – 70	0,1 – 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 моделей 3623, 3E6249, 3672, інструмент є диском діаметром 150 – 200 мм з частотою обертання 1 250 – 1 440 об./хв. Продуктивність обробки залежить від її виду й застосовуваних інструментів: під час розрізання диском – 2 000 – 6 000 мм³/хв, стрічкою – 3 000 – 7 000 мм³/хв.

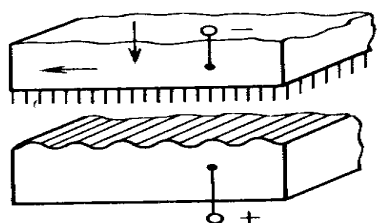


Рис. 7.139. **Схема анодно-механічного шліфування**

Схема анодно-механічного шліфування наведена на рис 7.139.

Технології виготовлення комплектуючих. Інтегральна схема – це електронний пристрій, який має високу щільність компонування елементів електричної схеми, в якій всі або частина елементів сформовані і взаємно з'єднані між собою на одному напівпровідниковому кристалі або елект-

ричній підкладці. Інтегральна схема становить багатоконпонентне тіло, яке утворене з шарових композицій на поверхні твердого тіла – напівпровідника.

Залежно від способу утворення пліткових компонентів мікросхеми поділяються на гібридні інтегральні схеми й напівпровідникові інтегральні схеми.

Гібридні інтегральні схеми – це мікромініатюрне обладнання, елементи якого тісно пов'язані конструктивно, технологічно й електрично на поверхні діелектричної скляної або керамічної підкладки. У цих схемах пасивні елементи (резистори, провідники, контактні площі, конденсатори діелектричні й ізоляційні шари) виготовляють за один технологічний цикл у вигляді металевих і діелектричних плівок на поверхні підкладок. Активні елементи (діоди, транзистори), а іноді, за необхідності, мікромініатюрні дискретні пасивні компоненти (конденсатори, котушки індуктивності) мон-тують на поверхні підкладки і з'єднують з іншими елементами.

Залежно від формування пасивних елементів гібридні схеми підрозділяють на тонко- і товстоплівкові.

Технологія виготовлення тонкопліткових схем полягає в послідовному нанесенні на загальну основу тонких (менше 1 – 2 мкм) пліткових провідників, контактів, резисторів, ізоляторів з формуванням мікрогеометрії елементів і їх з'єднань або шляхом їх осадження за допомогою трафаретів чи шляхом селективного локального травлення

суцільних шарів матеріалів. Послідовність технологічних операцій виготовлення тонкоплівкових інтегральних схем показана на рис. 7.140.

Технологія виготовлення товстоплівкових схем полягає в послідовному нанесенні крізь сітчані трафарети і випалення в керамічні підкладки паст резистивного, провідного і діелектричного призначення. Паста – суміш мілкодисперсного металічного порошку, скла й органічних рідин, які забезпечують в'язкість суміші. Метал (срібло, золото, платина, паладій і їх сплави) забезпечує формування провідних або резистивних (з благородних металів і їх сполук з оксидами) шляхів. Пасту для ізоляційних шарів роблять із суміші органічних рідин і скла.

Сітчані трафарети мають дуже малі ячейки (до 50 мкм). Пасту наносять ракелем. Спочатку наносять провідну пасту для спорудження з'єднувальних порошоків, обкладинок конденсаторів, контактних ділянок.



Рис. 7.140. Послідовність операцій виготовлення тонкоплівкових інтегральних схем

Пасту сушать, а потім випалюють за температури 750 – 950°C. Потім через другий трафарет наносять резистивну пасту, яка випалюється за нижчої температури. Таким же чином наносять діелектричну пасту для формування діелектричного шару в товстоплівкових конденсаторах і в місцях перетину провідників. Після формування топології послідовність інших технологічних операцій аналогічна до процесів виготовлення тонкоплівкових схем.

Напівпровідникові інтегральні схеми виготовляють шляхом цілеспрямованої локальної зміни властивостей матеріалу напівпровідникової підкладки легованою сумішшю.

Додавання домішок у заздалегідь позначених місцях і кількостях сприяє зміні провідних характеристик матеріалу кладки з напівпровідників кремнію і германію в дуже великому діапазоні – практично від провідника до ізолятора. Ці властивості використовують для одержання кристалю як активних, так і пасивних елементів. Зміна властивостей має місце тільки в невеликому шарі кристалю, який дорівнює декільком мікрометрам і називається “р-п”-перехід, де з’єднуються дві зони з різною провідністю – отворовою і електронною, що потребує пояснення.

Кремній і германій мають на зовнішній електронній орбіті чотири електрони, і їх валентність дорівнює чотирьом. Атом має більш стійке становище, якщо на його зовнішній орбіті знаходяться вісім електронів. За низьких температур у кристалі напівпровідника всі електрони пов’язані з атомами (перехідних електронів нема) і кристаль є ізолятором. Із підвищенням температури напівпровідника деякі електрони відокремлюються від атомів, стають рухомими і можуть утворювати електричний струм в кристалі, якщо до нього підвести напругу. У разі відділення електрона з атома в орбіті атома з’являється вільне місце – отвір. Вільні електрони і отвори хаотично переміщуються по кристалю. Вмикання такого кристалю в електричну мережу приводить до впорядкування руху електронів від негативного до позитивного полюсу. У випадку зустрічі вільного електрона з отвором вони рекомбінують, і їх рух зникає. Це називають власною провідністю напівпровідника.

Якщо до кристалю кремнію або германію ввести якусь кількість алюмінію, то провідність кристалю стає отворовою, і його називають напівпровідником р-типу, а в разі введення миш’яку – п-типу. У кристалі можна одночасно зробити дві зони “р і п”-типу, а межу між ними називають “р-п”-перехід, який виконує функції діода. Застосовуючи різні

комбінації “р-п”-переходів, одержують транзистори, резистори та інше. Сполучення будь-яких елементів може дати потрібну схему, яка є в одному кристалі напівпровідного матеріалу і є монолітною твердотільною структурою.

Суть епітаксіально-планарної технології створення напівпровідних інтегральних схем полягає в окисненні монокристалічної пластини, після чого виконують локальне травлення оксиду шару і крізь утворені вікна виконують легування напівпровідника. При цьому легувальні домішки дифундують в підставку з газового середовища за високої температури. Наступним окисненням вікна знову закривають. Повторюючи такі операції, можна утворити різні схемні елементи: діоди, транзистори, елементи опору і ємності. На одній пластині монокристала напівпровідника діаметром 100 мм формують одночасно по декілька тисяч інтегральних схем.

Наступні операції пов'язані з одержанням вакуумним запиленням або фотолітографією металевих провідників, які з'єднують елементи схеми; контактних ділянок; відбракування пластин за розмірами окремих схем; монтування інтегральних схем корпуса і з'єднання контактних ділянок з виведенням корпуса і герметизація.

Товстоплівкова технологія більше використовується для одержання елементів схем лічильно-програмного управління і ЕВМ, мікропроцесорів, електронних годинників, облікових машин.

Тонкоплівкову технологію використовують у виробництві прецизійних схем у зв'язку з більшою точністю і стабільністю елементів схем.

Технологія виготовлення друкованих плат. Мініатюризація і мікромініатюризація електронної апаратури, підвищення її надійності привели до широкого виробництва друкованих плат.

Електричні провідники друкованої плати – це металічні стрічки, міцно причеплені до поверхні гнучкої або постійної ізоляційної основи, яка слугує для електричного з'єднання деталей і збірних одиниць, розташованих на ізоляційній платі.

Для виготовлення друкованих плат використовують субстантивні й адитивні схеми технологічних процесів.

До субстантивних відносять ті, за допомогою яких структура монтажу друкованих плат виготовляється на заздалегідь металізованих діелектричних основах шляхом витравлення непотрібних ділянок металічного покриття.

Адитивні й напівадитивні процеси базуються на нарощуванні на певних ділянках діелектричної основи металічного покриття. Вони мають

можливість досягнення високої щільності монтажу, у зв'язку з чим усе більше розповсюджуються.

Для виготовлення друкованих плат використовують: фольгувальні гетинакси, фольгувальні склопластики; фольгувальні діелектрики на основі тканин із синтетичних волокон і тканин. Останнім часом у процесі виробництва гібридних інтегральних мікросхем і мікроскладань, а також плат невеликих розмірів (діаметром до 30 мм) почали використовувати поліамідну плівку, металізацію якої адитивним методом можна виконувати напилюванням у вакуумі.

Найбільш прогресивними технологічними методами виготовлення друкованих плат вважають; комбінований негативний метод (рис. 7.141)

Виготовлення сітчастого трафарета

Виготовлення фотошаблону

Виготовлення заготовок з базовими отворами

Нанесення фарбою рисунка схеми через трафарет



Травлення рисунка і зняття фарби



Нанесення лаку



Свердління отворів



Хімічне мідніння і зняття лаку



Гальванічне мідніння



Нанесення сплаву Розе



Свердління отворів



Хімічне мідніння отвор



Гальванічне мідніння



Формування рисунка у фоторезисторі



Травлення рисунка



Зняття фоторезистор



для виготовлення відносно простих плат, комбінований позитивний метод (рис. 7.142) із заздалегідь просвердленими отворами й напівадитивний метод. Усі методи мають однозначні загальні операції: виготовлення фотошаблонів, свердління отворів, обрізання контурів. Фотошаблони для друкованих плат виготовляють так, як і для інтегральних схем.

Перспективним способом виготовлення фотошаблонів вважають пряме засвічування фотоплівки чи фотопластинки, скануючи світловим променем за допомогою автоматичного фотокоординатора. Цей метод дозволяє одержати лінії мінімальної ширини (0,05 мм) і виконувати елементи рисунка з діаметром до 8 мм, а також автоматично вибирати символи, рисунок провідників і контролювати освітлення.

Рис. 7.141. Комбінований негативний метод

Рисунок схеми можна наносити на заготовку комбінованим негативним або позитивним способом.

Негативний метод має дві модифікації – з нанесенням захисного рельєфу крізь сітчані трафарети (сіткографія) і з використанням як захисного рельєфу фотополімерних композицій (фотографія).

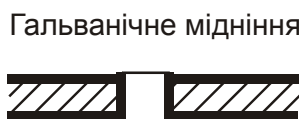
Виготовлення друкарських плат

Виготовлення фотошаблону

Виготовлення заготовок з базовими отворами



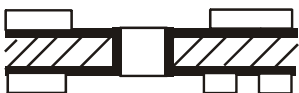
Хімічне мідніння стін отворів



Нанесення захисного рисунка



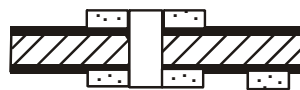
Остаточне гальванічне мідніння



Гальванічне нанесення металорезиста



Зняття фоторезиста



Травлення міді



Рис. 7.142. Комбінований позитивний метод

Сітчаний трафарет виготовляють з бронзи або з нержавіючої сталі, як і трафарети для виготовлення гібридних інтегральних схем. Рисунок схеми одержують шляхом протягнення фарб крізь пробільні місця в сітчаному трафареті. Після сушіння фарб виконують травлення міді в пробільних місцях за допомогою розчину хлориду заліза. Потім із мідних провідників фарбу змивають і наносять захисний лак. Ці операції потрібні для того, щоб у процесі наступного свердління дірок контактні ділянки не відокремлювались, а під час операцій хімічного і гальванічного міднення отворів мідь не осідала на поверхні друкованої плати.

Свердління отворів – найбільш складна і відповідальна операція, яка виконується твердо-сплавними свердлами на станках з програмним управлінням.

Хімічне і гальванічне мідніння виконують із метою нанесення на стінках отворів провідного шару міді. Гальванічне мідніння дає шар міді в отворах товщиною 20 – 25 мкм.

Комбінований позитивний метод з передчасною металізацією отворів об'єднує наступні технологічні операції: передчасну гальванічну металізацію поверхні отворів з нанесенням шару міді товщиною 5 – 7 мкм: кінцеве гальванічне мідніння, гальванічне нанесення металевого резиста – шару металу спеціального складу, який захищає провідник від травлення, нанесення паладію. Цей метод дозволяє одержувати більш чіткі, нерозмиті кінці провідників, більш високу місткість монтажу, але його трудомісткість на 40 – 50% вища від негативного методу.

Багатошарові друковані плати – це склеєний пакет з односторонніх або двосторонніх друкованих плат, розділених між собою ізоляційною прокладкою із склотканини. Комутація між окремими шарами виконується металізацією прохідних отворів. Виконання рисунка окремих шарів відбувається за технологією виготовлення односторонніх друкованих плат. Потім з окремих шарів та ізоляційних прокладок склотканини, пропитаної клеєм, збирають пакет і стискають за температури 170°C.

Після стискання в пакеті розсвердлюють отвори, які потрібні для монтування елементів і виконання комутації між окремими шарами. Потім виконують металізацію прохідних отворів, яка здійснюється так само, як і під час виготовлення двосторонніх друкованих плат.

Використання багатошарових друкованих плат дозволяє збільшити місткість монтажу елементів.

Друковані плати з багатопровідним монтажем становлять уніфіковану заготовку двосторонніх друкованих плат з контактними ділянками, металізованими отворами, шинами живлення і землі. Підключення провідників до контактних ділянок виконують паянням провідника.

Існує два види провідного монтажу: мультвайре і стібковий.

У процесі мультвайру з'єднання окремих контактних ділянок виконують у прямокутних координатах: проводом в клейовій композиції, яка покриває плату. У потрібних місцях свердлять отвори так, щоб торець проводу точно відповідав початку отвору. Потім торець проводу і отвір піддають хімічному і гальванічному міднінню для наступного паяння під час монтажу елементів.

Стібковий метод базується на розміщенні проводу на найкоротшій відстані, прокладенні його крізь перехідний отвір, виконанні петлі (стібки) і паянні петлі до контактної ділянки. Метод використовують для монтажу елементів з планерними виводами. Різноманітність стібкового методу полягає в комутації елементів з штирьовими виводами.

7.4.3. Технологічні операції складання

Характеристика складальних процесів. Складання – утворення з'єднань складових частин виробу. З'єднання може бути рознімним або нерознімним. До видів з'єднань відносять: запресовування, різьбові, зварювання, паяння, клепання, клеювання тощо.

Залежно від обсягу складання підрозділяють на загальне, об'єктом якого є виріб у цілому, і вузлове, об'єктом якого є складова частина виробу, тобто складальна одиниця.

За стадіями розрізняють наступні види складання:

попереднє складання – розбирання з метою визначення розміру компенсатора;

проміжне – для спільної подальшої обробки складальної одиниці (наприклад, корпус і зібрана з ним кришка розточуються спільно під розмір діаметра підшипника);

під зварювання (може вводитися як складальна операція в потоковій лінії);

остаточне складання, після якого розбирання не передбачене.

Залежно від методу утворення з'єднань існують наступні види складання: слюсарне – слюсарно-складальні операції; монтаж – встановлення виробу або його складових частин на місці використання; електромонтаж – монтаж виробів, що мають струмовідні елементи; зварювання, паяння, клепання, клеювання.

Складання є заключним етапом виготовлення машини. Висока якість машини визначається не тільки вдалою конструкцією, застосуванням високоякісних матеріалів, виготовленням деталей високої якості та точності, але й залежить від проведення всіх етапів складання машини, тому що з різних причин можуть виникнути похибки взаємного розташування деталей. Цими причинами можуть бути:

помилка (робітника) орієнтування й фіксації встановленого положення деталей, що збираються (недостатня щільність з'єднань, зрушення, порушення правильного затягування і т. ін.);

похибка встановлення калібрів і вимірювальних приладів, застосовуваних під час складання (похибки регулювання, пригону й похибки самого вимірювача);

відносні зрушення деталей між установленням і фіксацією деталі; утворення задирок на поверхнях, що з'єднуються;

пружні й пластичні деформації деталей, що з'єднуються, під час їхнього встановлення й фіксації, що порушують їхню точність і щільність з'єднань, а це позначається на довговічності складальних одиниць (наприклад, за сили попереднього затягування болта 6320 Н середня довговічність – 5960 циклів, за сили 37500 Н – 5108 циклів).

Залежно від типу виробництва витрати часу на складання від загальної трудомісткості виготовлення машин становлять у масовому й багатосерійному – 20 – 30%; у серійному – 25 – 35%; в одиничному й дрібносерійному виробництві – 35 – 40%.

Організаційні форми складання і їх характеристика. Залежно від організації виробництва, його умов і типу складання може мати різні форми (рис. 7.143). За переміщенням виробу складання підрозділяють на стаціонарне й рухоме, а за організації виробництва – на непотокове й потокове. Стаціонарне складання може бути здійснене за принципом концентрації (без розчленування) і за принципом диференціації (з розчленуванням) складальних робіт.

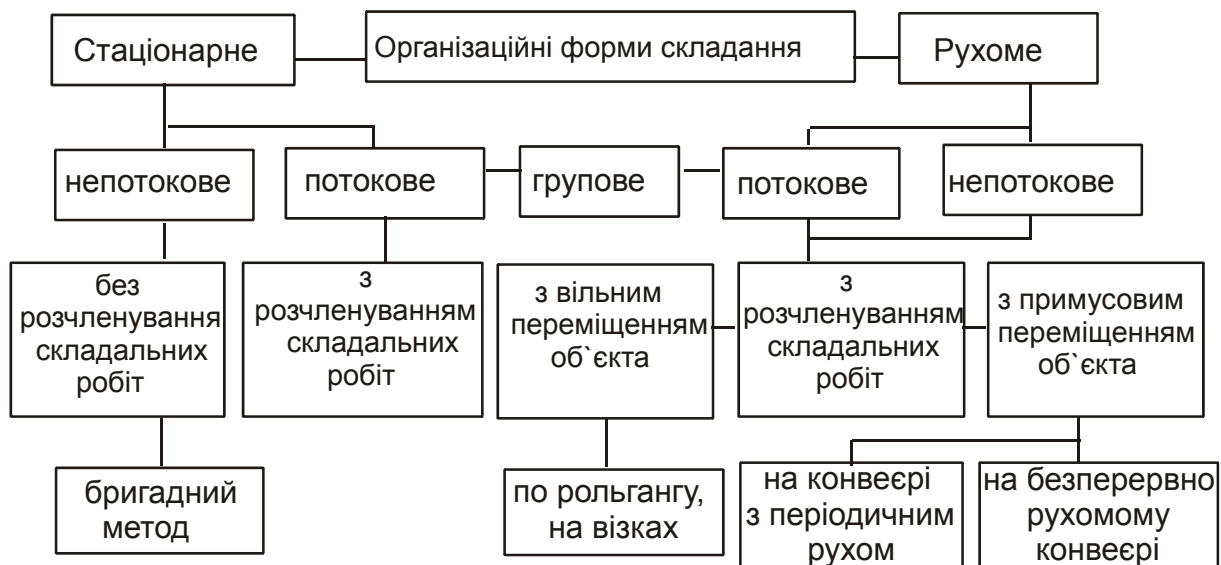


Рис. 7.143. Організаційні форми складання

Непотокове (без розчленування) стаціонарне складання повністю виконується на одному робочому місці (стенді, верстаті, пристосуванні і под.), на яке надходять всі складальні одиниці й деталі, що входять у виріб. Найчастіше таке складання здійснюється бригадним методом, тобто робітниками-збирачами, які спеціалізуються на роботах суміжних операцій і виконують складання послідовно від початку до кінця. Цей метод має дві основні переваги. По-перше, при складанні

великогабаритних виробів досягається висока точність збирання завдяки незмінному положенню базової деталі. По-друге, таке складання спрощує технічну підготовку виробництва (її вартість, скорочення строків), тому що задіюються при цьому універсальні транспортні засоби й технологічне оснащення. До недоліків можна віднести: тривалість загального циклу складання, виконуваного послідовно; потреба у висококваліфікованих робітниках; застосування громіздких складально-монтажних стендів, великих приміщень складальних цехів. Стаціонарне непотокове складання за принципом концентрації складальних робіт знаходить застосування в одиничному й дрібносерійному виробництві важкого й енергетичного машинобудування, у ремонтних цехах (зборка великих виробів, прокатних станів, турбін і под.).

У випадку стаціонарного непотокового складання з розчленуванням робіт на вузлову і агрегатну (принцип диференціації) роботи зі збирання кожної складальної одиниці (агрегатів) і загальне збирання виконуються одночасно декількома бригадами робітників. Виріб, що збирається, залишається на одному стенді нерухомо. Застосування такого складання можливе для технологічних конструкцій виробу, спроектованих з дотриманням принципу агрегування, і сприяє кращій організації праці робітників-збирачів, скороченню циклу складання, більш раціональному використанню приміщень і обладнання складальних цехів, в остаточному підсумку, знижує трудомісткість і собівартість. Економічно виправданим може бути застосування даного виду складання в умовах серійного виробництва середніх і великих виробів.

Розчленування складання на вузлове й загальне має ряд переваг перед складанням без розчленування: скорочуються тривалість циклу складання, трудомісткість і в підсумку знижується собівартість.

Рухоме – як потокове, так і непотокове складання – реалізується за умови послідовного переміщення об'єкта від однієї до іншої позиції складання й можливе тільки на основі розчленування складальних робіт. Непотокове рухоме складання з розчленуванням організовується так, що робітники, виконуючи окремі операції складання, перебувають на своїх робочих місцях, а збирають виріб, що послідовно переміщується від одного робочого місця до іншого.

Потокове складання також може бути організоване з вільним або примусовим ритмом. У першому випадку об'єкт на сусідню позицію

(операцію) подається в міру виконання операції, у другому – безперервно або періодично рухомим конвеєром, за допомогою лотків, сковзал, рольгангів, візків і под. На конвеєрах з періодичним рухом операції виконуються під час їхньої зупинки, а на конвеєрах, що безупинно рухаються, – під час руху. Технологічний процес складання при цьому розбивається на окремі операції, виконувані одним робітником або невеликою кількістю робітників.

Непотокове рухоме складання з вільним переміщенням об'єкта, що збирається, полягає в тому, що робітник, закінчивши виконання своєї операції, переміщує об'єкт на наступну позицію використовуючи при цьому засоби механізації (або вручну). Складання із примусовим переміщенням об'єкта, що збирається, полягає в тому, що об'єкт складання переміщується за допомогою конвеєра або візків. При цьому складання може здійснюватися поза конвеєром. Непотокове рухоме складання може застосовуватися під час підготовки до серійного випуску виробів. Потоківне складання характеризується тим, що в ході побудови технологічного процесу складання складальні операції виконуються відповідно до такту або за проміжок часу, кратний такту. Такт (t_p) – це інтервал часу, через який періодично виконується складання (випуск) виробу:

$$t_p = \frac{60 \cdot \Phi}{N},$$

де Φ – річний фонд робочого часу, у годинах;

N – річна виробнича програма в штуках.

Величина, зворотна такту, називається ритмом (це кількість виробів, що збираються за одиницю часу)

У разі переміщення виробу, що збирається, вручну швидкість переміщення вважають таким, що дорівнює 10 – 15 м/хв, по рольгангу або візку – до 20 м/хв, для безперервно діючого конвеєра – 0,25 – 3,5 м/хв. Загальна тривалість потокового складання: $T_n = t_p \cdot i$, де t_p – такт складання; i – кількість робочих місць на потоковій лінії. Потоківне складання скорочує тривалість виробничого циклу, зменшує міжопераційні заділи деталей, підвищує спеціалізацію збирачів і можливості механізації та автоматизації складальних операцій, що приводить до зниження трудомісткості складання на 35 – 50% [20; 36].

У випадку складання великих і громіздких, незручних для транспортування виробів доцільним є стаціонарне потокове складання. За такого виду складання всі вироби, що збираються, розташовуються на робочих місцях протягом усього процесу зборки. Через періоди часу, рівні такту, робітники (або бригади) одночасно переходять від одного об'єкта до наступного. Кожний робітник (або бригада) виконує на кожному робочому місці певну (закріплену) операцію. Перевагою стаціонарного потокового складання є рівномірний випуск продукції, обумовлений встановленим тактом, а також менш тривалий цикл складання, висока продуктивність, високий показник знімання продукції з 1 м² виробничої площі. Таке складання застосовується в серійному виробництві літаків, важких вантажних автомобілів, важких верстатів і под.

Потокове складання скорочує тривалість продуктивного циклу, підвищує спеціалізацію збирачів, сприяє застосуванню механізації й автоматизації, знижує трудомісткість складання. Рентабельним може бути потокове складання при обсязі випуску виробів у багатосерійному і масовому виробництві.

До вибору типу й організаційної форми складання варто підходити з точки зору економічної ефективності, враховувати не тільки програму випуску, але й конструктивно-технологічні особливості та призначення виробу.

Устаткування складальних цехів. Устаткування складальних цехів умовно можна розділити на дві групи: технологічне, призначене безпосередньо для виконання робіт зі здійснення різних сполучень деталей, їхнього регулювання й контролю в процесі вузлого й загального складання; допоміжне – для механізації допоміжних робіт, обсяг яких під час складання досить великий. Питома вага допоміжних робіт у загальній трудомісткості складання в серійному виробництві становить 30 – 40% і в масовому – 10 – 15%.

До технологічного устаткування в процесі складання нерухомих рознімних з'єднань відносять одно- й багатошпindelні стаціонарні установки для нагвинчування гайок і затягування їх на болтах, шпильках тощо. Складання нерухомих нерознімних з'єднань здійснюють механічно, а також шляхом термічного впливу.

Під час складання нерухомих нерознімних з'єднань із нагріванням охоплюваних деталей застосовують електropечі для нагрівання дрібних деталей у масляній ванні, індукційні печі й інші нагрівальні пристосування.

Складання нерознімних з'єднань із охолодженням охопленої деталі також здійснюють на спеціальному устаткуванні, для чого застосовують установки для охолодження деталей зрідженим газом (киснем, азотом), твердою вуглекислою тощо. Міцність з'єднань, зібраних з охолодженням охопленої деталі, за інших рівних умов у 2 – 2,5 рази вища від їхньої міцності після звичайного запресовування й на 10 – 15% вища, ніж під час нагрівання охоплованих деталей.

Звичайне запресовування виконують на універсальному й спеціальному складальному пресах.

Допоміжне устаткування включає транспортне, піднімальне, встановлювальне й інше устаткування. Основні види підйомно-транспортних засобів, застосовуваних у складальному виробництві, наведені на рис. 7.144.



Рис. 7.144. Підйомно-транспортні засоби для складальних операцій

Транспортні засоби призначені, головним чином, для рухомого складання. Найпоширенішими транспортними засобами є рольганги й конвеєри.

Важливим допоміжним елементом складальної операції є необхідне в багатьох випадках переміщення складальної одиниці у вертикальному напрямі або поворот її в зручне для збирача положення. Як засоби механізації для цих цілей застосовують підйомники, що дає економію витрат часу на складання, підвищує продуктивність і полегшує працю збирача. Це електроталі, поліспастові пневматичні підйомники, поршневі, а також різноманітні спеціальні підйомники (консольні поворотні крани, підйомно-рознімні драбини тощо).

Вихідні дані для розробки технологічних процесів складання. Технологічний процес складання є частиною виробничого процесу – це процес, що містить дії зі встановлення й утворення з'єднань складових частин виробу (ДСТ 23887-79). Основним елементом технологічного процесу є складальна операція.

Складальна операція – це технологічна операція встановлення й утворення з'єднань складових частин заготовок або виробів. Складальна операція складається з технологічних переходів.

Технологічні схеми складання. Технологічні схеми складання розробляються для визначення послідовності й змісту складальних операцій. Виріб залежно від його конструктивних і функціональних особливостей, а також від умов конкретного виробництва розчленовують на деталі й складальні одиниці. При цьому можуть бути корисними наступні загальні рекомендації:

складальна одиниця не повинна розчленовуватися як у процесі збирання, так і в процесі подальшого транспортування й монтажу;

габаритні розміри складальних одиниць повинні встановлюватися, виходячи з конкретних умов складального виробництва (можливостей транспортних і технологічних засобів, виробничих площ і под.);

складальна одиниця, з одного боку, не повинна бути “дрібною”, але водночас повинна складатися з мінімальної кількості деталей;

за наявності потреби в приганяльних роботах, вони повинні виконуватися на окремих робочих місцях (операціях);

членування виробу повинне бути таким, щоб загальне збирання здійснювалося зі складальних одиниць, що збираються незалежно (дотримання принципу агрегативності як умови високої технологічності);

слід прагнути до такого членування, щоб трудомісткість збирання більшості складальних одиниць була приблизно однаковою.

Технологічна схема складання – це умовне зображення порядку комплектування виробу й вузлів під час збирання. Схема дозволяє наочно зобразити весь технологічний процес і послідовність операцій. На технологічних схемах кожний елемент позначається прямокутником, розділеним на частини із зазначенням найменування елемента, кількості, індексу за складальним кресленням.

Збирання починається з базового елемента (деталі, вузла), до якого приєднуються інші деталі або складальні одиниці. На технологічній схемі звичайно базовий елемент розташовують у лівій частині. Від прямокутника базового елемента до прямокутника виробу, розташованого в правій частині схеми, проводять горизонтальну лінію. Вище від цієї лінії розташовують прямокутники, що позначають деталі, в порядку послідовності збирання. Нижче від лінії – складальні одиниці, що входять безпосередньо у виріб. На рис. 7.145, як приклад, наведена технологічна схема складання вала муфти зчеплення. Для кожної складальної одиниці першого й більш високих порядків можуть бути також побудовані аналогічні схеми їхнього складання.

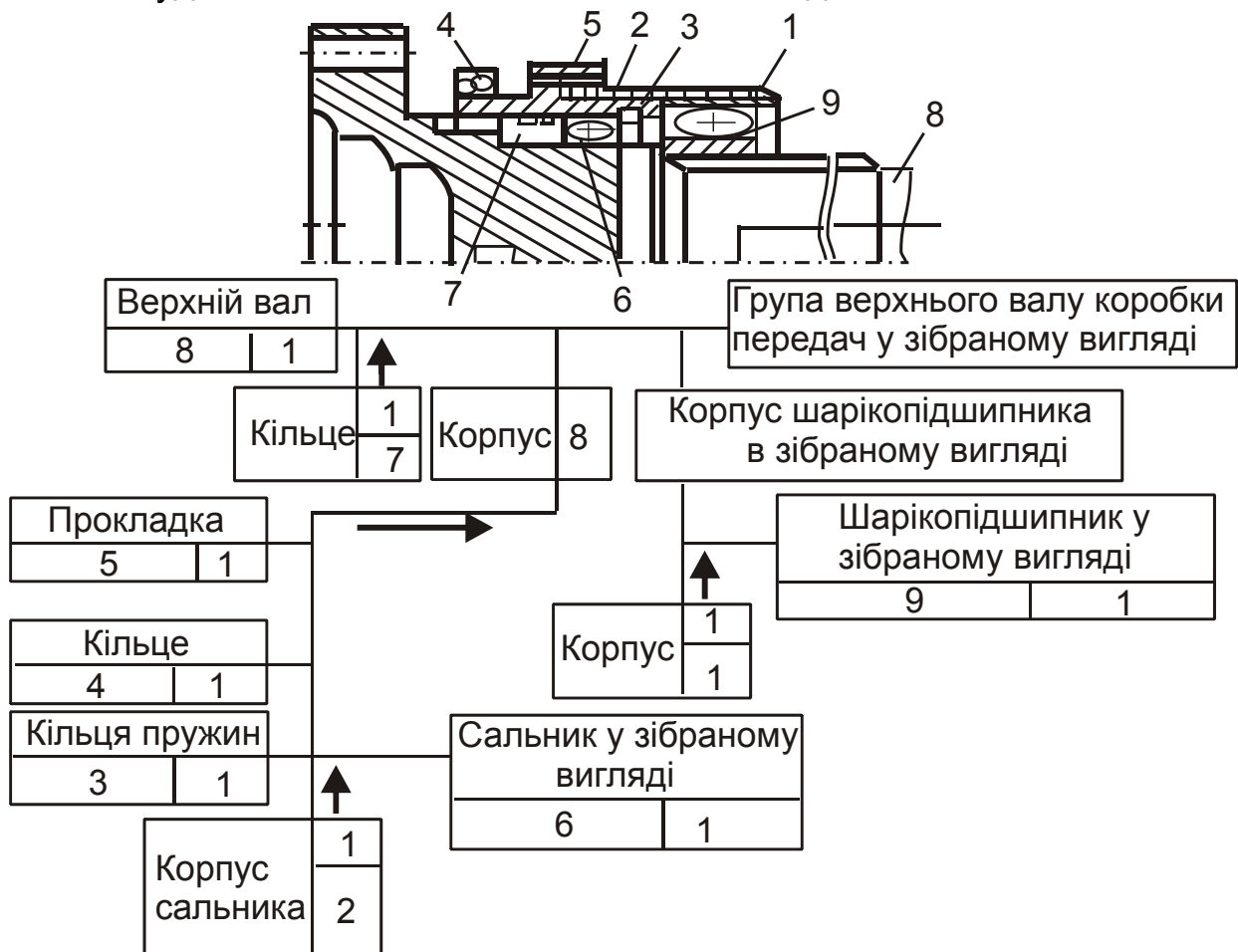


Рис. 7.145. Технологічна схема складання

Технологічні схеми складання того самого виробу можуть розроблятися в декількох альтернативних варіантах, що відбивають різну послідовність збирання. Оптимальним вважається той із варіантів, який для конкретних умов виробництва (наприклад, наявна кількість збирачів, наявність засобів механізації й автоматизації, зручність і можливість їхнього застосування тощо) забезпечує необхідну якість збирання, високу продуктивність і, природно, є найбільш економічним. Розробка схем збирання виправдує себе для будь-якого типу виробництва, тому що спрощує проектування складальних процесів, сприяє ефективності оцінювання й відпрацьовування виробу на технологічність.

Технологічні схеми загального складання машини розробляються аналогічно до схем складання вузлів. Особливістю є те, що побудову схеми починають не з базової деталі, а з базового вузла. Загальна схема складання особливо доцільна в разі збирання складних виробів.

Після розробки схем складання встановлюють склад необхідних складальних, регульовальних, приганяльних, підготовчих і контрольних робіт і визначають зміст технологічних операцій та переходів.

До складу технологічного процесу складання як технологічні операції й переходи включають різноманітні складальні роботи. До процесу складання відносять також операції, пов'язані з перевіркою правильності дії окремих механізмів і вузлів машини в цілому (точності, безшумності, плавності рухів і под.); операції очищення, промивання, фарбування й обробки виробу або його складових одиниць.

Різні види складальних робіт і їхня коротка характеристика наведені в табл. 7.3.

У процесі оформлення технологічних карт складальних процесів застосовують єдину систему технологічної документації. Важливою частиною розробки технологічного процесу є нормування слюсарно-складальних робіт.

За потокового складання до складу штучного часу включається час $t_{\text{тр}}$ на транспортування виробу, що збирається, якщо він не перекривається іншими елементами штучного часу. Тривалість операції при цьому повинна дорівнювати або бути кратною такту.

У технологічному процесі складання складної машини може бути досить велика кількість операцій (наприклад, процес складання гусеничного трактора складається з 600 операцій), що приводить до великих витрат часу на розрахунок технічно обґрунтованих норм. Тому нормування складальних операцій слід включати в САПР ТП і розраховувати за допомогою ЕОМ.

До основних показників складання відносяться: дійсний такт випуску, ритм, продуктивність складального робочого місця, коефіцієнт завантаження робочого місця або потокової лінії, коефіцієнт трудомісткості слюсарно-складальних робіт та ін.

Дійсний такт випуску (хв):

$$T_d = \frac{60 \cdot D \cdot C \cdot (T_{см} \cdot \eta - T_{об} - T_{пер})}{N},$$

де D – кількість робочих днів у році;

C – кількість робочих змін за день;

$T_{см}$ – тривалість зміни;

η – коефіцієнт, що враховує витрати часу на ремонт устаткування;

$T_{об}$ – витрати часу протягом зміни на обслуговування робочих місць, год;

$T_{пер}$ – витрати часу на перерви й природні потреби робітників протягом зміни, год;

N – річна виробнича програма, шт.

Таблиця 7.3

Види складальних робіт

Роботи	Коротка характеристика	Питома вага (%) в загальній трудомісткості складання у процесі виробництва	
		серійного	масового
1	2	3	4
Підготовчі	Приведення деталей і покупних виробів у стан, необхідний у зв'язку з умовами складання: розконсервація, миття, сортування на розмірні групи, укладання в тару та ін.	5 – 7	8 – 10
Приганяльні	Забезпечення складання з'єднань і технічних вимог до них: обпилювання й зачищення, притирання, полірування, шабрування, свердління, розгортання, виправлення, вигинання	20 – 25	–
Властивості складальні	З'єднання двох або більшої кількості деталей з метою одержання складальних одиниць і виробів основного виробництва: різьбові, пресові, зварювання, склеювання та ін.	44 – 47	70 – 75

Закінчення табл. 7.3

1	2	3	4
Регулювальні	Досягнення необхідної точності взаємного розташування деталей у складальних одиницях і виробів	7 – 9	6 – 7
Контрольні	Перевірка відповідності складальних одиниць і виробів параметрам, установленим кресленням і технічними умовами на складання	10 – 12	8 – 10
Демонтажні	Часткове розбирання виробів, що збираються, з метою підготовки їх до впакування й транспортування до споживача	6 – 8	3 – 4

Дійсний ритм випуску (хв^{-1}) $R_d = 1/T_d$. Продуктивність Q складального робочого місця – це кількість вузлів або виробів, що збираються на робочому місці за одиницю часу, – визначають за формулою:

$$Q = \frac{t \cdot B_n}{t_m},$$

де t – робочий час, до якого віднесена продуктивність, хв;

B – кількість робітників, які виконують операцію на даному робочому місці.

Коефіцієнт завантаженості K_i – ступінь завантаженості роботою – визначають за формулою:

для робочого місця:
$$K_i = \frac{t_m}{T_d \cdot B_n};$$

для поточної лінії:
$$K_n = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n K_i.$$

Коефіцієнт трудомісткості $K_{\text{тр}}$ слюсарно-складальних робіт:

$$K_{\text{тр}} = \frac{T_{\text{сл.-скл}}}{T_{\text{м.-скл}}}$$

де $T_{\text{сл.-скл}}$ – трудомісткість слюсарно-складальних робіт:

$T_{\text{м.-скл}}$ – загальна трудомісткість механо-складальних робіт з даного виробу.

Одним зі шляхів підвищення продуктивності праці в процесі складання є застосування технічно вдосконаленого технологічного оснащення (складальних пристосувань та інструментів). Якщо неможливо використовувати стандартне оснащення, розробляють спеціальні пристосування й інструменти. Технологічні процеси складання багатогранні й різноманітні.

Методи досягнення точності складання. Завдання, пов'язані з досягненням необхідної точності машин і їхніх механізмів на всіх етапах їхнього створення (проекування, виготовлення, складання), вирішуються за допомогою розмірних і кінематичних ланцюгів.

Залежно від типу виробництва розрізняють п'ять методів досягнення точності завершальної ланки під час складання: 1) повної взаємозамінності; 2) неповної (часткової) взаємозамінності; 3) групової взаємозамінності; 4) регулювання; 5) пригону.

В основному застосовують перших два методи, що забезпечують взаємозамінність у процесі складання з найменшими витратами праці. Суть методу повної взаємозамінності полягає в тому, що необхідна точність завершальної ланки розмірного ланцюга досягається у всіх об'єктів шляхом включення в неї складових ланок без вибору, підбору або зміни їхніх величин. Метод повної взаємозамінності економічно вигідно застосовувати в умовах досягнення високої точності за малої кількості ланок. Граничні відхилення розміру завершальної ланки визначають за формулами:

$$\Delta_{B_{A\Delta}} = \sum_{i=1}^n \bar{\Delta}_{B_{A_i}} - \sum_{n+1}^{m-1} \bar{\Delta}_{H_{A_i}}, \quad \Delta_{H_{A\Delta}} = \sum_{i=1}^n \bar{\Delta}_{H_{A_i}} - \sum_{n+1}^{m-1} \bar{\Delta}_{B_{A_i}}.$$

Використовуючи ці формули, можна розрахувати як завершальні ланки, так і одну зі складових за відомих інших і завершальних ланках.

Суть методу неповної взаємозамінності полягає в тому, що необхідна точність завершальної ланки розмірного ланцюга досягається в заздалегідь обумовленої частини об'єктів шляхом включення в неї складових ланок без вибору, підбору або зміни їхніх значень. Використання цього методу доцільне для досягнення точності в багатоланкових розмірних ланцюгах; допуски на складові ланки більші, ніж під час розрахунку на максимум-мінімум, що знижує трудомісткість виготовлення складальних одиниць, але при цьому в частини виробів похибка завершальної ланки може виходити за межі допуску на складання, тобто можливий певний ризик незбирання.

Суть методу групової взаємозамінності полягає в тому, що необхідна точність завершальної ланки досягається шляхом включення в розмірний ланцюг складових ланок, що належать до загальної групи попередньо обмірjованих і розсортованих деталей. Метод групової взаємозамінності застосовують, головним чином, для розмірних ланцюгів, що складаються з невеликої кількості ланок (звичайно трjох, іноді чотирjох), складальних одиниць із точністю, практично недосяжною за допомогою методу повної взаємозамінності (кулькові підшипники, плунжерні пари тощо). У цьому випадку деталі (шпонка й паз вала) виготовляють за розширеними допусками і сортують залежно від розмірів на групи так, щоб під час з'єднання деталей, що входять у певні групи, було забезпечене досягнення встановленого конструктором допуску завершальної ланки і гарантована необхідна точність складального з'єднання. Складання за методом групової взаємозамінності називають селективним (складання за методом підбору). Розрахунок допусків на групу зводиться до визначення кількості груп "п", на які повинні бути розсортовані сполучувані деталі і визначення граничних відхилень групових розмірів. Селективне складання має недоліки: потрібні додаткові витрати на сортування деталей за групами, необхідна чітка організація зберігання й обліку деталей за групами, ускладнюється робота планово-диспетчерської служби. Однак ці недоліки організації селективного складання цілком виправдуються в масовому й багатосерійному виробництві під час складання з'єднань, забезпечення точності яких звичайними методами потребує більших витрат.

Сутність методу регулювання полягає в тому, що необхідна точність завершальної ланки досягається шляхом зміни величини заздалегідь обраної ланки, що компенсує, без зняття шару металу. У разі застосування методу регулювання точність завершальної ланки досягається двома шляхами: зміною положення однієї з деталей шляхом її переміщення або повороту для досягнення точності завершальної ланки і введенням у розмірний ланцюг спеціальної деталі необхідного розміру або з необхідними відносними поворотами її поверхонь (кутовими відхиленнями).

Сутність методу пригону полягає в тому, що необхідна точність завершальної ланки досягається в результаті зміни розміру одного із заздалегідь намічених складових ланок шляхом зняття з його необхідного шару матеріалу.

У процесі використання цих методів допуски на складові ланки розмірного ланцюга встановлюють такими, щоб вони були економічно досяжними в даних виробничих умовах. Метод регулювання має значні переваги перед методом пригону, тому що не вимагає додаткових витрат, його можна застосовувати для досягнення точності завершальної ланки багатоланкових розмірних ланцюгів, а також у середньосерійному виробництві. Метод пригону застосовують в одиничному й дрібносерійному виробництвах.

Основні шляхи підвищення точності складання. Формулу, що дозволяє визначати допуск на завершальну ланку розмірного ланцюга під час складання, можна записати з використанням поля розсіювання завершальної ланки й поля розсіювання полів допусків складових ланок, тобто:

$$\omega \Delta = \sum_{i=1}^{m-1} |\xi| \omega_t.$$

З формули випливає, що підвищення точності розміру завершальної ланки плоского розмірного ланцюга в партії виробів під час складання може бути досягнуте трьома способами: 1) зменшенням поля розсіювання з кожної складової ланки, тобто підвищенням їхньої точності; 2) скороченням кількості складових ланок і – принцип найкоротшого шляху; 3) зменшенням передатного відношення ξ .

Одночасне використання всіх трьох способів дає найбільший ефект під час складання машин або виробів.

Завдання, які вирішуються складальними процесами. Машина, як об'єкт машинобудівного виробництва, створюється тільки в процесі збирання, де виробу надається закінчений вигляд відповідно до його функціонального призначення. Збирання – це процес виготовлення машини з'єднанням її складових елементів, що сполучаються (деталей, вузлів, агрегатів і под.). Процес збирання, як один із головних і заключних етапів виробництва, багато в чому визначає й активно формує експлуатаційні якості виробу, що випускається, його собівартість, строки випуску. Висока точність розмірів, форми, взаємного розташування, якість і стан поверхонь деталей, що сполучаються у виріб, застосування прогресивних конструкційних матеріалів не можуть належною мірою гарантувати такі найважливіші експлуатаційні якості машини, як її працездатність, надійність і довговічність. Це пояснюється тим, що збирання не можна розглядати як суто механічне з'єднання деталей у складальну одиницю або у виріб. У процесі збирання необхідно забезпечити регламентовані за умовами й характером

сполучення деталей, їх чітке взаємне розташування, фіксування, за необхідності наявність змащення, виключення наявності між поверхнями, що сполучаються, задирок, стружки, абразивних включень, пилу, а також виключення можливих деформацій під час утворення різьбових, зварювальних, клепаних, пресових та інших з'єднань. На якість виконання складальних операцій величезний вплив мають метод складання, застосовувані складальні пристосування й інструмент, їхня точність, стан, ступінь зношування, рівень автоматизації процесу, кваліфікація виконавців, культура виробництва та ін.

За нинішніх економічних умов питання зниження матеріалоемності, скорочення трудових витрат, підвищення експлуатаційної якості сучасних машин стають особливо актуальними. Останні дві проблеми мають безпосереднє відношення до процесів складання.

Незважаючи на загальне падіння рівня загальномашинобудівного виробництва України, що склалося, питома співвідношення трудомісткості складальних робіт до загальної трудомісткості виробництва виробів продовжує практично зберігатися й нині.

Стан і рівень трудових витрат складального виробництва наочно ілюструється даними за основними галузями машинобудування (табл. 7.4).

Таблиця 7.4

Питома вага й рівень автоматизації складальних робіт у машинобудуванні, %

Галузь машинобудування	Питома вага складальних робіт у виготовленні виробів, %	Рівень механізації й автоматизації складальних робіт, %
Важке машинобудування	35	8 ... 12
Верстатобудування	25	22 ... 25
Електротехнічна й радіопромисловість	50	35 ... 40
Тракторне й сільськогосподарське машинобудування	23	51
Автомобільна промисловість	18 ... 20	51
Літакобудування	20 ... 30	20 ... 25
Приладобудування	40 .. 45	12
Промисловість годинників	45	16

Висока питома вага складальних робіт пояснюється, насамперед, порівняно низьким рівнем механізації й автоматизації складального виробництва. Їх середній рівень у галузях машинобудування для основного виробництва досягає 85%, тоді як для складальних робіт: у важкому машинобудуванні – 8 – 12%, у верстатобудуванні – 22 – 25%, в автомобільній промисловості – 51%, у приладобудуванні – 12% (див. табл. 7.4). Механізовані й автоматизовані тільки найпоширеніші операції: виконання отворів під з'єднання, розклепування заклепок, загвинчування гайок, гвинтів, болтів, зварювання і под. Значний обсяг складально-монтажних робіт, виконуваних вручну (60 – 85%), найчастіше вимагає великих витрат фізичної праці висококваліфікованих робітників. Причому нестабільність виконання складальних процесів спричиняє нестабільність якості продукції, що випускається.

Рівень трудомісткості складальних робіт також багато в чому визначається низькою спеціалізацією складального виробництва. При цьому нерационально використовується високопродуктивне спеціальне устаткування, робочі кадри високої кваліфікації, збільшується цикл збирання, збільшуються оборотні фонди. Актуальність цієї проблеми загострюється сьогодні не тільки необхідністю оперативного переналагодження виробництва на випуск нових виробів, але й порушенням централізованих зв'язків кооперування й спеціалізації між підприємствами СНД, труднощами у створенні якісно нових гнучких зв'язків.

Основні відомості про розробку технологічних процесів збирання. Вихідними даними під час проектування технологічного процесу збирання машини є наступне: опис службового призначення й будови машини, креслення складальних одиниць (машини) з технічними умовами, специфікації складових у вузлів деталей, обсяг випуску виробів, технічні вимоги приймання, умови виробництва (діюче або проектоване підприємство, наявні засоби технічного оснащення і його можливості, умови постачання, кооперації, організаційно кадрові питання тощо). Крім базової, необхідна також довідково-керівна інформація: паспортні дані устаткування, нормативні матеріали, стандарти на оснащення, методи збирання, режими обробки та ін.

Ступінь поглибленості розробки технологічного процесу збирання залежить від типу виробництва. У загальному випадку розробка технологічного процесу збирання включає: обґрунтування організаційної форми збирання (за необхідності визначається такт і ритм);

виробляється відпрацьовування конструкції на технологічність; обґрунтування методу збирання, розрахунки точності збирання (розмірний аналіз ланцюгів); складання схем збирання (вузлових і загальної); обґрунтування способу збирання, контролю тощо; вибір необхідного стандартного або проектування спеціального устаткування й оснащення; нормування робіт, розрахунок економічних показників; проектування планування робочих місць і ділянок складальних цехів; оформлення технічної документації.

Послідовність розробки процесу складання наступна. Здійснюють технологічний аналіз складальних креслень із позиції відпрацьовування конструкції на технологічність. Роблять розмірний аналіз конструкцій виробів, що збираються, виконують розрахунки розмірних ланцюгів і встановлюють раціональні методи досягнення точності складання (повна, неповна, групова взаємозамінність, регулювання й пригін). Визначають доцільний у даних умовах ступінь диференціації або концентрації складальних операцій. Установлюють послідовність з'єднання всіх складальних одиниць і деталей виробу і створюють схеми загального складання й вузлових оборок виробу. Вибирають найбільш продуктивні, економічні й технічно обґрунтовані способи складання, способи контролю, випробувань. Вибирають необхідне стандартне технологічне й допоміжне устаткування й технологічне оснащення (пристосування, що ріже, монтажний і вимірювальний інструмент). За необхідності проектують спеціальні засоби технологічного оснащення. Роблять технічне нормування складальних робіт і розраховують економічні показники складання. Розробляють планування устаткування, робочих місць. Оформляють технічну документацію на складання.

Після вивчення машини, окремих її агрегатів і складальних одиниць, аналізу технічних умов на їхнє виготовлення та складання розпочинають розчленовування виробу на складові частини з огляду на наступне: 1) складальну одиницю не слід розчленовувати в процесі складання, транспортування й монтажу; 2) складальним операціям передують підготовчі й приганяльні роботи, які виділяють у самостійні операції, оскільки вони пов'язані з такими видами обробки, як обпилювання, шабрування, притирання, свердління отворів, вигинання тощо; 3) габаритні розміри складальних одиниць установлюють із урахуванням наявності підйомно-транспортних засобів; 4) складальна одиниця повинна складатися з невеликої кількості деталей і сполучень, тому що зайва диференціація приводить до ускладнення організації

складальних робіт; 5) передача на складання окремих деталей повинна бути мінімальною, винятком є базові деталі; 6) виріб слід розчленовувати так, щоб його конструкція дозволяла здійснювати складання з найбільшою кількістю складальних одиниць.

Послідовність складання в основному визначається конструкцією виробу, компонованням деталей і методами досягнення необхідної точності.

З'єднання в процесах збирання. У процесі з'єднання деталей переслідується мета зафіксувати нерухоме положення однієї деталі щодо іншої або забезпечити передачу руху між ними. Розмаїтість застосовуваних у процесі збирання з'єднань ускладнює їхню класифікацію, що відповідає всім конструктивним, технологічним і техніко-економічним вимогам. Для класифікації з'єднань використовували різні принципи, загальні властивості, призначення й характеристики.

У конструкціях машин надзвичайно широко застосовуються нерухомі, як рознімні, так і нерознімні, з'єднання. До найпоширеніших рознімних з'єднань відносять різьбові (шпилькові, болтові, гвинтові та ін.), шпонкові, шліцьові, конічні та ін.

Нарізні сполучення мають досить широке застосування в машинобудуванні – до 25 – 30% загальної кількості з'єднань деталей і вузлів машин. Їхня поширеність пояснюється простотою, надійністю, можливістю точного виготовлення, розбирання, контролю, регулювання моменту затягування й створення більших осьових сил. Нарізні сполучення здійснюються за допомогою кріпильних елементів (болтів, гайок, гвинтів, шпильок та ін.) за допомогою різьблень (кріпильних або силових).

Збирання нарізних з'єднань може здійснюватися вручну (різними за конструкцією гайковими ключами, в тому числі динамометричними) або механізованим способом (спеціальними електричними, механічними, пневматичними, гідравлічними, одно- або багатошпіндельними, в тому числі тарувальними гайковертами) і автоматичними установками.

Збирання з'єднань зі шпонками застосовується в основному в ланцюгових, ремінних і зубчастих парах для передачі крутильних моментів за допомогою шпонок (сегментних або призматичних).

Шліцьові з'єднання деталей порівняно зі шпонковими мають більш високу навантажувальну здатність, створюють меншу концентрацію напруг у валах (їхню підвищену міцність), забезпечують більш точне центрування. Застосовуються прямотечійні, евольвентні, трикутні шліцьові циліндричні з'єднання. Залежно від застосовуваних посадок

поверхонь, що центрують, шліцьові з'єднання розділяються на тугорознімні, легкорознімні й рухомі.

Більшість нероз'ємних з'єднань можуть бути віднесені до однієї з груп:

з'єднання із силовим замиканням, відносна нерухомість деталей яких забезпечується механічними силами, що виникають у результаті пружно-пластичних деформацій;

з'єднання з геометричним замиканням, здійснюваним завдяки формі деталей, що сполучаються;

з'єднання, засновані на атомно-молекулярних силах (зчеплення або адгезії).

Типові нерухомі нерознімні з'єднання – з'єднання з гарантованим натягом, зварені, паяні, що клеюються й заклепувальні.

Нерухомі нерознімні з'єднання з гарантованим натягом широко застосовуються під час з'єднання із втулками, кільцями, підшипниками, буксами, роторами, зубчастими колісьми, маховиками та ін. Їхня міцність визначається силами зчеплення на контактних поверхнях, тобто величиною натягу після збирання. З'єднання можуть здійснюватися: нагріванням охоплюваної деталі (втулки) або охолодженням охоплюваної деталі (вала) перед збиранням, додаванням пластичної деформації одній із деталей, що з'єднуються (наприклад, розвальцьовуванням), шляхом створення пружної деформації охоплюваної деталі або запресування охоплюваної деталі в охоплювану з натягом.

Міцність з'єднань, зібраних з охолодженням охоплюваної деталі, вища за інших рівних умов в 2 – 2,5 раза міцності з'єднань із запресуванням і на 10 – 15% , чим при нагріванні деталі, що охоплює. У процесі охолодження виключається жолоблення й місцеві деформації деталей, зниження твердості, окислювання поверхонь, порушення гальванічних покриттів, структури та інших фізико-механічних властивостей. Крім того, охолодження вимагає істотно менше часу, ніж нагрівання. Однак даний спосіб може бути використаний під час з'єднання з відносно невеликими натягами.

Збирання запресуванням може здійснюватися механічним або гідравлічним способами. За механічного способу збирання охоплювана деталь запресується в охоплювану деталь в поздовжньому напрямку при температурі 20°C. Цей спосіб застосовується у разі невеликих натягів (до 0,1%). Маючи високу продуктивність, цей спосіб має характерні недоліки: неможливість використання антикорозійних

покриттів, ушкодження поверхонь, що сполучаються, розкид зусиль запресування. Гідравлічний спосіб збирання здійснюється шляхом нагнітання передбаченими каналами у зону поверхонь масла, що сполучаються, під тиском. Завдяки цьому зусилля запресовування порівняно з механічними зменшуються в 10 – 15 разів.

Зварювання (з'єднання зварюванням) – це технологічний процес утворення нероз'ємних з'єднань за допомогою встановлення міцних міжатомних молекулярних зв'язків між матеріалами контактних деталей, що сполучаються. Існує більше 60 різновидів зварювання, які можна класифікувати за фізичними, технічними або технологічними ознаками. Однак у загальному випадку активізація утворення міжатомних зв'язків між з'єднуваними елементами може забезпечуватися в рідкій або твердій фазах. Відповідно до цього всі способи можна розділити на дві основні групи: зварювання плавленням і зварювання тиском (пластичним деформуванням).

У процесі зварювання плавленням деталі з'єднують за рахунок місцевого розплавлення металу (основного або основного й додаткового – електродного або з присадкою). Для розплавлення застосовуються джерела теплоти з температурою понад 3 000°C. Розрізняють зварювання електричне (наприклад, електродугове, електрошлакове та ін.), хімічне (газове, термічне та ін.), променеве (електронне, фотонне, плазмове, лазерне та ін.).

Зварювання тиском може здійснюватися без попереднього нагрівання, коли вводиться тільки механічна енергія або з попереднім нагріванням (контактне, точкове, конденсаторне, дифузійне, газопресове), коли поряд з механічною вводиться й теплова енергія.

Існують комбіновані методи зварювання, наприклад, зварювання тертям, ультразвукове, підривне, холодне, зварювання стикове, мікрозварювання та ін.

Залежно від ступеня автоматизації зварювальних процесів розрізняють ручне, напівавтоматичне й автоматичне зварювання.

Крім зварювання металів і їхніх сплавів в однорідних і різнорідних сполученнях, можливе також зварювання неметалевих матеріалів (скла, пластмас, кераміки тощо) як між собою, так і з металами.

Застосування деяких методів зварювання забезпечує одержання зварених конструкцій із заданими розрахунковими розмірами, які не потребують наступної механічної обробки.

Найширше застосування зварених з'єднань пояснюється рядом їх переваг. Застосування зварювання, наприклад, порівняно із клепаанням, зменшує на 10 – 20% масу конструкцій, скорочує трудомісткість і строки виготовлення, забезпечує герметичність швів, дозволяє в ряді випадків спростити конструкції складних вузлів і технологію їхнього збирання, сприяє механізації й автоматизації процесів, економії та раціональному використанню матеріалів. Ці переваги надійно забезпечили гідне місце зварювання як прогресивного, високопродуктивного й економічно вигідного технологічного процесу утворення з'єднань.

Паянням називається процес одержання нероз'ємного з'єднання двох або декількох деталей із застосуванням матеріалу присадки – припою. Під час нагрівання в зібраному вигляді до температури плавлення припою (м'якого або твердого) останній заповнює зазори між з'єднуваними деталями. У паяних конструкціях застосовують різні метали й сплави: сталі, чавуни, мідь і її сплави, легкі сплави на основі титану, алюмінію, магнію, берилію та ін. Сучасні методи паяння забезпечують з'єднання конструкційних матеріалів з різними фізико-хімічними властивостями за умов збереження практично незмінними вихідних властивостей матеріалу.

Склеювання – спосіб одержання нерухомого нерознімного з'єднання за допомогою спеціальних речовин, здатних за певного фізичного стану скріплювати деталі завдяки прояву сил адгезії.

Важливою перевагою склеювання є можливість одержання з'єднань із різнорідних матеріалів, уникнути внутрішніх напружень і деформацій, тому що технологія не вимагає підвищених температур, істотний недолік – низька термостійкість і схильність до старіння.

Перспективне застосування клейових з'єднань з іншими видами: посадки, запресовування й нарізні сполучення на клеях, клеєклепані з'єднання, що забезпечують підвищення ресурсу, міцності й герметичності з'єднань.

Особливе місце серед нерознімних з'єднань займають заклепувальні з'єднання. З одного боку, заклепувальні з'єднання витісняються клейовими, різьбовими й особливо звареними з'єднаннями. Однак, з іншого боку, як одним із найдавніших способів утворення з'єднань, вони виправдовують своє застосування в сучасних машинах, що піддаються швидкозмінним і динамічним навантаженням, що працюють в умовах різко змінних температур, а також у з'єднаннях деталей, що не

зварюються (зварюються погано), як однорідних, так і різнорідних (змішаних) матеріалів, у тому числі композиційних.

Загальні відомості про заклепувальні з'єднання. Заклепувальними називають нерознімні з'єднання переважно листових деталей за допомогою заклепок – кріпильних елементів, що становлять циліндричні (суцільні або порожні) стрижні із заставними головками певної форми. З'єднання виходять шляхом встановлення заклепок у попередньо підготовлені отвори в пакеті деталей з наступним осіданням виступного стрижня заклепки спеціальними інструментом і прийомами. Розрізняють два види клепаання – холодне й гаряче, останнє знаходить досить обмежене застосування.

Заклепувальні з'єднання характерні для мостобудування, літакобудування. Кількість заклепок у конструкціях сучасних літаків і вертольотів досягає 90% (до 600 тис. шт. і більше) загальної кількості кріпильних точок. Такі з'єднання найчастіше є альтернативними болтовим і звареним.

Широке застосування клепальних з'єднань в літакобудуванні, як у жодній іншій галузі, пояснюється її найнижчою технологічною собівартістю для легких сплавів і композиційних матеріалів порівняно з іншими видами нерознімних з'єднань, а також специфічністю конструкції планера, високими вимогами до надійності й довговічності.

Разом з тим, клепаання, як метод утворення нерознімних з'єднань, має ряд недоліків:

- збільшення маси конструкції за рахунок наявності виступних, заставних і замикальних головок;

- ослаблення конструкції отворами під заклепки;

- недостатня герметичність з'єднань, що вимагає в ряді випадків додаткових заходів щодо герметизації швів;

- незадовільні й навіть шкідливі умови праці робітників.

Однак, незважаючи на ці й інші недоліки, клепаання ще надовго залишиться основним методом утворення з'єднань для конструкцій з легких, жароміцних, надміцних, композиційних та інших застосовуваних і перспективних конструкційних літакобудівних матеріалів.

Удосконалювання технології виконання заклепувальних з'єднань ведеться в наступних напрямках: розробка нових конструкцій заклепок і матеріалів для них; розробка нових методів і способів клепаання; розробка й удосконалювання засобів виконання заклепувальних з'єднань; підвищення рівня технологічності конструкцій за рахунок

раціонального їхнього членування, що забезпечує можливість більш широкого застосування стаціонарного клепання замість ручного.

Утворення заклепувальних з'єднань. Типовий технологічний процес утворення з'єднання деталей звичайними стрижневими заклепками включає операції: стискання пакета деталей, що з'єднуються; утворення отворів під заклепки; утворення гнізд під заставні головки заклепок (за потайного клепання); вставлення заклепок; клепання (при стисломому пакеті); за необхідності зачищення (фрезерування) потайних заставних або замикальних головок під час клепання з утворенням потайних замикальних головок, або універсальними заклепками.

Утворення отворів під заклепки, як правило, здійснюється свердлінням, тому що пробивання отворів штампами не забезпечує достатньої міцності й ресурсу з'єднань. Для підвищення якості отворів під час свердління застосовуються спеціальні свердла (комбіновані, свердла-розгор-нення), отвори виконуються у два – три проходи, застосовуються протягання, дорни (останнє характерно для болтових з'єднань). Для зручності вставлення заклепок діаметри отворів під них виконуються більше номінального діаметра стрижня на 0,05 – 0,2 мм.

Гнізда під заставні головки в потайних з'єднаннях одержують зенкуванням. При цьому застосовуються зенківки з напрямними штифтами. Досить часто зенкування гнізд сполучається зі свердлінням завдяки використанню комбінованих свердел – зенківок.

Утворення замикальних головок, звичайних стрижневих, може здійснюватися ударами обтискача ручних клепальних молотків, тиском пуансона стаціонарного або переносного пресового устаткування або локальним тиском розкатів.

Пресовому клепанню, безсумнівно, надається перевага перед ударним, тому що воно забезпечує: високу стабільність якості з'єднань поза залежністю від досвіду й кваліфікації виконавців; високу продуктивність (особливо групове клепання); мінімальну трудомісткість; низький рівень виробничого шуму, відсутність вібрації, відповідність умовам техніки безпеки; передумови автоматизації процесу свердлильно-клепальних робіт.

Переваги ударного клепання полягають у більшій універсальності, можливості його реалізації під час загального й агрегатного збирання, де доступ для стаціонарної пресової клепки важкий або неможливий взагалі.

Залежно від енергетичних параметрів клепального інструмента розрізняють одно-, рідко- і багатоударне клепання. Залежно від місця застосування активного силового впливу під час утворення заклепувального з'єднання розрізняють пряме й зворотне клепання. За прямого клепання замикальна головка формується при впливі безпосередньо на стрижень заклепки утримуваною опорою (підтримкою) з боку заставної головки. У процесі зворотного клепання удари клепального інструмента наносяться по заставній головці заклепки, при цьому підтримка розташовується з боку її замикальної головки, що формується. Зворотний спосіб можливий тільки під час багато- або рідкоударного клепання за умови достатньої пружної піддатливості клепаної конструкції, що, тобто для відносно тонких пакетів. Вибір того або іншого способу (прямого або зворотного) клепання визначається можливостями підходів до місць клепання, вимогами до якості шва за його гладкістю й іншими конструктивно-технологічними умовами.

Останнім часом зріс інтерес до технології й засобів одноударного (імпульсного) клепання.

Клепання розкочуванням характеризується утворенням замикальної головки при обертально-поступальному русі обтискача з мінімальними осьовими зусиллями (спосіб клепання прямий). Розробка такої клепки і її застосування викликане, насамперед, необхідністю з'єднання конструкцій з композиційних матеріалів (на основі скляних, вуглецевих, органічних, борних та інших волокон). Специфічні механічні властивості композиційних матеріалів (мале відносне подовження, анізотропія міцності і пружних властивостей, гетерогенність структур та ін.) спричинили надмірну чутливість до ударних навантажень і радіальних натягів з'єднань конструкцій, що клепаються. У таких умовах виявилось кращим клепання розкочуванням, що супроводжується мінімальним осьовим тиском інструмента й радіальним натягом і виключає ударні навантаження конструкції. Однак практична реалізація клепання з розгортанням, так само, як і пресового, можлива тільки за умови вільного двостороннього підходу до місць клепання в конструкції й за умов замкненої схеми силового навантаження.

Технологічне оснащення клепальних операцій. У процесі утворення отворів для заклепувальних з'єднань використовуються універсальні й спеціальні верстати, стаціонарні установки, оснащені свердлильними агрегатами (СА-02, СЗА-02, СЗА-03, СЗУ-01 та ін.). У важкодоступних

для стаціонарного устаткування місцях застосовуються різноманітні ручні пневматичні машини – дрилі (СМ-11-180, СМ11-35; СМ21-140; СМ21-25; СМ14-12; УСМ12-6-30; БМУ21-6-5 та ін.), а також електричні свердлильні машинки. Перевага в машинобудуванні віддається пневматичному ручному інструменту завдяки його безпеці, плавності роботи, можливості регулювання, надійності, високому ресурсу, стійкості до перевантажень.

Для підвищення ефективності виконання свердлильних робіт під час стапельного збирання використовуються різні засоби механізації. Прикладами можуть бути ручні машини з автоматичною подачею й сприйняттям технологічного навантаження, свердлильні установки, що закріплюються в складальному пристосуванні або на клепальному агрегаті. Це розширює технологічні можливості (свердлильні, шліфувальні, фрезерні, різьбонарізні, протяжні й інші операції) і поліпшує умови праці збирачів.

Пресове клепання здійснюється на спеціалізованих пресах і на клепальних автоматах. За родом споживаної енергії й способу її використання пресове устаткування підрозділяється на пневматичне, гідравлічне, пневматично-важільне, гідроважільне.

Клепальні преси за експлуатаційними ознаками можна класифікувати як стаціонарні й переносні. Стаціонарні за потужністю можна розділити на преси першої групи потужності (ПНП-5,5; КП-204; КП-204М; КП-205; КП-206 та ін.), другої групи (КП-403; КП-403М; КП-405М; КП-406 та ін.), третьої – преси підвищеної потужності, що дозволяють здійснювати групове (до 20 штук і більше заклепок одночасно) клепання (КП-501; КП-503М; КП-504П1-8,5; КП-504П1-13,5; КП-504П2; КП-602 та ін.).

Застосовується також пресове устаткування (установки) спеціального призначення для клепання конкретних типів деталей і вузлів. Як переносні набули застосування ручні преси, виконані за конструктивною схемою скоби або силової балки, із пневматичними й гідравлічними приводами. Обсяг клепання з таким устаткуванням не перевищує 3 – 5% [6].

Підвищення якості та продуктивності виконання клепально-складальних робіт досягається впровадженням у виробництво клепальних автоматів. Такі автомати дозволяють комплексно автоматизувати процес утворення з'єднання за всіма операціями. Автоматичний цикл при цьому включає: орієнтування виробу щодо осі інструментів; стискання пакета деталей, що з'єднуються, у зоні клепання; утворення отвору (і гнізда в процесі потайного клепання); вставлення заклепок в отвір; утворення замикальних

головок (клепання); повернення інструментів у вихідне положення; переміщення виробу (або автомата) на крок заклепувального шва.

Застосовувані клепальні автомати відрізняються різною потужністю й технологічними можливостями (для клепки заклепками або стрижнями). Представниками малої групи потужності (потужністю до 50 кН) є автомати АК-2,2-0,5; АК-2,2-0,6П; установки УКП-1; В2,5АК-3,4-0,8. Середня група – АК-5,5-2,4; АКЗ-5,5-1,2; установка В18-АКО-5,5. До підвищеної групи потужності (зусиллям понад 100 кН) належать автомати АК-16-3; АКД-16-2; установки В18-2АКД-16-2; УЗО-2АКД-16-2.

У зв'язку із цим більше 50% заклепувальних з'єднань здійснюється за допомогою більш доступного до місць клепання ручного інструмента. На сьогодні основним клепальним ручним інструментом є багатоударні клепальні молотки типу: КМП-13; КМП23; КМП-31; КМП-14; КМП-24; 2КМ; КМУ-13; КМ-42 та ін.

Принцип дії всіх конструкцій пневматичних багатоударних молотків заснований на здійсненні поршнем зворотно-поступальних рухів (частотою до $2\ 700\ \text{хв}^{-1}$ і більше) під дією стисненого повітря (тиск 0,4 – 0,5 МПа) за допомогою золотникового повітророзподільника. Поршень наносить удари по інструменту-обтискачу, який осаджує стрижень заклепки, утворюючи замикальну головку. При цьому застосовуються підтримки, маса яких становить від 2 до 6 кг і більше залежно від способу клепання й матеріалу заклепки. Пристрій і принцип дії багатоударних молотків неминуче приводить до того, що якість заклепувальних з'єднань істотно залежить від досвіду й кваліфікації виконавців. Саме професійні якості клепальника, взаємна злагодженість його роботи з підручним, який здійснює підтримку, є визначальним у формоутворенні замикальних головок заклепок необхідних параметрів. У процесі багатоударного клепання існує ймовірність ушкодження обшивання пакета, що клепається (особливо при зворотному методі потайної клепки), деформацій (утягування), що порушують гладкість поверхні. Це знижує ресурс з'єднань, їхню герметичність. Недоліками багатоударних молотків є й те, що їх робота супроводжується постійним впливом на організм виконавців вібрації й шуму, охолодженням п'ястей рук, вимагає значних м'язових зусиль клепальників у процесі утворення з'єднання. Багатоударне клепання є трудомістким, важким і стомлювальним процесом, що сприяє виникненню й розвитку професійних вібраційних захворювань робітників.

Особливості імпульсного kleпання. Сутність імпульсного kleпання полягає в перетворенні потенційної енергії енергоносія в кінетичну енергію інструмента, для утворення замикальної головки заклепки за один удар. Процес імпульсного kleпання характеризується великими швидкостями деформування (більше 20 – 30 м/с) і надзвичайною швидкоплинністю ($1 \cdot 10^{-4}$ – $1 \cdot 10^{-3}$ с). Це створило передумови для створення компактних з малою масою й високою енергооснащеністю ручних kleпальних пристроїв з поліпшеними санітарно-гігієнічними характеристиками (завдяки зниженню рівня шуму, вібрації, зменшенню м'язових зусиль і тривалості їхнього впливу на організм kleпальників). У Харківському національному економічному університеті проводяться роботи зі створення таких пристроїв [6, 7]. Крім того, імпульсне kleпання характеризується підвищенням якості, стабільності, підвищенням продуктивності праці.

Так, зокрема, підвищення якості заклепувальних з'єднань під час імпульсного kleпання досягається завдяки збільшенню радіального натягу й підвищенню рівномірності його розподілу по товщині пакета, що сприяє підвищенню ресурсу з'єднань. Стабільність якості забезпечується стабільністю енергії одиничних ударів імпульсних пристроїв, що визначають контрольовані параметри замикальних головок заклепок.

Можливість застосування імпульсного ручного інструмента в конкретних виробничих умовах багато в чому визначають використовувані ними енергоносії й передавальні середовища. На сьогодні відомі ручні пристрої порохового, електромеханічного, електромагнітного, електрогідравлічного, пневмо-гідравлічного, пневматичної дії. Енергоносіями пристроїв, які знайшли практичне застосування, є: порохований заряд, електрична енергія, що накопичується в конденсаторах-накопичувачах, стиснений газ високого тиску (до 20 МПа й більше), стиснене повітря пневматичної магістралі тиском 0,5 МПа.

Розмаїтість використовуваних енергоносіїв ускладнює вибір найбільш придатних пристроїв. У процесі вибору необхідно виходити з конкретних умов здійснення технологічних процесів з урахування економічних і експлуатаційних факторів, які можуть бути визначальними.

Підвищення ефективності складального виробництва. Підвищення ефективності складального виробництва досягається завдяки вдосконалюванню методів і технології збирання, організаційно-управлінських процесів, застосуванню механізації й автоматизації.

Впровадження прогресивних технологій і організації складального виробництва забезпечує підвищення продуктивності праці, зменшення трудомісткості й тривалості збирання. Удосконалювання методів збирання спрямоване на підвищення взаємозамінності, якості складальних одиниць, розширення фронту робіт, на широке застосування засобів механізації й автоматизації.

Механізації й автоматизації складального виробництва приділяється особливо важлива й багатогранна роль. Основні технічні переваги автоматизації у високій швидкодії, інтенсифікації режимів, чіткості ритму, стабільності робіт, можливості функціонування автоматичних засобів у шкідливих, небезпечних і складних умовах. Наслідком технічних переваг є економічні: підвищення продуктивності праці, ощадливе використання ресурсів (праці, матеріалів, енергії), високі стабільність і якість продукції, що випускається, скорочення строків від проектування до одержання виробу, можливість розширення виробництва без збільшення трудових ресурсів і, природно, зниження собівартості.

У розвитку виробництва першим кроком від ручного збирання до скорочення трудових витрат, збільшення продуктивності праці й поліпшення її умов стала механізація процесів. Вона частково заміняє ручну працю завдяки застосуванню засобів механізації (пневматичних, електричних, гідравлічних, механічних та інших інструментів, пристроїв).

Автоматизація – це застосування енергії неживої природи у виробничому процесі для його виконання й управління ним без особистої участі людини. Розрізняють часткову, комплексну й повну автоматизацію. Її тривалий і складний шлях еволюційного розвитку на своєму початковому етапі характеризується появою напівавтоматів, автоматів, потім технологічних комплексів з роботами, автоматичних ліній, ділянок, заводів. Складальний напівавтомат – це робоча машина, що виконує один робочий цикл і для його повторення вимагає втручання людини. Складальний автомат реалізує робочий цикл без втручання людини неодноразово.

Самостійну групу становлять роторні складальні машини, що включають автомати й напівавтомати, які є основою для створення роторних автоматичних складальних ліній. У загальному випадку складальна лінія – це об'єднання автоматів і (або) складальних комплексів з роботами єдиною транспортною системою, системою управління, що забезпечує задану послідовність складальних операцій без участі людини.

Застосування складальних напівавтоматів, автоматів, роторних машин, ліній виправдує себе тільки в умовах масового виробництва за незмінної конструкції виробу, що випускається. Маючи досить високу продуктивність, таке устаткування практично позбавлене гнучкості. Разом з тим потрібні роки для його проектування й створення.

Сучасний етап розвитку машинобудування характеризується гострою конкурентною боротьбою за просування продукції, що повинна відповідати за своїми споживчими якостями наявному попиту на ринку, мати при цьому найменшу вартість і мінімальний виробничий цикл виготовлення. Випуск такої конкурентоспроможної продукції в умовах надзвичайно малих строків її морального старіння, частоті зміни, збільшеної номенклатури й обмеженої серійності можливе за нової форми організації виробництва – це гнучка виробнича система (ГВС).

Гнучка виробнича система може забезпечити високий рівень у процесі автоматизації всіх операцій “життєвого циклу”, починаючи від одержання замовлення й закінчуючи постачанням виробу споживачеві. Створення ГВС можливе лише за умови конструктивної, технологічної, енергетичної, організаційно-виробничої, інформаційної, програмно-алгоритмічної сумісності елементів системи. ГВС за призначенням (за технологічними ознаками) підрозділяються на три класи: для обробки деталей (напівфабрикатів), для збирання (вузлового або загального), для обробки й збирання (комбіновані).

Основою для створення гнучкого автоматизованого складального виробництва (ГАСВ) є комплексно-автоматизоване виробництво з якісно новим рівнем його організації, планування, управління, ефективного використання техніки й технології, матеріалів, трудових ресурсів.

ГАСВ – це сукупність систем автоматизованої технологічної підготовки складального виробництва й функціональних складальних систем, взаємозалежну автоматичну роботу яких забезпечує єдина система управління. Основу автоматизації ГАСВ становлять технологічне устаткування з числовим програмним управлінням й керівні обчислювальні комплекси.

У якості основних функціональних систем ГАСВ містить гнучкі складальні системи з роботами (ГРСС) і складальні комплекси з роботами (РТСК).

РТСК – це сукупність основного складального устаткування, що працює в єдиному виробничому циклі зі складальним промисловим роботом і здатного швидко перебудовуватися на новий вид продукції.

ГРСС – це структурно розвинені РТСК, що включають складальні промислові роботи (складальні автомати), які функціонально зв'язують між собою технологічне устаткування, що реалізує в певній послідовності процес збирання. РТСК і ГРСС створюються у двох напрямках. Перший напрям пов'язаний із використанням складальних промислових роботів (СПР), які взаємодіють з упорядкованим середовищем (об'єкти виробництва займають певне орієнтоване положення й браковані об'єкти відсутні). Цей напрямок відрізняється високою надійністю функціонування, порівняно невисокою вартістю РТСК і ГРСС, спрощеним експлуатаційним і сервісним обслуговуванням. Крім того, при переході на новий об'єкт виробництва створюється можливість використання уніфікованих основних елементів засобів автоматизації. Другий напрям передбачає використання СПР, що володіють можливістю взаємодії з неупорядкованим середовищем завдяки наявності елементів адаптації і логічних систем, що пристосовуються до умов процесу. Витрати на розробку, створення й обслуговування таких систем зростають, надійність знижується.

Аналіз сутності процесу збирання свідчить, що механізми складального автомата (маніпулятора) повинні забезпечити наступні рухи: орієнтування деталей, їхнє захоплення, перенесення у просторі і встановлення на складальні пристосування, орієнтування деталей один щодо одного з необхідною точністю, монтаж. У зв'язку з цим з метою ефективного створення ГРСС маніпулятори (СПР) виконуються у вигляді уніфікованих модульних конструкцій: транспортних, накопичувально-навантажувальних (що базують, орієнтують), силових, контрольних, а також систем управління. Транспортні пристрої виконують функції переміщення як заготовок, так і складальних одиниць (виробів). До них відносяться різні за конструкцією транспортери, поворотні столи, а також конвеєри. Накопичувально-навантажувальні пристрої (магазини, бункери, живильники) найчастіше виконують функції первинного орієнтування. Базувальні пристрої слугують для фіксованого розміщення складальних одиниць на позиціях збирання (настановні, затискні, настановно-затискні пристосування, супутники, що несуть візки, і под.). Орієнтувальні пристрої, так звані пристрої вторинного орієнтування, призначені для забезпечення взаємного розташування поверхонь складальних одиниць, що сполучаються, з певною точністю. Силкові пристрої – це виконавчі механізми, що здійснюють безпосередньо складальний процес (монтаж). У процесі використання властивостей гравітації, магнітного поля, струминних систем у явному вигляді силові

пристрої не проявляються. Пристрої для контролю виконують функції контролю якості складального процесу. Погоджену роботу всіх перерахованих механізмів забезпечує система управління.

Для розробки технологічного процесу автоматичного збирання є важливими ряд положень. Так, наприклад, стосовно до умов автоматичного збирання, з погляду технологічності, конструкція повинна бути простою, забезпечувати вільний підхід для встановлення в складальне пристосування, мати максимальну уніфікацію й нормалізацію складальних одиниць, виключати механічну обробку в процесі збирання.

Велике значення має раціональне розбиття (членування) виробу на складальні одиниці. Складальна одиниця повинна мати мінімальну кількість деталей і з'єднань. Трудомісткість збирання складальних одиниць повинна бути приблизно однаковою (такт збирання складальних одиниць повинен дорівнювати або бути кратним такту загального збирання).

За умов автоматизованого збирання найбільш складним і особливо відповідальним є процес взаємного орієнтування деталей на складальній позиції, що забезпечується або твердим базуванням, або самоцентруванням. У зв'язку з цим деталям надаються спеціальні конструктивні форми (співвідношення довжин і діаметрів, фаски, що центрують, округлення, проточки і под.), забезпечуються певні положення центрів мас.

Складальні автомати висувають підвищені вимоги до стабільності виробів, що збираються, вимагають жорсткості допусків на розміри, форму, взаємне розташування поверхонь, що приводить у деяких випадках до більш високої якості деталей за рядом показників, ніж цього вимагає експлуатаційне призначення вузла, машини.

У зв'язку із цим під час автоматичного збирання завжди актуальним є вибір одного з п'яти методів досягнення точності: повної, неповної, групової взаємозамінності, регулювання, пригону або їхньої комбінації.

Метод повної взаємозамінності найбільш придатний для автоматичного збирання і є ознакою високої технологічності виробу, що збирається. У процесі збирання за цим методом досить контролювати розміри деталей, які подаються на збирання. Відносна простота, висока продуктивність, стабільність збирання вимагає, як правило, високої точності виготовлення складових деталей, що входять у складальну одиницю. Тому не завжди значне підвищення точності деталей окупається зниженням витрат на просте, компактне й порівняно недороге складальне устаткування.

Необхідна точність замикальної ланки може досягатися регулюванням розміру з використанням рухомого або нерухомого компенсатора. У першому випадку використовуються різні за конструкцією (клинові, гвинтові, пружні та інші механізми), у другому – необхідні з раніше виготовлених, різних за розмірами деталей-компенсаторів.

Застосування методу регулювання в автоматичному збиранні пов'язане з необхідністю автоматичного вимірювання розмірів, обробки отриманої інформації й використання її для регулювання.

Використання ЕОМ, контактних головок, активного контролю розмірів, адаптивного управління забезпечують перехід від методу повної взаємозамінності до методу автоматичного регулювання, що забезпечує високу точність в умовах автоматичного виробництва.

Досягнення необхідної точності збирання методом пригону полягає у видаленні необхідного шару матеріалу з деталі. Отже, метод вимагає додаткової обробки безпосередньо в процесі збирання, що в ряді випадків може бути не бажаним. Під час автоматичного збирання пригін здійснюється автоматично з використанням вимірювальних засобів (датчиків), що порівнюють, пристроїв, суматорів і металорізального устаткування (найчастіше шліфувальних верстатів).

Кожний із методів досягнення точності збирання має свої переваги й недоліки, сфери кращого застосування. Критерієм вибору методу, як і автоматичного збирання в цілому, є техніко-економічна доцільність.

ГАСВ, застосування якого диктується сучасними умовами комерційного успіху, характеризується не тільки підвищенням якості продукції, його гарантією стабільності, економічністю, підвищенням продуктивності, достатньою маневреністю й мобільністю виробництва, але й, що не менш важливо, звільняє людину від м'язових витрат. Однак за частої зміни виробів завжди існує ймовірність некупності витрат. У процесі розрахунку техніко-економічної ефективності альтернативних варіантів необхідно враховувати не тільки капітальні вкладення, але й оцінювати також ефективність за виробничими площами та робочою силою, що звільняються, зниженням витрати енергії та за іншими показниками.

7.5. Розвиток нанотехнологій у техніці

У природі проявляється взаємодія силових полів, які можуть бути охарактеризовані фундаментальними силами: гравітаційними, електромагнітними, ядерними і слабкої взаємодії. Це тільки ті сили,

дослідженню яких за певний час розвитку суспільства вчені приділяли найбільше уваги. Перші два типи сил можна розглядати з точки зору ньютонівської механіки. Усі чотири типи силових полів проявляються під час взаємодії елементарних частинок. При цьому енергія перетворюється з однієї форми в іншу. Наприклад, на рис. 7.146 наведена схема електромагнітного спектра випромінювання. У рамках цього спектра можна виділити безліч розроблених людьми технічних, технологічних систем, обладнання, приладів та ін.

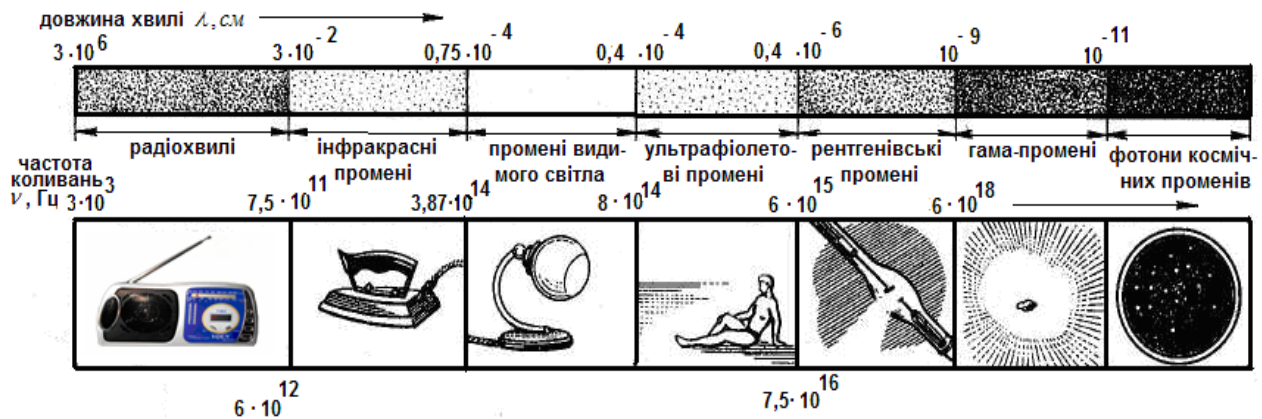


Рис. 7.146. Електромагнітний спектр випромінювання

Людина використала взаємодію силових полів для виробництва предметів, шляхом вивчення, контролю і керування процесами. Із самого початку зародження виробництва предметів споживання, із використанням законів класичної механіки і відповідних природних процесів були розроблені технології виготовлення цих предметів. Граничні розміри предметів споживання визначалися метровим інтервалом. Метровий розмір визначав їх розміри, оскільки ні самі предмети, ні механізми, використовувані в процесі їх виготовлення, починаючи від лопати й сокири, і кінчаючи сучасними верстатами, було б безглуздо робити дуже малими.

Це стосується більшості механічних пристроїв, що оточують нас і сьогодні. Таким чином, навколишній світ речей і механізмів у своїй переважній більшості є продуктом *метрової* технології.

Водночас мініатюризація речей і механізмів була мрією умільців усіх часів і народів. Проте розмір механічних деталей визначається, по-перше, матеріалом, з якого вони зроблені, і, по-друге, розмірами машин і механізмів, за допомогою яких ці деталі виготовлені. Вказані обставини накладають серйозні обмеження на мініатюризацію деталей. Ці

обмеження, як показує історія, можуть бути подолані лише з величезними труднощами і витратами, і лише тоді, коли це стає абсолютно необхідним, як це було у випадку з наручним годинником. Досягнути при цьому мініатюризацію механічних процесів можна вважати граничною для метрової промислової технології [15].

Перехід до широкомасштабної *міліметрової* технології відбувся в середині ХХ ст. і був обумовлений виникненням промислової електроніки. Прикладом досягнення міліметрової технології може бути вакуумна лампа. Подальше скорочення розмірів технологічного простору в 1 000 разів привело до появи і розвитку твердотільної мікротехнології. Її створення і розвиток пройшли червоною лінією через другу половину ХХ ст. і склали основу вражаючого прогресу обчислювальної техніки. Була розроблена технологія розміщення мільйонів твердотільних транзисторів в інтегральній схемі площею 1 см². Кристали кремнію стали основою для інтегральних мікросхем, мініатюризація яких і зумовила експоненціально швидке зростання ефективності та швидкодії на одиницю вартості (і маси) обчислювальних машин. Водночас, незважаючи на такий разючий успіх мікротехнології, на практично повну відмінність як мікропродуктів, так і способів їх виготовлення від виробів метрової технології, обидві ці промислові схеми об'єднує спільність класичних законів, що визначають їх роботу, таких, як, наприклад, закон Ома, який однаково справедливий і для побутового електронагрівача, і для інтегральної мікросхеми. Таким чином, усі технології – від метрової до мікрометрової – можуть бути об'єднані одним словом – класичні.

Класичні уявлення про закономірності природи починають порушуватися, починаючи з розмірів, які складають десяті долі мікрометра. За цією межею починається територія, підпорядкована квантовим законам, в яких проявляє себе хвильова природа електрона й інших мікрочастинок, оскільки в цій сфері процеси, що відбуваються, не можуть бути описані законами класичної механіки. І з цієї точки зору нанотехнологія є *квантовою*. Відбувається перехід від структур речовин класичних технологій до структур речовин, створених за законами квантової механіки. Усю класичну механіку, а разом з нею і поняття сили не можна пристосувати до елементарних частинок. Характеризувати взаємодію елементарних частинок в атомах і атомних ядрах за допомогою сил не можна. Для елементарних частинок сила – це взаємодія. Енергетичний опис стає єдиною можливістю.

На сьогодні наші знання дуже обмежені і не дозволяють формувати атомно-молекулярні структури. Людина навчилась констатувати і вивчати створені природою без її участі атомно-молекулярні структури. Взяти під контроль і управляти цими процесами – один із напрямків створення основ і розвитку нанотехнологій у техніці. Ділянки характерних розмірів для ряду нанорозмірних утворень наведені на рис. 7.147.

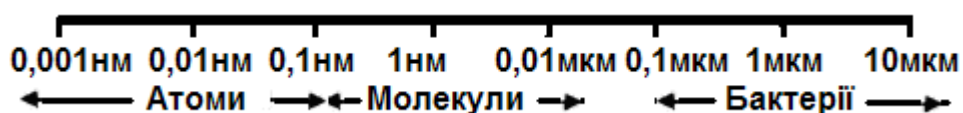


Рис. 7.147. Розмірні інтервали об'єктів нанотехнології

Нанотехнологія використовує методи і прийоми структуризації речовини на атомному й молекулярному рівнях з метою виробництва кінцевих продуктів із заздалегідь заданою атомною структурою. Використання закономірностей квантової механіки в нанопроцесах робить нанотехнологію надзвичайно наукоємною. Можливість синтезувати нанорозмірні структури з точно контрольованими розмірами і складом, а потім збирати їх у структури великих розмірів з унікальними властивостями і функціями приведе до радикальних змін у технологіях багатьох галузей промисловості. Можливість контролювати технологічний процес складання на атомарно-молекулярному рівні великих структур з принципово новими властивостями створює унікальні можливості для розуміння природи цих основних “будівельних блоків”, а також для управління властивостями різноманітних природних і штучних продуктів.

Усі природні матеріали й системи побудовані з нанооб'єктів. Саме в інтервалі нанорозмірів, на молекулярному рівні, природа “програмує” основні характеристики речовин, явищ і процесів.

Нанотехнологічний підхід означає таке ж, але цілеспрямоване регулювання людиною властивостей об'єктів на молекулярному рівні, що визначає фундаментальні параметри речовини.

Специфічність властивостей речовини в нанометровому масштабі і пов'язані з цим нові фізичні явища обумовлені тим, що характерні розміри елементів структури нанооб'єктів лежать в діапазоні, що відповідає середнім розмірам атомів і молекул у звичайних матеріалах. З цієї точки зору слід було б розглядати наноструктури як особливий фазовий стан речовини. Властивості речовин і матеріалів, утворених

структурними елементами з розмірами в нанометровому інтервалі, в об'ємній фазі не визначаються однозначно. Це викликано тим, що зміни характеристик обумовлені не тільки зменшенням розмірів структурних елементів, але й проявом квантово-механічних ефектів, хвильовою природою процесів перенесення маси й енергії, і провідною роллю поверхонь розподілу. Управляючи розмірами і формою наноструктур, таким матеріалам можна додавати абсолютно нових функціональних характеристик, що різко відрізняються від характеристик звичайних матеріалів. До вже відомих наноструктур належать вуглецеві нанотрубки, білки, ДНК і “одноелектронні” транзистори, які працюють за кімнатних температур. Раціональний підхід до виробництва таких матеріалів і пристроїв можливий, якщо використовувати закономірності й принципи, що визначають структуру і властивості таких нанооб'єктів.

Основною проблемою нанотехнології є те, що дослідники ще майже нічого не знають про фундаментальні закономірності поведінки окремих частинок, структур і цілих систем в цьому нанометровому просторовому масштабі. Наночастки одночасно і дуже малі (для безпосереднього спостереження і вивчення), і дуже великі (для розрахунків, які в цьому розмірному інтервалі нанооб'єктів мають великі похибки). Дослідники поки що не вміють достатньо точно моделювати поведінку наночасток, оскільки їх характеристики безперервно змінюються в часі та просторі, а кількість частинок, що об'єднуються в наносистеми, все ще недостатньо велика, щоб розглядати ці системи як статичні ансамблі. Тому для реального прогресу у виробництві наноструктурних матеріалів і нанопристроїв необхідно значно поглибити фундаментальні уявлення про поведінку наночасток і розробити надійні методики розрахунку параметрів, які характеризують їх властивості.

Розмір об'єктів, що вивчаються, може змінюватися від 10 до 10^4 Å (при цьому кількість частинок, що містяться в них, змінюється від 10^2 до 10^{11}) і у всьому цьому діапазоні можна з упевненістю говорити про атомний масштаб. Через малі розміри частинок значно підвищується роль поверхневих ефектів і взаємодій з іншими частинками або оточенням, що вимагає використання у відповідних розрахунках хімічних потенціалів. Наявність різноманітних тимчасових масштабів від 10^{-15} секунд до декількох секунд вимагає врахування як тимчасових флуктуацій частинок, так і неоднорідності їх розподілу за розмірами. Надійність розрахунків пов'язана також з різницею відносної точності

параметрів в різних тимчасових і просторових масштабах, що є вельми серйозною проблемою. Крім того, в наносистемах багато процесів відбувається в умовах на межі між класичною і квантовою механіками, тобто в маловивченій сфері явищ.

У методах розрахунку і аналізу характеристик наносистем однією з найголовніших є проблема масштабування, яка, як показано на рис. 7.148 і рис. 7.149, повинна розглядатися в різних аспектах або вимірюваннях. На цих рисунках вказані експериментальні й розрахункові методи, використовувані під час змін часового і просторового масштабів.

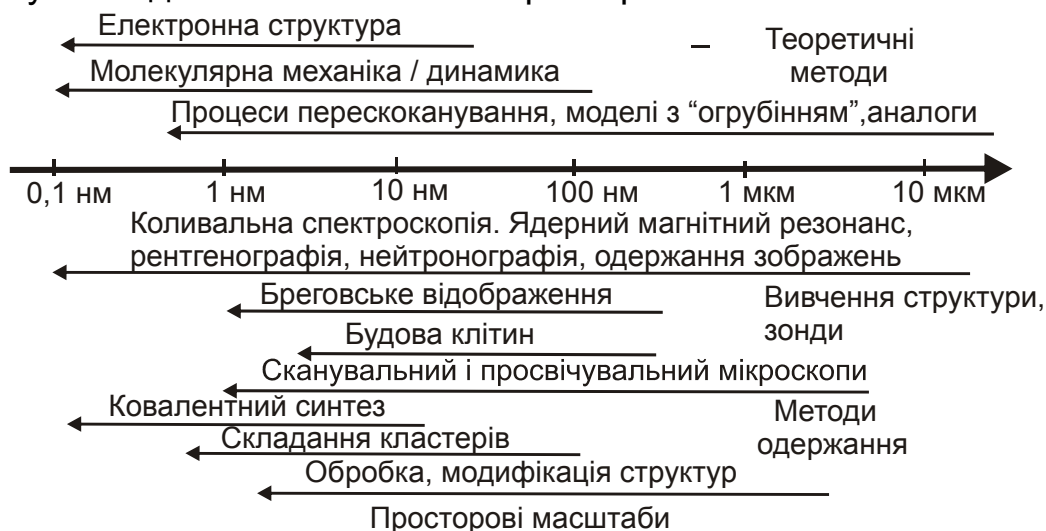


Рис. 7.148. Інтервал розмірів об'єктів та методи їх вивчення

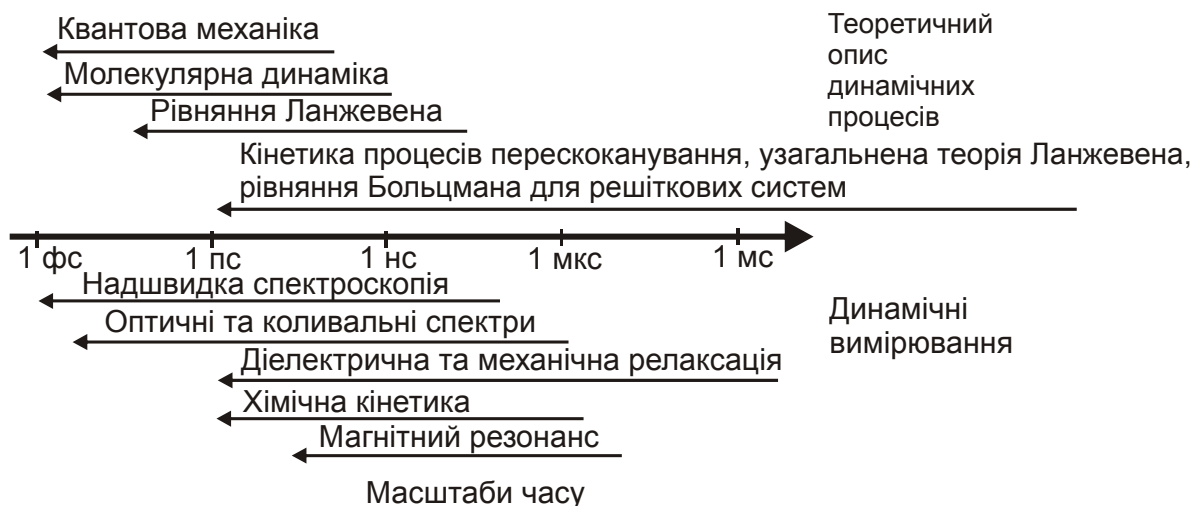


Рис. 7.149. Часовий інтервал процесів у системах наночастинок та методи їх дослідження

На рис. 7.148 наведений діапазон змін масштабу в досліджуваній галузі, а саме, від розмірів атома ($\sim 1 \text{ \AA}$) до розмірів наночастинок ($\sim 1 \text{ мкм}$). Вісь "Час" (див. рис. 7.149) відповідає динамічній (тимчасовій) зміні

масштабу подій. Хоча зміна масштабу по цій осі є лінійною, проте сам діапазон зміни дуже широкий, оскільки час процесів, що вивчаються, змінюється на 15 порядків величини, від 1 фс (10^{-15} с) до 1 с, що є, проте, недостатнім для багатьох повільних макроскопічних процесів. Підвищення точності розрахунків характеристик наносистем видається необхідною умовою як для розробки принципів конструювання матеріалів і розуміння суті явищ, які в них відбуваються, так і для скорочення кількості складних і дорогих експериментів.

У макромасштабі хімічні та фізичні властивості матеріалів не залежать від розміру. Проте варто досягти наномасштабу, наприклад, шляхом дроблення або розрізання, все змінюється, включаючи колір, точку плавлення й хімічні властивості матеріалу. Як приклад, на рис. 7.150 показана залежність температури плавлення наночасток золота від їх діаметра. Температура плавлення кластерів золота стає такою ж, як і у об'ємного золота, якщо розміри кластера більші ніж 1 000 атомів.

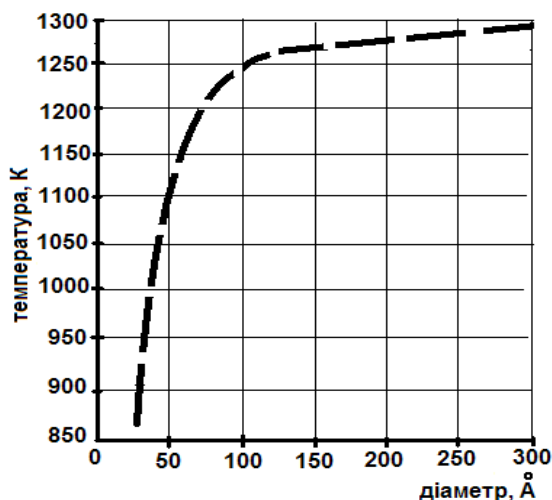


Рис. 7.150. Залежність температури плавлення наночасток золота від їх діаметра

Взагалі виявилось, що різні фізичні властивості кластерів досягають своїх значень, характерних для об'ємних матеріалів, за різних розмірів кластера. Таким чином, розміри кластера, за яких відбувається перехід до поведінки об'ємного матеріалу, виявляються залежними від вимірюваної характеристики. Причину таких змін у властивостях слід шукати у відмінності природи індивідуальних взаємодій атомів, які складають цей матеріал, і взаємодій, що усереднюються в масивному матеріалі, оскільки

наночастка матеріалу – це зовсім не те, що масивна частина цього матеріалу. Останні етапи розрізання, необхідні, щоб довести предмет до наноскопічних масштабів, становлять певний різновид нановиробництва, або наноскопічного виробництва. Описаний тип нановиробництва іноді називається нисхідним, оскільки спочатку була велика структура, яку в процесі обробки зробили меншою. І навпаки, якщо почати побудову наноструктури з окремих атомів або молекул, то буде використане висхідне

нановиробництво. Таким чином, існують два принципово різних підходи до обробки речовини і створення запланованих наноструктурних виробів. Ці підходи прийнято умовно називати технологіями “зверху вниз” і “з низу вгору”. Приклад підходу: обробка і самозбирання елементів поверхні за допомогою сканувального тунельного мікроскопа (рис. 7.151).

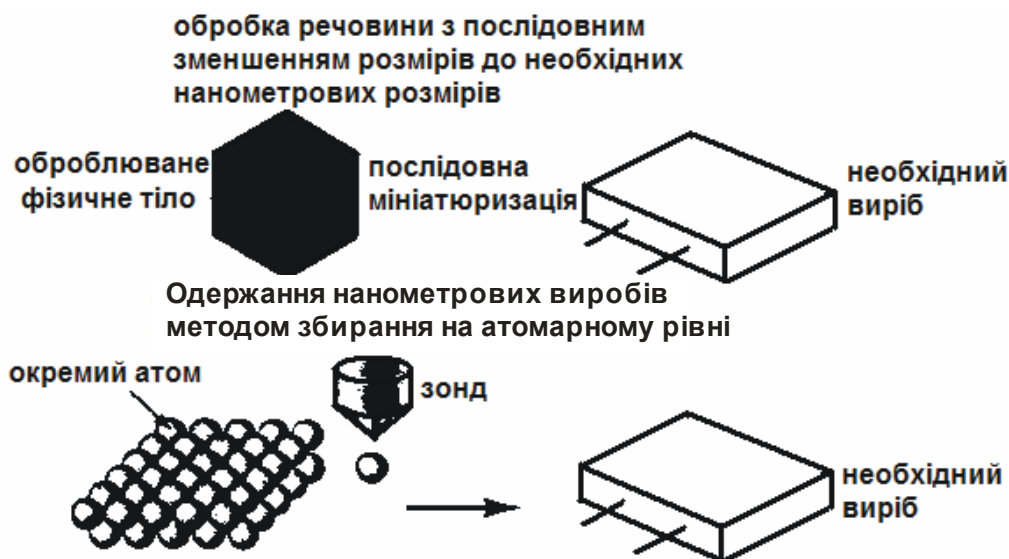


Рис. 7.151. Два головних принципи обробки матеріалів (речовин) у нанотехнології

Підхід “зверху вниз” заснований на зменшенні розмірів фізичних тіл механічною або іншою обробкою, аж до отримання об’єктів з ультрамікроскопічними, нанометровими параметрами. Як приклад, напівпровідникові пристрої, структура яких створюється обробкою методом фотолітографії. Під час фотолітографії напівпровідникова заготовка піддається обробці лазерним променем, що дозволяє отримати в ній конфігурацію наперед спланованої схеми. Розподільна здатність (тобто мінімальний розмір елементів схеми, що виготовляється) при цьому визначається довжиною хвилі лазерного випромінювання. На сьогодні найкоротші довжини хвиль такого випромінювання дозволяють здійснювати мікрообробку з точністю до 100 нм, проте необхідно зазначити, що ця технологія є достатньо складною і вимагає дорогого устаткування, внаслідок чого вона малопридатна для організації ефективного великомасштабного виробництва.

Ідея технології “знизу вгору” полягає в тому, що складання створюваної ‘конструкції’ здійснюється безпосередньо з елементів «нижчого порядку» (атомів, молекул, наносистем і под.), що розташовуються в необхідному порядку. Цей підхід можна вважати

«зворотним» відносно звичного методу мініатюризації “зверху вниз”. Типовим прикладом підходу «знизу вгору» може слугувати поштучне укладання атомів на кристалічній поверхні за допомогою сканувального тунельного мікроскопа або інших пристроїв такого типу. Метод дозволяє наносити один на одного не тільки окремі атоми, але й шари атомів. Звичайно, на сьогодні описуваний підхід характеризується дуже низькою ефективністю і продуктивністю, проте йому належить майбутнє.

З погляду запропонованого підходу дуже важливо знати, наскільки активно і як атоми здатні “самостійно” об'єднуватися в складніші речовини і матеріали. У природі складання “знизу вгору” (самоорганізація речовини) є досить поширеним явищем. Відомо, що різноманітні взаємодії атомів і молекул здатні приводити до утворення високопорядкованих станів із початкових гомогенних систем. Яскравим прикладом є живі організми, здатні засвоювати “мертві” клітини інших організмів і переробляти їх в нові “живі” клітини. Зараз уже відомо, що в живих організмах можуть існувати також клітинні структури у вигляді нанотрубок, кристалів і под.

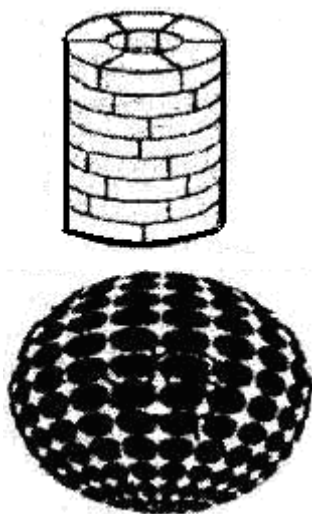


Рис. 7.152. Самоскладання нанорозмірних полімерів

Процеси самоорганізації (рис. 7.152), що становлять особливий інтерес для молекулярної хімії, безумовно, не можуть відбуватися “зверху вниз”. Структуризація і складання біологічних тканин відбуваються на атомарно-молекулярному рівні, причому живі організми здійснюють їх з високою ефективністю. Це означає, що низька ефективність наявних нанотехнологічних процесів “знизу вгору” свідчить лише про недостатнє розуміння фізичних закономірностей такого процесу.

За всієї протилежності підходів “зверху вниз” і “знизу вгору” зайвим здається їх безальтернативне зіставлення. Ці технології, скоріше, доповнюють один одного, що особливо яскраво виявилось в нових комбінованих методах літографії. Прогноз створити методами “знизу вгору” матеріали типу алмазу поки що виправдався стосовно наноструктурних плівок на основі нітридів і бориду, виготовлених традиційними методами магнетронного напылення і плазмоактивованого хімічного осідання. До речі, ці методи, а також іонно-променева обробка також можуть бути віднесені до прийомів “знизу вгору”: від атомних зародків до консолідованих наноматеріалів.

Відмінність у напрямках і підходах конструювання підкреслює дивовижний вплив квантових ефектів на структури, побудовані в молекулярному масштабі. У природі сфера дії квантових сил обмежується внутрішнім простором атомів і зв'язками між атомами. Але коли молекули складаються новими способами “знизу вгору”, квантові ефекти можуть додати їм незвичайних, але корисних фізичних властивостей. Приклади тому – виключно висока електрична провідність або опір матеріалів, величезні можливості для зберігання й передачі теплоти і навіть створення напівпровідникових властивостей.

Нанотехнологія розвивається в наступних напрямках: виробництво наноматеріалів шляхом складання наночасток з окремих атомів; виробництво деталей з наноматеріалів; формування поверхневих шарів деталей; виробництво нанорозмірних систем і пристроїв.

Одним із найважливіших напрямків використання досягнень нанотехнології є мікромініатюризація елементної бази, агрегатів і систем всіякого призначення, в першу чергу, космічних апаратів – це приклад сполучення методів, які використовують мікро- і нанотехнології. Створено мікросонди, мікродатчики, оптичні мікроприлади, мікророботи, літальні мікроапарати масою від декількох кілограмів до ста грамів та ін. Мікро-технології застосовуються під час створення космічних систем різного цільового призначення, у тому числі малих космічних апаратів. На користь їх створення й застосування є цілий ряд обґрунтованих аргументів: скорочення строків їх створення; зниження вартості послуг космічної техніки; оперативність заповнення орбітального угруповання через малі строки їх виготовлення і підготовки до запуску; значно менші втрати у випадку їх відмови; істотне зниження витрат на виведення апаратів за рахунок використання конверсійних ракет і попутного виведення. Однак розвиток малої космічної техніки вимагає реалізації більш високих вимог до матеріалів, елементної бази й технологій їх виготовлення, а також забезпечення низького енергоспоживання бортових систем і створення високоефективних, невеликих за масою й розмірами джерел енергії.

У найближчій перспективі особливе місце в космічних програмах посядуть мікро- й наносупутники (1 – 10 кг). На сьогодні провідними космічними країнами в рамках прогнозно-цільових і проектно-прогнозних досліджень активно ведуться проробки концепцій побудови “кластерних” космічних систем (сузір'їв) на базі мікро- і наносупутників з розподіленими функціями. Цей підхід відкриває нові можливості у

створенні високоефективних космічних систем нового покоління. Це можна пояснити тим, що еволюція їхньої архітектури шляхом використання мікро- і нанотехнологій значною мірою аналогічна процесу вдосконалювання комп'ютерних технологій. Після заміни великих ЕОМ на персональні комп'ютери з появою мережних серверів стали створюватися комп'ютерні мережі з розподіленими функціями. За аналогічною схемою прогнозують розвиток космічних систем: “системи – інтегровані системи – системи з розподіленими функціями”.

Одним із пріоритетних напрямків практичного використання космічних засобів в XXI столітті повинен стати короткостроковий прогноз землетрусів. Найбільш ефективно це завдання може бути вирішене на основі комплексної обробки інформації, одержуваної від різних джерел як наземного, так і космічного базування, об'єднаних в інтегральну систему. Подібна система прогнозу очікуваних землетрусів і оперативного повідомлення про них може вирішувати ці завдання в глобальному масштабі в інтересах усього людства. У разі об'єднання зусиль зацікавлених країн вона може бути створена в найкоротші строки. Так, у рамках космічних програм Росії передбачене створення космічної системи “Вулкан” на базі малорозмірних космічних апаратів для виявлення й реєстрації аномальних фізичних явищ в атмосфері, іоносфері й магнітосфері Землі, що виникають у результаті сейсмічної активності сейсмонебезпечних регіонів, а також передачі інформації про провісників цих явищ. Космічні апарати, що входять у згадану систему, розташовуються на навколокругових сонячно-синхронних орбітах у два яруси: нижній – на висоті близько 500 км, верхній – на висоті 900 км. На базі розроблюваних малих космічних апаратів нового покоління (що запускаються, в тому числі, у якості попутного корисного навантаження), створюється супутникова система “Надія-М”, що забезпечує пошук і рятування потерпілих аварію морських, повітряних і сухопутних об'єктів, які потрапили в аварію. Супутникова система, що включає в себе ряд апаратів масою 155 кг, за більш високої точності визначення місця розташування аварійних об'єктів і оперативності доставки аварійної інформації буде мати підвищену пропускну здатність (до 150 об'єктів одночасно). Етап ОКР закінчений у 2002 році. Наступна модернізація даної системи запланована на 2006 – 2015 роки. Планується виведення комплексу, який дозволить здійснювати відпрацьовування технологій одержання перспективних матеріалів і біопрепаратів в умовах

мікрогравітації (монокристалів кремнію, сплавів з компонентів, що не змішуються, шляхом швидкої кристалізації, кристалів цеолітів, білків; штамів, кліток-продуцентів біологічно активних речовин, піноматеріалів). Розробляється космічний комплекс для вивчення плазми й динаміки магнітосфери, генерації суббурь та інших плазмових явищ, динаміки магнітного поля й варіацій плазми методом радіотомографії. До складу комплексу входять: базовий апарат й 3 – 4 субсупутники. Їхні основні характеристики такі: маса базового апарата – 400 кг; субсупутника – 60 кг.

Особливе місце належить наноматеріалам. У процесі створення наносупутників можуть бути використані властивості фулеренів (рис. 7.153), наприклад, для створення екранів для бортових приладів і систем

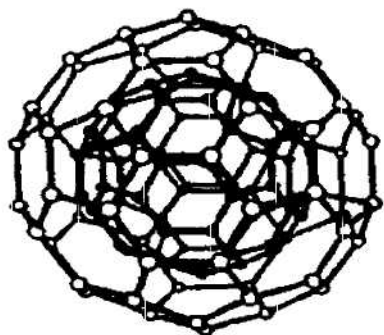


Рис. 7.153. **Модель структури фулерена**

з метою збільшення ресурсних характеристик і підвищення надійності апаратів за великих термінів їх функціонування на орбітах; створення захисних покриттів на металах; створення радіаційностійких напівпровідникових виробів електронної техніки на основі алмазоподібних плівок із фулеренів; захист матеріалів від окиснення, підвищення механічних властивостей за рахунок покривання їх плівками із понадпровідними вуглецевими кластерами; підвищення електрорушійної сили, щільності енергії й циклічної довговічності акумуляторних батарей.

Вуглецеві нанотрубки – своєрідні циліндричні молекули діаметром від половини нанометра і довжиною до декількох мікрометрів (рис. 7.154).

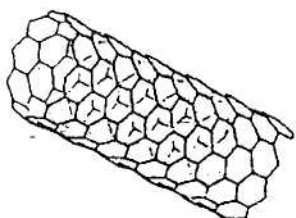


Рис. 7.154. **Схема одношарової нанотрубки**

Очікується, що вже скоро електронні пристрої нанометрового розміру замінять елементи аналогічного призначення в електронних схемах різних приладів, у тому числі й комп'ютерів. У результаті буде досягнута теоретична межа щільності запису інформації (один біт на молекулу), а обчислювальні машини матимуть практично безмежну пам'ять і швидкодію, яка буде визначатися часом проходження сигналу через прилад. На основі цих пристроїв буде створено нові сенсори, катодні матеріали для літєвих батарей,

мініатюрних джерел іонізації і рентгенівського випромінювання. Крім цього, нанотрубки – перспективний матеріал для створення композитів з новими, більш високими характеристиками якості (міцності, теплостійкості й електропровідності). Підвищення пластичності кераміки та інтерметалідів відкриває великі перспективи їх використання в разі мініатюризації космічних об'єктів. Очікується поява нових структур, які будуть складатися з інтегрованих в одне ціле дуже великої кількості інтелектуальних блоків (наприклад, “сенсор – процесор”), основними елементами яких можуть бути мікроелектромеханічні системи. Використання мікроелектромеханічних систем дозволяє на порядок зменшити розміри, масу і споживання енергії аерокосмічними системами (наприклад, кремнієві гіроскопи, акселерометри, датчики тиску, клапани, оптичні й механічні фільтри, високочастотні ключі).

До числа можливих потенційних проривів у майбутньому за допомогою нанотехнології можна віднести [15]:

стискання всієї інформації, наявної в найбільшій бібліотеці світу, у пристрої, що має розміри кубика цукру, за рахунок розробки запам'ятовувальних пристроїв, що володіють багатотерабітною ємністю пам'яті, що в тисячі разів підвищить можливості зберігання інформації на одиниці поверхні;

виробництво матеріалів і виробів “знизу вгору”, тобто їхнє створення з атомів і молекул. Таке виробництво буде вимагати менше матеріалів і буде менше забруднювати навколишнє середовище;

розробка матеріалів, які володіють як надвисокою міцністю, так і пластичністю з меншою вагою й розмірами, що досить важливо для виробництва всіх типів наземних транспортних засобів, кораблів, літальних і космічних апаратів;

підвищення продуктивності комп'ютерів і ефективності мініатюрних транзисторів і чипів пам'яті в мільйони разів;

використання гена для виявлення ракових клітин або органів, у яких вони перебувають, за допомогою створених методів наноінженерії речовин, що контрастують, з формуванням зображення магнітним резонансом, а також забезпечення цілеспрямованої доставки ліків;

збільшення вдвічі ефективності сонячних батарей.

За допомогою нанотехнології з'являється практична можливість конвергенції неорганічних, органічних і біологічних об'єктів, що дозволить створювати принципово нові мікромашини й мікромеханізми, нанороботів і біокомп'ютери, інтелектуальні матеріали й нові медичні технології.

На сучасному етапі лише формуються принципи, використовувані для створення наноструктур шляхом їх “конструювання” із фрагментів. Тому кожний успіх у розумінні фізичних, хімічних і біологічних властивостей наносистем відкриває нові можливості й методи побудови наноструктур і нанопристроїв.

7.6. Застосування біологічних процесів у технологічних системах промислових виробництв

Кібернетика зробила можливим інтегрувати ряд наук на основі загальності принципів управління живим і неживим. Біоніка пішла далі, вона усуває протиріччя, що виникло в результаті спеціалізації наук, і поєднує різноманітні відомості відповідно до єдності живої природи. Вона сформувалася на базі біології, фізики, техніки й інших наук. По суті, вона синтезує накопичені знання в ботаніці й електроніці, фізіології та кібернетиці, математиці й нейрофізіології, фізиці й психології, біохімії й механіці, біофізиці та психіатрії, нейрології й епідеміології, хімії й анатомії. Біоніка має справу з найрізноманітнішими характеристиками живих організмів, які перенесені в технічні системи, у тому числі з характеристиками речовинних, енергетичних та інформаційних процесів. У біоніки надзвичайно широке коло інтересів, воно пов'язане з безліччю прикладних технічних галузей: літакобудуванням, космонавтикою, кораблебудуванням, радіоелектронікою, інструментальною метеорологією, машинобудуванням, будівельною справою, навігаційним приладобудуванням, архітектурою, технологією хімічних виробництв та ін. Поєднуючи й взаємно збагачуючи ізольовані раніше одна від одної біологічні й технічні науки, біоніка прагне на основі сучасних математичних, фізичних і фізико-хімічних методів дослідження біологічних систем знайти оптимальні рішення для найскладніших інженерних проблем. Коротше кажучи, біоніка – це наука, що займається вивченням принципів побудови й функціонування біологічних систем та їхніх елементів і застосуванням отриманих знань для корінного вдосконалення наявних і створення принципово нових машин, приладів, апаратів, будівельних конструкцій і технологічних процесів. Її можна також назвати наукою про побудову технічних пристроїв, характеристики яких наближаються до характеристик живих систем.

На сьогодні розрізняють три основних методологічних напрямки біоніки: біологічний, математичний (теоретичний) і технічний. Біологічна

біоніка, базуючись на найрізноманітніших розділах біології й медицини, використовує їхні досягнення для виявлення певних принципів живої природи, що можуть бути покладеними в основу вирішення тих або інших суто інженерних проблем. Змістом теоретичної біоніки є розробка математичного апарата біологічного моделювання, а також математичних моделей явищ і процесів, що відбуваються в живих організмах. І нарешті, технічна біоніка зайнята реалізацією математичних моделей тих або інших сторін діяльності живих організмів з метою вдосконалення наявних і створення зовсім нових технічних засобів і систем – приладів, апаратів, пристроїв, що перевершують за своїми характеристиками вже створені раніше і діють за біологічним принципом.

Відповідно до економічної моделі (США), існують чотири критерії оцінювання науково-практичної діяльності організації: здатність робити нові продукти й поліпшувати якість уже вироблених продуктів; здатність різко знижувати ціни на деякі продукти й послуги; здатність викликати довіру в широких мас споживачів і відповідальних працівників; здатність до розширення сфери впливу в межах країни або декількох країн. Згідно із цими критеріями застосування біологічних процесів у технологічних системах промислових виробництв є пріоритетним напрямком. Сучасна біотехнологія включає практично всі галузі біології: ботаніку й зоологію як фундамент рослинництва й тваринництва, вірусологію, мікробіологію, генетику, фізіологію, біохімію. Вона використовує всі рівні організації живого – молекулярний, клітинний, організменний і популяційний.

Інтенсифікація виробництва неминуче пов'язана з рядом негативних процесів – забрудненням середовища й продукції, високими економічними й енергетичними витратами. Бур'яни й комахи отримують генетичну стійкість до хімікатів, що змушує нарощувати застосування добрив і шкідливих хімічних засобів захисту рослин для досягнення тих же результатів. У результаті відбувається забруднення ґрунту, рік, підґрунтових вод, продуктів харчування.

Застосування біологічних процесів відкриває людству нові можливості. Біотехнологія – це мобілізація всього біологічного потенціалу: рослин, тварин, мікроорганізмів для вдосконалювання процесів виробництва продуктів, тобто це цілеспрямоване перетворення матерії й енергії за допомогою організмів або продуктів їхньої життєдіяльності [19].

Біологічні процеси почали застосовувати в часи найдавніших цивілізацій – тоді, коли людина посіяла і збрала перші зерна, приручила перших тварин. Вона використовує мікроорганізми для одержання хліба,

пива, вина, сиру, кисломолочної продукції. Біологічні процеси широко застосовують у процесі виробництва цукру й крохмалю, оздоровлення рослин від хвороб, профілактики, діагностики й лікування інфекційних захворювань людини, тварин і птахів. Без використання біопрепаратів неможливо уявити кормовиробництво, захисні системи в рослинництві.

Біотехнологія розвивається в наступних напрямках: створення нових форм рослин методами біоінженерії, технологій оздоровлення посадкового матеріалу, систем діагностики патогенів; одержання нових штамів азот-фіксувальних мікроорганізмів, розробка технологій їхнього виробництва й використання; вдосконалення технології одержання високопродуктивних тварин на основі методу трансгенезу й трансплантації ембріонів; створення діагностичних препаратів на основі імуноферментного аналізу, освоєння нових вакцин; створення й випробування харчових добавок.

Сучасні технологічні системи, створені в мікробіологічному виробництві, базуються на генетичній і клітинній інженерії, імуноферментному аналізі та ін. Зростає інтерес до вивчення й практичного використання мікроорганізмів, які надзвичайно різноманітні й динамічні. Наука про молекулярні механізми спадковості значною мірою створена в результаті вивчення мікробіологічних об'єктів. Мікробіологію вважають фундаментом сучасної біотехнології. Ряд мікробіологічних систем продуктивно використовується у виробничих процесах. Активно розвивається кількісна мікробіологія, яка заснована на хіміко-кінетичному моделюванні процесів мікробного росту. До завдань біокінетики належить з'ясування механізмів, що визначають швидкості біологічних процесів, і виявлення їхніх лімітаційних стадій. Складовою частиною біокінетики є математичний опис перебігу біопроесів у часі у процесі використання молекулярних уявлень і законів фізичної й хімічної кінетики. Нині біокінетика є основою керованого кількісного біосинтезу.

Мікробіологічне виробництво. За своєю природою мікробіологічні процеси становлять ферментативні реакції, що відбуваються в поліферментних системах при змінній концентрації каталізаторів (ферментів). Специфічною особливістю росту мікроорганізмів є автокаталітичний характер процесу, обумовлений збільшенням загальної концентрації ферментів у системі в міру розвитку популяції. З огляду на це доцільним є застосування в мікробіології ряду формальних методів і прийомів, розвинених під час аналізу кінетичних закономірностей

ферментативного каталізу. Культивування (ріст) мікроорганізмів може здійснюватися у двох основних режимах: періодичному й безперервному. Перший тип культивування належить до процесів у закритих системах, другий – у відкритих.

Промислове застосування біологічних процесів засноване на використанні мікроорганізмів. Наприкінці XIX ст. Луї Пастер показав, що в різноманітних бродильних виробництвах (готуванні хліба, пива, вина, сиру, оцту та ін.) вирішальна роль належить мікробам. За допомогою мікроорганізмів утворюються різні органічні речовини: спирти, білки, амінокислоти, антибіотики, вітаміни, ферментні препарати, гормони, лікувально-профілактичні й дієтичні продукти харчування. Успішно використовуючи методи й способи, що реалізують біологічні процеси, сьогодні одержують такі кормові продукти, як паприн, еприн, гаприн. Створюються нові мікробіологічні препарати для захисту посівів від шкідників і хвороб. Це пов'язано з високим позитивним екологічним ефектом від застосування біопестицидів, можливістю різкого скорочення застосування хімічних засобів захисту рослин. Сьогодні людство ще не може обходитися без хімічних добрив і пестицидів, які необхідно використовувати грамотно. Однак наближається той час, коли екологічно ідеальні біологічні способи захисту рослин стануть головними.

На підприємствах Міністерства медбіопрому й АПК випускаються препарати бульбочкових бактерій ризоторфіну, а також уперше створені препарати асоціативних мікроорганізмів для зернових, овочевих, кормових і технічних культур. Використання цих препаратів підвищує врожайність культур на 10 – 20%; збільшує збір білка на 20 – 40%, сприяє оздоровленню ґрунту, економії мінеральних добрив і одержанню продукції, вільної від нітратів. Розроблено високочутливі методи масової діагностики вірусів картоплі, буряка, овочевих, кормових, плодових та інших культур на основі імуноферментного аналізу. Освоєно метод і технологічний процес виробництва мікробного каротину. Ефективність його застосування для підвищення молочної й м'ясної продуктивності тварин і схоронності молодняку зросла в середньому на 15%. Почато дослідно-промислове виробництво біосинтетичних регуляторів (гібереліну, фузікокцину, картоліну). Синтезовано, випробувано й рекомендовано до виробництва більше 25 регуляторів росту рослин; розробляються технологічні регламенти їхнього застосування для різних культур (овочевих – картоплі, буряка – і плодових) з метою підвищення стійкості до стресових ситуацій; розробляються процеси оздоровлення

посадкового матеріалу рослин із застосуванням високоефективного інгібітора вірусів. Отримано такі ветеринарні результати біологічні препарати: серійне виробництво діагностікума лейкозу великої рогатої худоби, культуральну вакцину проти ящура, імуноферментну діагностику деяких інфекційних хвороб тварин.

Досягнуто певних успіхів у харчовій промисловості. Отримано комплексні покращувачі хлібопекарських якостей і створено технологію їхнього застосування у процесі виробництва хлібобулочних виробів з борошна з різними хлібопекарськими якостями. Висока роль біологічних процесів у створенні безвідхідного виробництва. У природі відбувається безперервний кругообіг речовин. У світі мікроорганізмів існує велика розмаїтість ферментативних реакцій, які можуть бути основою циклічно замкнених безвідхідних технологій.

На основі вивчення природних явищ учені розробили безліч технологій, що захищають екологію. У багатьох країнах використовуються досить прості установки-ферментери для біоконверсії відходів сільськогосподарського виробництва. Дуже важливу роль відіграють мікроорганізми в очищенні вод від відходів молочної й целюлозно-паперової промисловості, у виробництві добрив і барвників, у знезаражуванні шкідливих газів. Мікроби розкладають і виводять із навколишнього середовища різні пластмаси, нафту й продукти її переробки, пестициди й мийні засоби. Деякі з них здатні вловлювати й накопичувати рідкі й дорогоцінні метали.

Очищення стічних вод від органічних забруднень є однією з актуальних проблем сучасної цивілізації. Біологічні методи видалення забруднень загальноновизнано вважаються найбільш економічно ефективними й прийнятними. Найбільш широке застосування одержало очищення за допомогою анаеробних мікроорганізмів, здійснюване в аеротенках, біофільтрах і біоставках. Усунути недоліки наявних анаеробних технологій може попередня анаеробна обробка стічних вод методом метанового бродіння, вона не вимагає витрат енергії на аерацію й утворює корисний енергоносіє – метан. Біомаса мікроорганізмів має до того ж добрі водовіддаючі властивості й зводить нанівець проблему обробки й утилізації мулу.

Мікроорганізми ефективно використовують і для рекультивації земель, особливо гірничорудних підприємств, вони відновлюють структуру ґрунту, допомагаючи рослинам витягати важкодоступні форми

фосфору й інших поживних елементів. При цьому мікроби одержують енергію й матеріал для росту й розмноження, що поповнює ресурси біогенної речовини. На відміну від мікробів, навіть хімічне виробництво, не може здійснити синтез білка й інших речовин із простих елементів. Фотосинтезувальні бактерії й мікроскопічні водорості – рекордсмени із перетворення сонячної енергії (використовують 3,5% порівняно з 1% у рослин). Вони дають 50 – 80 т біомаси на рік з 1 га водного дзеркала, у тому числі очисних ставків. Завдання технології полягає в тому, щоб з максимальною вигодою використовувати всі ці властивості мікроорганізмів і їхню біомасу.

Генетична інженерія. Сучасна біотехнологія заснована на генетичній інженерії, що відкриває перед людством незвичайні, часом фантастичні перспективи в багатьох галузях. Генетична інженерія – це спрямована зміна спадкоємних властивостей організму шляхом перенесення генетичного матеріалу або впливу на гени, що визначають ту або іншу ознаку. Раніше для перенесення генів застосовували в основному метод статевої гібридизації, що заснований на перекомбінації батьківських генів, інтрогресії й має випадковий і непередбачуваний характер. Генетична інженерія дозволяє на відміну від статевої гібридизації вводити в геном організму тільки вибраний ген, причому будь-якого походження, поза зв'язком з статевою сумісністю, виключає необхідність тривалих доборів, розширює можливості організму, прискорює й полегшує завдання поліпшення якості рослин та ін.

Методи генетичної інженерії допоможуть здійснити заповітну мрію всіх рослинників – додати сільськогосподарським рослинам таких властивостей, як стійкість до хвороб і шкідників, морозо- і посухостійкість, і створити сільськогосподарські рослини із вбудованим геном фіксації вільного азоту повітря. У генетичній інженерії сформувалося два підходи: генна й клітинна інженерія.

Генна інженерія. Успіхи молекулярної генетики, розшифровка структури гена відкрили можливість генної інженерії, що заснована на пересадженні, впровадженні в геном клітини штучно створених або природних генів, що приводить до зміни спадкоємних властивостей клітини. Стала реальністю споконвічна мрія вчених і селекціонерів про цілеспрямовану наслідувану зміну організмів. З появою методів генної інженерії стало можливим конструювання принципово нових, неймовірних форм рослин, тварин і мікробів, суперпродуцентів тих або

інших необхідних нам речовин, які навіть важко сьогодні уявити. За допомогою генної інженерії людство зможе одержати рослини з незвичайними господарсько-цінними ознаками, важкодоступні медикаменти: інсулін, соматотропін (гормон людського росту), соматостатин (регулятор росту), альфа-, бета-, гамма-інтерферони, гамма-глобуліни, багато антибіотиків. Сучасна наука може здійснити спрямований ферментативний синтез практично будь-якої біологічно активної речовини. Від генної інженерії ми можемо очікувати рятування людей від спадкоємних хвороб і злоякісних пухлин. Однак у галузі генної інженерії існують значні труднощі й проблеми.

Морально- і соціально-етична проблеми. Було б помилкою вважати, що перспективи генної інженерії безхмарні. Генна інженерія вселяє не тільки великі надії, але й накладає величезну правову й морально-етичну відповідальність на всіх дослідників біологічних процесів і суспільство в цілому. Деякі дослідники висловлюють побоювання із приводу використання генної інженерії. Основоположник молекулярної генетики Уотсон виступив із проханням заборонити роботи з генної інженерії, так само, як свого часу Оппенгеймер, батько атомної бомби, виступив проти створення цієї страшної зброї. У 1974 р. був накладений добровільний мораторій на деякі види досліджень у галузі генної інженерії, однак у 1975 р. на міжнародній Асиломорській конференції в США мораторій був відмінений, тому що очікувані блага від генної інженерії перевищують передбачувану шкоду.

Що ж викликає побоювання дослідників? Генна інженерія дає можливість подолання генетичних бар'єрів між організмами, які до того не вступали в генетичний контакт. Широке застосування нових ефективних способів трансформації організмів різко впливає на навколишнє середовище й саму людину. Подібного ніколи в людській практиці не спостерігалось. Створювані рекомбінантні молекули є новими генетичними системами, властивості і наслідки яких неможливо передбачити. Ступінь ризику обумовлений тим, що основний об'єкт досліджень – мікроорганізми, які мають значну природну поширеність, швидко розмножуються й володіють здатністю до обміну генетичною інформацією. Можна синтезувати форми із зовсім новою генетичною якістю, що раніше не зустрічалася на Землі, проти яких людина виявиться безсилою.

Особливої гостроти це питання набуває у випадку застосування генної інженерії безпосередньо до людини, її природної мікрофлори. Наприклад, введення в кишкову паличку генів стійкості до антибіотиків,

утворення токсинів. Так, введення генів ботулінічної палички, відповідальних за токсиноутворення, у плазміді кишкової палички веде до утворення страшної бактеріологічної зброї. Включення в плазміді генів викликає злякисне переродження клітин (онкогени) і т. д.

Навіть проста недбалість експериментатора або його некомпетентність можуть призвести до непоправних наслідків. Однак небезпечні не тільки випадкові експериментальні помилки, але й спрямована діяльність прихильників гонки озброєнь. Можливі свідомі, спрямована селекція шкідливих для людства генних рекомбінацій, створення свого роду біологічної ядерної бомби.

Виробництво бактеріологічної зброї, на відміну від атомних, водневої бомб, не вимагає великих капіталовкладень, енергетичних витрат, та й може бути легко замасковано якою-небудь необразливою й навіть шляхетною метою наприклад, виготовленням гормонів, вакцин і т. д. Звичайно, така зброя небезпечна й для того, хто її виготовляє. Але атомні й водневі бомби теж небезпечні, однак це нікого не зупиняє.

Деякі вчені дивляться на генну інженерію більш оптимістично, думаючи, що клітини й віруси співіснують уже мільярди років, не викликаючи потрясінь у біосфері. Кишечник людини є прекрасним хемостатом з ідеальними умовами для експерименту з непередбаченими результатами, де співіснують мікроорганізми з різними фрагментами ДНК.

Науку не можна зупинити; гена інженерія є центральним шляхом розвитку молекулярної генетики й наближає нас до вирішення багатьох проблем. Не заперечуючи наявності ризику, доводиться визнати необхідність генетичного конструювання, зрозуміло, дотримуючись усіх заходів безпеки. Використання генної інженерії обмежене вирішенням методичної проблеми й пов'язаними з нею технічними труднощами.

Трансгеноз (перенесення) спадкоємної інформації здійснюється в кілька етапів, кожен з яких має свої труднощі. Перший – одержання або виділення необхідних генів, що мають певну функцію. Існує два шляхи одержання генів: штучний (хімічний) синтез, що в принципі здійснений, але трудомісткий і дорогий, і природний – виділення генів із природних джерел, що також пов'язано з великими труднощами. На сучасному етапі виділено й детально охарактеризовано близько 100 різних структурних генів рослин. Другий – одержання рекомбінантних (гібридних) молекул, які складаються із ДНК бактеріального або вірусного походження (вектора) і необхідного гена. Мистецтво одержання рекомбінантних молекул можна

вважати, в принципі, вирішеним завданням, однак це пов'язано з деякими технічними труднощами. Третій – трансгеноз – введення рекомбінантної молекули (гена або генів) в інший організм. Тут труднощі полягають у тому, що клітина бореться із чужою ДНК, блокує й кришить її за допомогою ферментів. Шляхи подолання цього бар'єра розроблені. Перенесення генів в організм може бути здійснене декількома шляхами. У рослин розроблені два альтернативних підходи – введення генів за допомогою векторних систем і пряме введення генів у рослинні клітини.

Перший спосіб базується на використанні природної векторної системи ґрунтових агробактерій. Трансгеноз у рослин – явище, досить розповсюджене в природі. Ефективними переносниками генів у рослини є бактерії й віруси. Чужорідні гени, як правило, стабільно зберігаються в геномі й проявляються в потомстві відповідно до законів Менделя.

Пряме введення ДНК у клітину здійснюють механічним шляхом, під впливом хімічних речовин (поліетиленгліколю), мікроін'єкцій і генетичних пістолетів у спеціальному пристрої, у вакуумі, рослини бомбардуються вольфрамовими частками, покритими генетичним матеріалом. Цей спосіб використовується в основному для чорнових сільськогосподарських культур, для яких застосування векторної системи перенесення генів ускладнене. Таким чином, створена реальна можливість переносити з одного організму в інший певні гени або їхні співтовариства (локуси), а разом з ними наділяти організми відповідними новими ознаками. Так виникли “рукотворні”, створені в лабораторії й невідомі природі форми трансгенних мікроорганізмів, рослин, тварин, наділених корисними ознаками.

У сільському господарстві впровадження чужих (чужорідних) генів у геноми вищих рослин відбувається значно складніше, ніж у бактеріальні, та й векторів для переносу генів таких надійних, як у бактерій, ще не отримано. Проте вдалося вмонтувати за допомогою плазміди деякі гени рослинам. Перша у світі генно-інженерна химерна рослина “санбин” отримана у США в результаті перенесення за допомогою векторної системи гена запасного білка бобів (фазеоліна) у геном соняшника. З 1984 по 1987 рік отримані трансгенні рослини тютюну, томатів, салату-латуку, люцерни, рапсу, соняшника, бавовнику.

На методах генної інженерії побудована ідея створення пшениці та інших злакових культур, які можуть засвоювати атмосферний азот. Значимість вирішення цієї проблеми важко переоцінити, тому що азотні

добрива дорогі, засвоюються рослинами на 40 – 50%, а залишки перетворюються в небезпечні канцерогенні нітрати й нітрити у високих концентраціях. Симбіотичні бактерії клубнів ризосфери бобових рослин синтезують іон амонію з атмосферного азоту N_2 . Цю реакцію здійснює фермент нітрогеназа. Зараз ведеться посилена робота з передачі нф-генів пшениці й іншим небобовим рослинам або безпосередньо рослинам чи бактеріям ризосфери цих рослин. Це обіцяє подвоєння врожайності й підвищення білка в зерні до 18 – 20%.

Впровадження в геном пшениці генів, що детермінують тваринні білки, таких як м'язовий білок міозин, може наблизити хліб за якістю до продуктів тваринного походження. Збагачення корисними білками, вуглеводами й жирами дозволить сконструювати високобілкові полівітамінні овочеві культури, свого роду рослинні “біфштекси”. Перші успішні кроки генної інженерії дозволяють висувати сміливі ідеї зміни природи культурних рослин. Як відомо, всю продукцію рослинного світу створює зелений лист у процесі фотосинтезу. Але різні рослини мають неоднакову фотосинтезаційну здатність. Поряд із синтезом органічної речовини частина його витрачається на дихання з виділенням вуглекислого газу. Деякі рослини групи Z_3 (злакові культури) втрачають його до 50%. Водночас рослини тропічного походження групи Z_4 (кукурудза, сорго, цукровий очерет) більш раціонально використовують сонячну енергію (ефективність фотосинтезу вдвічі вища). У їхніх клітинах виробляються особливі ферменти, які відразу зв'язують вуглекислий газ, що виділяється під час дихання, і використовують для синтезу більш складних органічних сполук. Ці ферменти детермінуються певними генами, які можна використовувати в генній інженерії. Так, в Австралії генно-інженерним шляхом створили люцерну, в яку включені гени гороху, що кодують синтез сірковмісних білків, необхідних для швидкого відростання вовни овець (на 5% збільшується настриг вовни).

Дуже важливе завдання генної інженерії – поліпшення амінокислотного складу запасних білків зерна злаків, у першу чергу лізіна й треоніна, тому що запасні білки зернових дефінітні за лізином (менш ніж 1%). К. Джейнс синтезував фрагмент ДНК, що кодував неприродний білок, який складається на 80% з незамінних амінокислот. Безсумнівно, що генна інженерія може допомогти перебороти перешкоду у вирішенні цієї важливої проблеми, перед якою традиційна селекція поки що безсила. Введення в рослини гена, що копіює солодкий білок тауматин, може

поліпшити смакові якості багатьох фруктів, не збільшуючи вмісту вуглеводів. За допомогою генної інженерії вдалося підвищити легкість томатів за рахунок різкого зниження в помідорах активного ферменту полігалактуронази, що бере участь у розм'якшенні помідорів.

Гербициди проникають не тільки в бур'яни, але й у культурні рослини, порушуючи фото- і біосинтез, забруднюючи продукцію. Генна інженерія дозволяє створити наступні типи стійкості до гербицидів: транспортний – одержання мутантів з порушенням транспортування (проникнення через мембрану клітини) гербициду в клітину; гербицид руйнується або змінюється ферментами в неактивну форму; регуляційний – рослина повинна виробити якнайбільше ферменту, який інактивує гербицид, щоб клітина могла компенсувати недолік “зіпсованого” гербицидом білка – ферменту; контактний – можна одержати трансгенну рослину зі зміненим білком, що не здатний зв'язуватися з гербицидом і тому гербицид виявиться неактивним; трансгеноз генів (наявних у рослинах, мікробах), що виробляють ферменти, що руйнують гербициди. У США виробляються трансгенні рослини рапсу, сої й бавовнику, стійкі до гербициду раундап (гліфосат).

Генна інженерія дозволяє одержувати стійкі до вірусних захворювань рослини. Вірусні білки можуть бути використані не тільки для створення чутливих діагностиків, але й для виробництва вакцин проти рослинних вірусів. У США створені трансгенні рослини томату, що містять гени білка оболонки вірусу тютюнової мозаїки, завдяки чому вони стійкі й до інших вірусів. У Голландії випробовують стійкі до вірусів рослини картоплі, яким був уведений ген білка Х-вірусу картоплі.

Генно-інженерними методами в геном рослини вводяться гени, що кодують білки, токсичні для багатьох комах, шкідників сільськогосподарських культур і в такий спосіб одержують трансгенні рослини, стійкі до шкідників. На відміну від синтетичних пестицидів бактеріальні токсини екологічно чисті. У США створені стійкі до комах рослини бавовнику, томатів, тютюну, у КНР – трансгенні рослини рису й капусти, що виключає застосування гербицидів.

Генна інженерія робить реальною мрію генетиків – замінити однолітні злаки, наші хлібні рослини на багаторічні, а надалі й на дерева: хлібні, ягідні, плодові, горіхові, які можна вирощувати й на незручних землях, схилах гір і які не виснажують, а збагачують землю. Однолітні злакові – вимушене надбання людства. Коли зникли великі травоядні

тварини – основне джерело їжі людини, – вона, як потопельник, хапається за соломинку – стебло злакової рослини. З тих пір щороку мільйони гектарів планети нещадно терзаються сільськогосподарськими знаряддями, забруднюються гербіцидами, пестицидами, добривами – і все це ціною величезних витрат праці, невідновних витрат нафтопродуктів, забруднення навколишнього середовища. Площі, придатні під рілля, скорочуються, роз'їдаються ерозією, засоленням, заболочуванням. Родючість ґрунту знижується.

Турбота про майбутні покоління вимагає корінної перебудови сільського господарства за допомогою науки вже зараз, тому що питання про створення нових порід дерев із заданими властивостями дуже складне і потребує для свого вирішення десятків років. Генна інженерія вирішує проблему синтезу штучної їжі. Уже зараз у мікроорганізми “вставляють” гени, що управляють синтезом незамінних амінокислот. Ставиться завдання створення дріжджів, бактерій, що виробляють харчові білки, які не відрізняються за складом від білків м'яса, риби, яєць. Ростити такі штами передбачається на дешевих субстратах – відходах цукрової й лісової промисловості, спиртах, навіть на вуглеводах і парафіні. Виведення мікроорганізмів, що споживають нафтопродукти, важливе й для вирішення іншої, не менш складної проблеми – охорони навколишнього середовища від нафтового забруднення. Уже створені штами бактерій псевдомонас, які можуть харчуватися компонентами нафти.

Перед генною інженерією стоїть проблема штучного фотосинтезу: одержання цукру з води й вуглекислого газу. Великі перспективи відкриває генна інженерія й у тваринництві. На сьогодні розроблена технологія ін'єкції ДНК у запліднену яйцеклітину й одержання спадково змінених (трансгенних) тварин з підвищеною продуктивністю й стійкістю проти небезпечних захворювань. Розроблено генно-інженерні методи із пересадження зигот і ембріонів (для свиней, овець, кроликів та інших тварин), метод хірургічного розподілу ембріонів, що дозволяє множити кількість нащадків від особливо корисних тварин. Гормон пролактин, що контролює виробництво організмом молока, детермінується геном, що піддається генній інженерії. У цьому криється перспектива підвищення надоїв молока. Цілком реальне одержання гігантських або карликових тварин. Створено національний банк біосинтетичних генів для введення в геном з метою прискорення процесів селекції й створення високопродуктивних, стійких до стресів і захворювань тварин.

У недалекому майбутньому методи генної інженерії дозволять селекціонерам, подібно до скульпторів, ліпити нові, які не існують у природі форми рослин і тварин з бажаною комбінацією господарсько-корисних ознак і високим потенціалом продуктивності. Генна інженерія на мікроорганізмах уже зараз дозволяє одержувати дефіцитні людські препарати: інсулін, інтерферони, гамма-глобуліни, гормони регуляції росту (соматотропин, соматостатин) та ін.

Значний розвиток отримала генна інженерія в медицині. Розроблено методи одержання “чистих” вакцин і сироваток проти мікробів і вірусів. Зараз їх одержують із убитих або ослаблених мікробів і вірусів, але вони небезпечні, тому що в них утримуються нуклеинові кислоти. Чисті оболонкові білки-антигени можна одержувати в більших кількостях тільки за допомогою генної інженерії, вмонтувавши гени оболонкових білків у плазміді. Так, створена вакцина проти інфекційного гепатиту (хвороби Боткіна), розробляється вакцина проти грипу.

Наприкінці 50-х років учені відкрили інтерферони. Ці захисні білкові сполуки виробляються організмом у відповідь на вторгнення чужих йому агентів і реагують на будь-які віруси, на відміну від антитіл, дія яких вибіркова. На жаль, людину може вилікувати тільки людський інтерферон, що здобувається з лейкоцитів донорської крові. Однак потреба в ньому така, що для її задоволення не вистачило б крові всього людства. За допомогою генної інженерії в кишкову паличку “вмонтували” ген людини, що детермінує виробництво лейкоцитарного інтерферону. Один літр мікробної культури дає інтерферону в 5 тисяч разів більше, ніж один літр донорської крові. Ін'єкції інтерферону дозволяють лікувати різноманітні вірусні хвороби: грип, вірусний гепатит, герпетичний кератит і багато чого іншого. Крім того, виявилось, що інтерферон з успіхом можна використовувати в онкологічній практиці.

Аналогічні способи розроблені для одержання людського інсуліну (нині інсулін одержують із підшлункової залози великої рогатої худоби і свиней, і він не зовсім відповідає людському інсуліну), гормону росту (соматотропіну), регулятора росту (соматостатину). За ними передбачається одержувати природні препарати для посилення імунітету, для запобігання тромбам у кровоносних судинах, рибофлавіну (вітамін) та ін. Розробляється технологія виробництва антибіотиків на якісно новому рівні: з метою збільшення кількості антибіотиків з розширеним спектром дії, які не мають негативного впливу на організм.

Генній інженерії буде зобов'язана й онкологія. Імовірність злоякісного переродження хоча б однієї клітини із трильйонів, що складають організм людини, настільки велика, що всі ми повинні були б умирати від раку ще в стадії ембріона, отже, в організмі є системи, що придушують злоякісні клітини. Американський учений С. Р. Бурзинський досліджував людей, у яких спостерігалася спонтанна ремісія – мимовільне розсмоктування злоякісних пухлин (такі випадки рідко, але все-таки спостерігаються). Він припустив, що організм людини в нормі виробляє якісь білки, що розпізнають і блокують злоякісні клітини. Йому вдалося виділити з людської крові й сечі 4 білки, які на 96 – 97% пригнічують ріст злоякісних клітин (antineoplastoni). Лікування антинеопластами, виділеними із крові або сечі, практично нереальне. Витрати на 1 хворого дуже великі. Але ген такого маленького білка (45 нуклеїнових ланок) відносно просто синтезувати й вставити в плазмід, а потім вирощувати бактерії з такими плазмідами в необмежених кількостях.

Не менш перспективний об'єкт для генної інженерії – білок росту нервів зі 118 амінокислотних ланок з розшифрованою послідовністю, він стимулює ріст відростків нервових клітин – аксонів. Більше того, він перетворює звичайні клітини в нервові. Слід згадати, що нервові клітини ссавців не діляться й не відновлюються. Спадкові хвороби вважаються невиліковними (їх описано більше 1,5 тисяч), але знизити ступінь їхнього прояву можна. Головне, знайти генетичну причину, дефектний ген і білок-фермент, що він детермінує.

Цукровий діабет – одна з тих рідкісних спадкових хвороб, для лікування якої можна використовувати чужий білок, але краще – людський. Інсулін – найважливіший гормон, який керує вуглеводним обміном. Людський інсулін одержують за допомогою генної інженерії.

Гіпофізарна карликовість може лікуватися тільки людським гормоном росту – соматотропином – за допомогою генної інженерії. Гігантизм лікується соматостатином, антагоністом соматотропина, який виробляється гіпоталамусом і також можна одержати за допомогою генної інженерії. Нервові хвороби також можуть лікуватися за допомогою генної інженерії. Відомі природні фактори білкової природи (енкераліни, ендорфіни), що управляють діяльністю мозку. Одержати їх можна лише методом генної інженерії. Психіатри вважають, що їхнє широке використання приведе до такої ж революції у психіатрії, яку здійснили антибіотики в терапії. Спадкові хвороби можна буде не тільки лікувати, але й діагностувати за допомогою генної інженерії. Уже виявляють

гемофілію, таласемію. Проводять діагностику плоду. У перспективі буде розроблятися генна хірургія.

Клітинна інженерія. Сучасна технологія все ширше застосовує окремі клітини й ізольовані тканини складних багатоклітинних організмів – тварин і рослин, культивуючи їх у штучних умовах. Рослинні клітинні культури сьогодні застосовуються для: збереження живого банку сортів (генотипів) цінних рослин; швидкого й широкомасштабного мікроклонування (розмноження) рослин; знезаражування рослин від багатьох вірусних хвороб; інтенсифікації селекційного процесу різними шляхами; одержання унікальних рослинних речовин (ліків, харчових барвників і добавок).

Перші спроби культивування тканин (меристемних кінчиків коріння томатів і кукурудзи) були зроблені на початку нашого століття. У 1960 – 70-х роках англієць Кокинг розробив методи одержання ізольованих протопластів, їхнього культивування й регенерації в окрему клітину. Сьогодні практично з будь-якої рослини можна виділити окремі клітини або тканини й розмножити їх на спеціальних середовищах у пробірці, колбі, ферментері. При цьому утворюються калусні культури клітин. Шляхом впливу певною комбінацією фітогормонів з таких калусів відтворюють цілу рослину або розмножують у необмеженій кількості окремі його частини (корінь, пагони). Більш зручними для промислового виробництва різноманітних речовин рослинного походження є суспензійні культури. Їх використовують для одержання моноклональних антитіл, ферментів, гормонів та інших продуцентів, які використовуються в медицині, парфумерії, харчовій промисловості (інсулін, інтерферон, аймалін, кортикостероїди, женьшень, сичуговий фермент та ін). З цією метою все частіше вдаються до культур “живих клітин”, спеціально “сконструйованих” генною інженерією.

Якщо для цього брати меристемні тканини, то можна одержати з них рослини, вільні від вірусів. Цей метод широко використовується для звільнення посадкового матеріалу від вірусної інфекції, наприклад, для одержання посадкового матеріалу на безвірусній основі. Цей ефективний спосіб одержання безвірусних рослин є дуже важливим прийомом в елітному насінництві. Урожай безвірусної картоплі в 2 рази вищий від звичайного. На сучасному етапі перейшли від пробіркового до більш ефективного способу їхнього вирощування: у теплицях одержують від 1,5 до 7 тис. бульб на 1 м² посадки картоплі. Таким способом одержують посадковий матеріал гарбузових, часнику, цибулі, гвоздик та ін.

Вирощування гаплоїдів – складне завдання. Воно може бути полегшене клітинною культурою чоловічих і жіночих статевих клітин з одержанням гаплоїдної калусної тканини з пильовиків і насіння на живильних середовищах. Таким методом селекціонери КНР створили кілька сортів рису й пшениці, у нашій країні – сорт ячменя “Одеський”.

Соматична гібридизація й подолання несхрещуваності. Можливості традиційних методів селекції (внутрішньовидова гібридизація й добір) обмежені генетичним потенціалом виду. Потрібні пошуки методів збагачення генотипів культур новими господарсько-корисними ознаками. Одним із таких методів є віддалена гібридизація, особливо з дикоростучими рослинами, що мають дуже корисні властивості, відсутні або слабо виражені в сучасних сортів сільськогосподарських культур: стійкістю до фітофтори, вірусів, раку, колорадського жука в диких видів картоплі, високою зимостійкістю, стійкістю до грибкових хвороб, великою продуктивною кущистістю, багаторічністю, високим вмістом білка в пирії сизому і т. ін. Але для застосування віддаленої гібридизації в селекції рослин є велика перешкода, що виражається в несхрещуваності видів між собою через фізіологічну несумісність. Статева несумісність між рослинами часто перешкоджає потенційно корисним схрещуванням.

Сьогодні розроблений метод гібридизації на принципово новій основі – гібридизації соматичних клітин шляхом злиття ізольованих протопластів, минаючи бар'єри статевого процесу. Це ще один, крім генної інженерії, біологічний спосіб перетворення рослин шляхом клітинної інженерії, тобто метод конструювання клітини, а на її основі й рослини з новими властивостями. Досягається це шляхом руйнування клітинних стінок (поліетиленгліколь, вірус Сендай) і злиттям протопластів клітин, у результаті чого утворюються гібридні клітини, з яких у спеціальному середовищі при впливі фітогормонами можна одержати гібридну рослину, що містить обидва набори батьківських хромосом. Можливе злиття клітин не тільки одного виду, але й різних видів, сімейств, класів, що важко й навіть неможливо здійснити за віддаленої гібридизації.

Сучасна наука може одержувати з різних клітин цілком життєздатні, здатні до розмноження гібриди. При цьому вдається поєднувати клітини у всіляких комбінаціях, що не існують у природі. Злиття соматичних клітин дозволяє, на відміну від статевої гібридизації, відразу одержувати амфидиплоїди, що дозволяє перебороти бар'єр стерильності гібрида першого покоління. Створені широко відомі соматичні гібриди між

картоплею й томатами (політопля, помати). Гібриди цих рослин мають ознаки обох культур. Однак, крім цікавої для науки ідеї – одержати на одній рослині й “вершки” і “корінці”, практично корисної рослини поки що не отримано. І все-таки це перший крок на шляху до створення суперрослин, що поєднують корисні властивості різних видів. У Японії шляхом злиття протопластів картоплі й дикого томату отриманий сорт картоплі, стійкий до посухи, а між культурним і диким видами картоплі – сорт, стійкий до багатьох хвороб.

Соматичною гібридизацією створені гібриди різних віддалених форм: соя-ячмінь, кукурудза-рапс, соя-морква, горох-соя-горох, рослина-бактерія, наприклад, гібрид буряка зі шпинатом має їстівні коренеплоди, листя й насіння з високим вмістом білка. Висловлюються обґрунтовані надії на одержання гібридів зернових культур, здатних фіксувати вільний азот повітря (рослина – азотфіксувальні водорості). У США використовують соматичну гібридизацію для створення рослин картоплі, що накопичує в листі лептин, токсичний для колорадського жука (культурна картопля – дикоростуча картопля, що несе ген лептину). Отримано гібридні клітини людини, різних ссавців (мишей, пацюків, хом'ячків, курки) та інших тварин. Життєздатні гібриди утворюються при злитті клітин миші й птахів (різні класи). Показано принципову можливість злиття клітин ссавців із клітинами рослин (різні види). Хоча довгоживучих гібридів у цьому випадку створити поки що не вдається. Неодмінною умовою використання соматичної гібридизації в селекції рослин є можливість стабільного одержання з ізольованого протопласта повноцінної рослини. Найбільші труднощі для регенерації повноцінних рослин становить група зернових культур. Розробляються методи прямого перенесення генетичного матеріалу в протопласти. Останні доводили тільки до стадії калусів. Повноцінні рослини були отримані тільки рису й кукурудзи.

Соматична гібридизація ставить своєю метою не тільки створення гібридів. Вона дозволяє вирішити й інші дуже важливі проблеми. Наприклад, чисті специфічні моноклональні антитіла (гамма-глобулін проти кору, грипу, інтерферони та ін.) одержують за допомогою гібридом. Гібридами утворюються в результаті злиття ракової клітини з імунними лімфоцитами, що синтезують певні, специфічні антитіла, які використовуються в медицині, хімії, сільському господарстві. Гібридома отримує при цьому властивості обох батьків: здатність до необмеженого росту, властивого для пухлинної клітини, і здатність синтезувати антитіла

й інші речовини, властиві імунному лімфоциту. Відомі нам гамма-глобуліни, інтерферони одержують із сироватки крові людини. Але для достатньої їхньої кількості не вистачить крові всього людства. До того ж сироваткові антитіла недостатньо специфічні (з домішкою інших антитіл), сторонні білки стають навантаженням для організму. Гібридами дозволяють перебороти зазначені труднощі. Вони синтезують моноклональні винятково специфічні антитіла, можуть бути розмножені в будь-якій кількості у вигляді культури або у тварині. Гібридами в замороженому вигляді можуть зберігатися нескінченно довго. Такі моноклональні антитіла є ефективними, малотоксичними ліками, вони можуть використовуватися і як діагностичні препарати для груп крові, антигенів несумісності, раннього виявлення вагітності, наявності багатьох речовин у рослинах і продуктах сільськогосподарського виробництва. Моноклональні антитіла широко використовуються в процесі діагностики більше 100 хвороб людини й тварин. Така діагностика проста, швидка й надійна. За допомогою інших гібридних клітин можна досліджувати механізм перетворення нормальної клітини в злоякісну, вивчати закономірності взаємодії найрізноманітніших вірусів із клітинами тварин і людини.

Ензимна інженерія. Біосенсори є унікальними за своїми можливостями аналітичними системами, придатними для практичного використання у сферах людської діяльності. Біосенсори поєднують в одному пристрої сенсорну систему на основі біомолекул, що реагують селективно й з високою чутливістю на присутність конкретного агента змінами фізичних характеристик (температури, фарбування, флюоресценції, електричного опору тощо) і детектирувальну систему, що перетворює ці зміни й забезпечує обсяг інформації у вигляді специфічних сигналів.

Чутливий елемент біосенсорів включає біологічну макромолекулу, як правило, в іммобілізованому стані (фермент, антитіло, рецептор), вибіркова взаємодія якої з відповідним субстратом, інгібітором, антигеном або специфічним лігандом супроводжується змінами в реакційному середовищі, які кількісно детектуються. Біосенсори першого покоління – ферментні й мікробні електроди – дозволяють здійснювати визначення опосередковано, наприклад, за змінами властивостей середовища, які викликані або реакційним продуктом, або одним із компонентів реакції. На сьогодні ведуться роботи над створенням другого покоління біосенсорів,

які забезпечують пряму зміну аналізованої речовини в пробі. Для цього біологічно активне з'єднання іммобілізують безпосередньо на потрібному конструктивному елементі самого біосенсора. Специфічне зв'язування з ним проявляється в зміні конфігурації, маси й інших параметрів сенсора. Наприклад, широко використовують селективні мембрани, нанесені на затвор польового транзистора. Під час взаємодії включеної в мембрану речовини з досліджуваною сполукою спостерігається зміна потенціалу затвора.

Створено переважно лабораторні екземпляри біосенсорів третього покоління, що забезпечують у замкненій контрольованій системі зворотний зв'язок з аналізованим об'єктом: прикладом таких вимірювальних пристроїв можуть бути біочіпи – інтегральні мікросхеми із включеними в них біомолекулами. У процесі виготовлення біочіпів використовують планарну технологію виробництва інтегральних схем. Спочатку на кристалічну пластину із уже сформованими ділянками польових транзисторів наносять селективні мембрани з іммобілізованими біомолекулами й полімерні плівки для формування перегородок між окремими сенсорами, після чого пластину розріжуть на окремі фрагменти – чіпи. Уже зараз біосенсори можуть бути використані для контролю над багатьма виробничими процесами.

Хінопротеїди – новий клас ферментів для використання в біосенсорах. Біосенсори на основі ферментів можуть застосовуватися для селективного й чутливого аналізу різних речовин. Хінопротеїди мають особливі властивості, завдяки яким вони ідеально підходять для застосування у ферментних електродах. До хінопротеїдів належать наступні ферменти еукаріот: аміноксидаза плазми крові, діаміноксидаза, лізілоксидаза, холін-дегідрогеназа, ліпоксигеназа, дофа-дегідрогеназа, дофамин- β -гідро-ксилаза. На основі хінопротеїдів можна конструювати ферментні електроди, призначені для медичних цілей, технологічних процесів ферментації й переробки харчових продуктів, а також для контролю середовища перебування.

Перспективи біотехнології. Біотехнологія створила нову технологічну парадигму, тобто новий спосіб технологічного й економічного мислення, методи вирішення проблем, що постають перед виробниками. Вона не створює нової галузі, як, скажімо, інформатика або телекомунікації, а розосереджується всередині вже наявних видів виробничої діяльності, таким чином вона стає дієвим інструментом посилення внутрішньовиробничої системи таких основних тенденцій

сучасного розвитку економіки, як дематеріалізація виробничого процесу, тобто перехід від виробництва продуктів до виробництва функцій. З наростанням енергетичної кризи 70-х років технологія, заснована на біологічних процесах, створювала можливість заміни невідновлюваних ресурсів поновлюваними, вона розцінювалася як спосіб вирішення проблем, пов'язаних із дефіцитом невідновлюваних природних ресурсів. Вважалося, що в найближчому майбутньому біомаса зможе замінити нафту не тільки як джерело енергії, але і як матеріал для виробництва проміжної сировини для органічної хімії. Високо оцінювалася потенційна роль цієї технології в економії енергетичних витрат, пов'язана із заміщенням у хімічній промисловості каталітичних методів методами ферментації. Очікувався також значний внесок у справу охорони навколишнього середовища за допомогою створення нових високопродуктивних штамів мікроорганізмів, використовуваних, для очищення промислових відходів. Однак, сьогодні виробництво біогазу й спирту з біомаси економічно нерентабельно. Зате найбільше застосування біологічні процеси одержали у фармацевтичній промисловості.

У процесі розгляду внутрішньої структури реалізованих у промисловому виробництві біологічних процесів можливе виділення різних рівнів. Це, по-перше, біологічні науки, що співвідносяться з фундаментальними біологічними дослідженнями (генетикою, молекулярною біологією, біохімією, мікробіологією, ензимологією, імунологією); по-друге, технологія в точному значенні слова, реалізована в прикладних дослідженнях, конструкторських розробках, виробництві нової продукції (генна інженерія, ензимна та імунна інженерія, ферментація, штучна культура клітин, сепарація й очищення); по-третє, галузі або сфери використання нової технології в народному господарстві (охорона здоров'я, харчова промисловість, хімія, сільське господарство, енергетика, охорона навколишнього середовища) – рівень, що співвідноситься з галузевими ринками збуту зробленої нею продукції.

Сьогодні складно провести чітку відмінність фундаментальних від прикладних знань або досліджень. Особливо правильне це твердження стосовно нової технології на основі біологічних процесів, оскільки більшість сучасних фундаментальних досліджень, таких як, наприклад, вивчення структури білків, має перспективу прямого практичного застосування. У зв'язку з цим прогрес фундаментального знання не відбувається сьогодні автономно: він пов'язаний із пріоритетною

орієнтацією суто прикладних досліджень, обумовленої залежно від економічних цілей. Вибір напрямку фундаментальних досліджень залежить сьогодні й від розвитку експериментального устаткування, здатного помітно, а іноді й революційним чином змінити умови розвитку фундаментального знання.

Практична діяльність знову створених підприємств, що реалізують нову технологію, допомогла визначити головні комерційні ніші для застосування біологічних процесів у виробництві різних галузей. Специфіка інноваційної діяльності цих підприємств така, що в її орбіту безпосередньо виявляються залученими не тільки прикладні знання, промислове впровадження й маркетинг продукції, отриманої із застосуванням біологічних процесів, але певною мірою і фундаментальні наукові дослідження. Для того щоб бути конкурентоспроможними, ці підприємства повинні увесь час розташовуватися на так званій технологічній межі – фронті освоєння нових біологічних процесів.

Головні відмінні риси нової технології: це трансверсальний, комбінаційний і комплементарний характер технологічних процесів на основі використання біологічних методів і способів. Їх трансверсальний характер пов'язаний з універсальністю генетичного коду: якими б не були типи живих організмів (тварини, рослини, мікроорганізми), техніка генної інженерії залишається у своїй основі універсальною. Комбінаційний характер нової технології визначається тим, що для одержання кінцевої ринкової продукції необхідне, як правило, сполучення декількох суміжних технологічних процесів. Нарешті, нова технологія комплементарна стосовно традиційних технологічних процесів. Зазначені особливості нової технології впливають на формування підприємницької стратегії біотехнологічних підприємств. Завдяки трансверсальному характеру підприємство, що здійснює капіталовкладення в базові дослідження й технологію, може планувати її кінцеве використання відразу в декількох областях додатка. Через комбінаційний характер підприємства часто стикаються із проблемою одержання доступу до всієї сукупності потрібних технологій і ноу-хау. Виникає необхідність використання стратегії альянсу й кооперації з іншими підприємствами та промисловими групами. Нарешті, комплементарний характер нової технології багато в чому визначає сьогодні залежність логіки її розвитку від логіки розвитку традиційних технологій, завдань прикладних галузей.

Потенціал і структура ринку біотехнологічної продукції вказують на те, що переважним є ринок медичних препаратів і ліків. Головний

комплекс причин криється в більшій інноваційній динамічності фармацевтичних промислових груп порівняно з агрохарчовими. Пов'язано це зі специфікою даних галузей: тоді як конкурентоспроможність у фармацевтиці ґрунтується на створенні нових продуктів, в агрохарчовій галузі вона спирається в основному на маркетинг. Що стосується хімії, особливо такої її галузі, як сировинна хімія, яка випускає проміжну сировину для кінцевої хімічної продукції, то традиційні особливості організації економіки й виробництва в цій підгалузі (необхідність значних капіталовкладень, скорочення витрат виробництва шляхом економії на масштабах виробництва) роблять її досить інертною до біотехнологічних інновацій. Впровадження нової технології в цю підгалузь поки що пов'язане із занадто великим комерційним ризиком, а часто й просто нерентабельно порівняно із традиційними методами переробки.

Сьогоднішні оцінки перспектив розвитку ринку біотехнологічної продукції ґрунтуються на лінійній екстраполяції, виходячи із сьогоднішніх параметрів нової технології й першого покоління продукції, що з'явилася на ринку. Однак нова технологія має у своєму розпорядженні такий потенціал розвитку, конкретні форми якого ще не визначені.

Головні напрямки перспективного розвитку нової технології [19]. По-перше, у генній інженерії відбувається заміщення методів, заснованих на використанні бактерій, на методи, засновані на використанні дріжджів і штучних культур тваринних клітин. Перспективність цих методів криється в більшій білковій продуктивності даних клітин. По-друге, відбувається послідовний перехід від методів, що дозволяють біологічними методами виготовляти вже наявні природні речовини, до створення нових білкових речовин із заздалегідь заданими властивостями. Нарешті, третій напрямок розвитку – це використання біологічної тканини як матеріалу для заміни кремнієвих інтегральних схем і створення “біомікропроцесорів”, які можуть поліпшити якість комп'ютерів.

Дискусії про ризик біологічних процесів розгорнулися задовго до появи перших продуктів або технологічних процесів. Причини стурбованості людей: етичні міркування про генетичні модифікації, особливо пов'язаних з людиною; питання екологічної безпеки поширення в навколишньому середовищі мікроорганізмів; страхи, пов'язані з репутацією біотехнології як радикальної новації з непередбаченими й незворотними наслідками; побоювання із приводу можливості зростання безробіття.

7.7. Основні процеси хімічної промисловості

Виробництво неорганічних кислот, добрив та засобів захисту рослин. Виробництво сірчаної кислоти. За обсягами виробництва сірчана кислота посідає перше місце серед продукції хімічної промисловості [40]. Ця хімічна сполука, яка має формулу H_2SO_4 , безбарвна рідина, кипить при $t = 304^\circ\text{C}$, має властивості розчинювати сірчаний ангідрид $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{SO}_3$. Такий розчин називають олеумом.

Промисловість виробляє наступні сорти сірчаної кислоти: баштову (75% H_2SO_4), регеновану (91% H_2SO_4), технічну (92,5% H_2SO_4), технічну покращену (92,5 – 94% H_2SO_4), олеум (18,5 – 65% SO_3).

У промисловості майже половину сірчаної кислоти використовують для виробництва добрив і кислот. Вона потрібна для виробництва штучного волокна і пластмас, переробки нафтопродуктів. У металургії – для одержання лаків, красок, ліків, спиртів, отрутохімікатів, синтетичних м'яких речовин. У текстильній промисловості – для обробки тканин перед нанесенням фарби, а також для виробництва крохмалю, патоки та ін. Концентровану сірчану кислоту і олеум використовують у виробництві вибухових речовин (нітрогліцерину, піроксилу, тротилу та ін.), а також концентрованої азотної кислоти.

Сірчану кислоту одержують нітрозним і контактним способами. Незалежно від способу виробництва спочатку одержують сірчаний ангідрид SO_3 , який потім переробляють в сірчану кислоту.

Для одержання сірчаного ангідриду найчастіше використовують сірчаний колчедан, а також елементарну сірку, сірководень.

Колчедан має від 38 до 47% сірки, його заздалегідь обробляють з метою відділення кольорових металів від сполук сірки. До складу сірчаного колчедану входить пірит FeS_2 (53,5% сірки і 46,5% заліза), а також до 50 елементів (Au, Ag, Se, As, Cu, Ni, Pb, Zn та ін.). Для виділення сірчаного колчедану руду тонко роздрібнюють і розділяють флотацією на концентрати сульфідів кольорових металів і відходи, які називають флотаційними хвостами або флотаційним колчеданом. Для підвищення сірки в хвостах їх повторно обробляють флотацією і одержують концентрат з 48 – 50% сірки.

Випал сірчаного колчедану здійснюють: у печах для випалу в киплячому (завислому) шарі, в механічних печах, в печах для випалу пиловидного колчедану в завислому “киплячому стані”. Процес випалу

відбувається при температурі 500 – 1 000°C. Піч – це вертикальна циліндрична футерована камера, в нижній частині є решітки, куди весь час подають через завантажувальний пристрій – колчедан (рис. 7.155).

Знизу під решітку подають повітря з такою швидкістю, щоб утримати частинки колчедану в “киплячому” стані. Висота “киплячого шару” може бути від решітки до отвору, через який забирають недогарки колчедану. Чим більший “киплячий шар”, тим повніше вигорає сірка з колчедану.

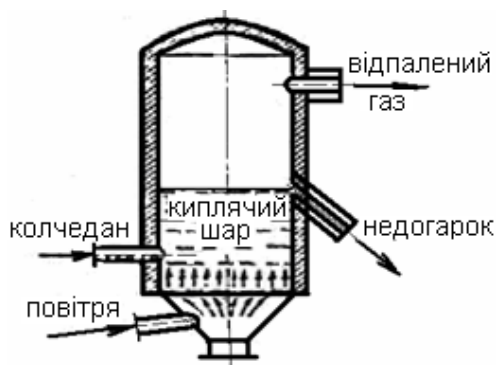


Рис. 7.155. Схема печі для відпалу колчедану в “киплячому шарі”

З верхньої частини печі відходить газ, у якому 12 – 15% SO₂ і до 300 г/м³ пилу. У циклонах і електрофільтрах газ очищають від пилу і посилають на переробку.

Контактний спосіб одержання сірчаної кислоти заснований на окисленні SO₂ киснем повітря в SO₃ за умови обов'язкового контакту SO₂ та O₂ на поверхні твердого каталізатора.

Процес виробництва сірчаної кислоти (рис. 7.156) складається з чотирьох стадій: одержання SO₂, його очищення, контактне окиснення SO₂ до SO₃, абсорбція SO₃ і одержання кислоти.

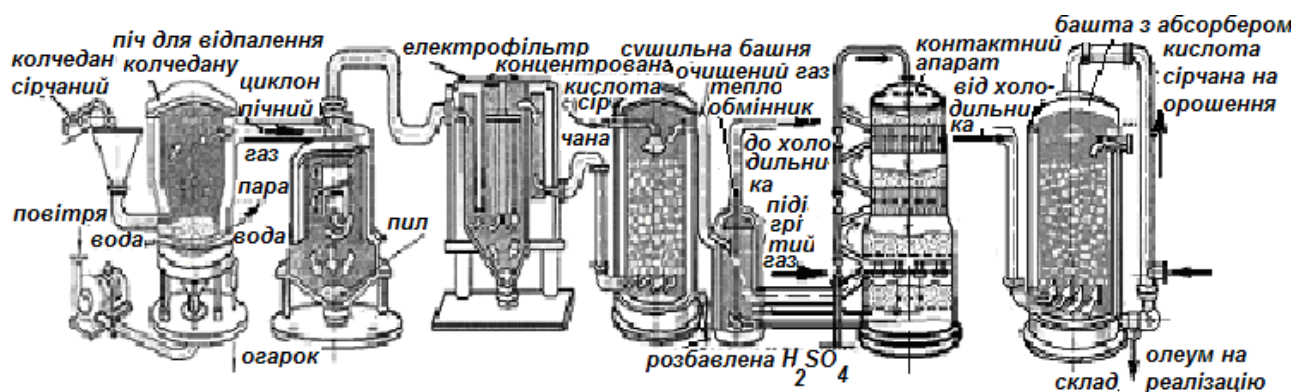


Рис. 7.156. Схема виробництва сірчаної кислоти контактним способом

У колчедановій печі пірит FeS₂ реагує з киснем ($4\text{FeS}_2 + 11\text{O}_2 = 4\text{Fe}_2\text{O}_3 + 8\text{SO}_2$), після чого газ очищають за допомогою циклону і електрофільтру. Далі газ надходить у сушильну башту і теплообмінник. Сушіння виконують шляхом зрошення газу концентрованою сірчаною

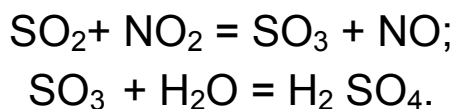
кислотою. Суху суміш газу вентилятором через теплообмінник спрямовують у контактний апарат, в якому розміщенні каталізатори. Окиснення SO₂ киснем за наявності каталізатора називають контактуванням.

Процес відбувається при температурі 450°C. Повноту перетворення SO₂ до SO₃ оцінюють відношенням кількості окисненого SO₂ до того, який потрапив у контактний апарат, і називають ступінь контактування, який дорівнює 97 – 98%. Каталізатори роблять з платини, оксидів ванадію, хрому, олова, заліза, міді, алюмінію. Найчастіше використовують каталізатори з ванадію – вони ефективні й дешевші, ніж платинові.

Сірчаний ангідрид SO₃ надходить через теплообмінник і холодильник до абсорбера, де він розчиняється в сірчаній кислоті, яка рухається в протилежному напрямку. У процесі розчинення SO₃ в концентрованій кислоті отримують олеум, а в процесі розчинення в неконцентрованій кислоті отримують багатогідратні сірчані кислоти.

Сучасні контактні апарати виробляють до 150 кг кислоти за добу.

Нітрозний спосіб одержання сірчаної кислоти заснований на окисненні SO₂ азотом у водному середовищі. Окиснення відбувається в нітрозі, яка становить розчин окислів азоту в сірчаній кислоті:



Оксид азоту окиснюється киснем повітря до NO₂ і після розчину повертається для взаємодії з SO₂.

Установка має п'ять башт діаметром 4 – 6 м і висотою 14 – 18 м, внутрішня насадка яких виконана з керамічних кілець.

Кислота, отримана баштовим способом, має дуже багато пилу, домішок і низьку концентрацію, тому її використовують, головним чином, для отримання добрив.

Виробництво аміаку. Аміак використовують для отримання азотної кислоти, азотнокислих і амонійних солей, азотних добрив; він широко використовується в холодильній техніці, металургії для азотування сталей, у медицині і в побуті.

Аміак NH₃ – безбарвний газ, у 2 рази легший за повітря, має різкий запах, отруйний, добре розчиняється в воді.

Важливим промисловим способом його отримання є синтез аміаку з азоту і водню. Сировиною слугує атмосферне повітря і водень з води. Синтез аміаку можна виконувати в установках високого, середнього і низького тиску. Найбільш поширені установки високого тиску.

Процес виробництва синтетичного аміаку відбувається в контактному апараті (рис. 7.157) – колоні синтезу 4 під тиском 800 МПа при температурі 500°C. До контактного апарату азотно-воднева суміш подається компресором 1 для очищення в маслорозділювачі 2 і фільтрі 3. Утворення аміаку відбувається за реакцією:

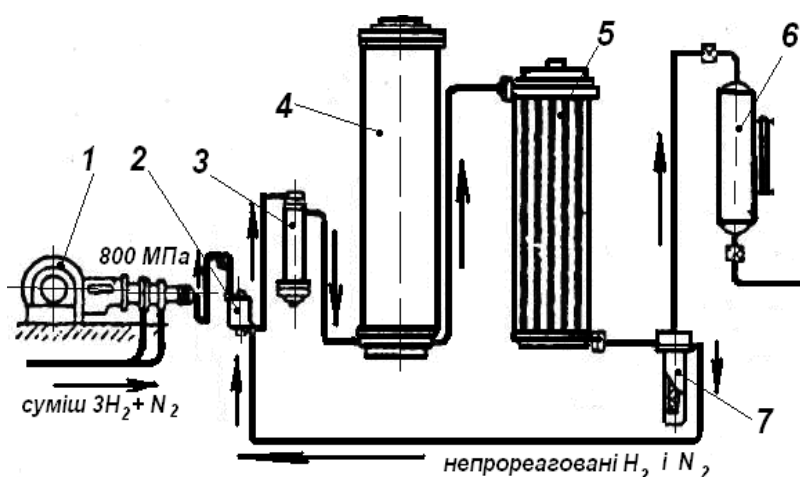
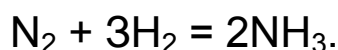


Рис. 7.157. Схема виробництва синтетичного аміаку

Реакція відбувається в присутності каталізатора, який складається із заліза з домішками алюмінію і калію. Реакція зворотна, тому газова суміш, яка виходить з контактного апарата, містить 20 – 30% аміаку. У холодильнику 5 аміак зріджується, звільняється від вільного азоту і водню і надходить у збірник 6, а потім в балони і споживачам.

Непрореаговані газы – азот і водень – з резервуара 7 повертаються на переробку.

Для отримання 1 т аміаку потрібно $3\ 000\ \text{м}^3$ азотно-водневої суміші, $90\ \text{м}^3$ води і 1 750 кВт/год електроенергії.

Виробництво азотної кислоти. Азотна кислота HNO_3 – безбарвна рідина, кипить при 86°C, сильний окислювач. Використовують її для виробництва добрив, органічних фарб, пластмас, штучного шовку, кіноплівки, вибухових речовин, палива для реактивних двигунів. За обсягом виробництва вона посідає друге місце після сірчаної кислоти.

Процес отримання HNO_3 виконують окисненням синтетичного аміаку. Повітря і аміак після очищення від домішок (рис. 7.158) подають у змішувач, а потім в контактний апарат 2 для окиснення аміаку. Нітрозні газы при температурі 800°C виходять з апарата 1, минаючи котел-

утилізатор 3, охолоджуються до 250°C , потім потрапляють у холодильник 4, де охолоджуються до 30°C . У холодильнику починається окиснення NO до NO_2 і конденсація парів води, а також часткове утворення HNO_3 ; з холодильника гази нітрози спрямовують в абсорбційні башти 5, де оксиди азоту поглинаються водою. У системі може бути 6 – 8 таких башт. Після цих башт гази надходять у башту 6, де залишився оксид NO , який окиснюється до NO_2 і потім потрапляє в башту 7 для лугової абсорбції. Для поглинання NO_2 остання башта 5 зрошується водою. Утворюється слабка кислота, яка охолоджується в холодильнику 8 і за допомогою насосу 9 проходить послідовно назустріч газу всі поглинальні башти. З першої по ходу башти кислота з 50% HNO_3 виводиться. Ступінь переробки оксидів азоту в азотну кислоту досягає 94%. Для отримання 1 т кислоти в установках звичайного тиску потрібно 300 кг аміаку, 100 м^3 води і 80 кВт/год електроенергії.

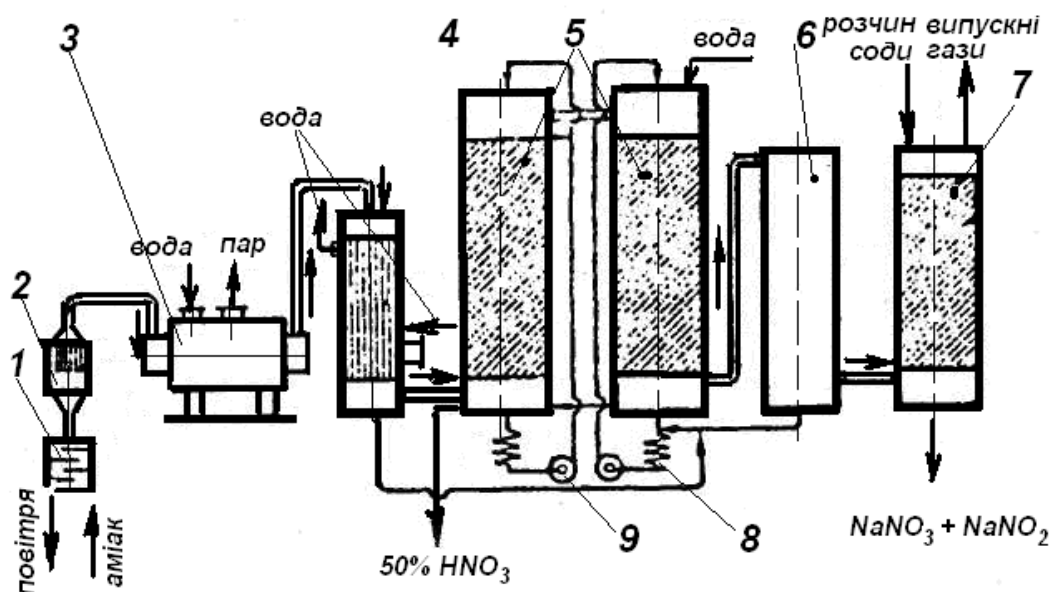


Рис. 7.158. Схема установки для отримання азотної кислоти при атмосферному тиску

Для отримання HNO_3 більш високої концентрації (до 96 – 98%) її переганяють у присутності концентрованої сірчаної кислоти. Промисловість виробляє два сорти азотної кислоти: розбавлена з вмістом 50 – 60% HNO_3 і концентрована із вмістом 96 – 98% HNO_3 . Розбавлену кислоту транспортують в резервуарах з нержавіючої сталі, а концентровану – в алюмінієвих.

Виробництво соляної кислоти. Хлористоводнева кислота HCl , безбарвна рідина, легко змішується з водою, широко використовується

для отримання хлористих солей, синтетичного каучуку, клею, фарб, а також для витравлення металу в металургії. Існують синтетичний і сульфатний способи виробництва соляної кислоти. Синтетичний спосіб складається з двох операцій (рис. 7.159) – синтезу хлористого водню і поглинання його водою. Сировиною для синтезу є водень і хлор, які отримують електролізом кухонної солі. Синтез хлористого водню відбувається в контактній печі 1, де хлор і водень згорають і утворюють хлористий водень, який по газопроводу 2 потрапляє до поглинальної башти 3, в якій при взаємодії з водою утворюється концентрована хлористоводнева кислота. Хлористий водень, який не прореагував із водою в башті 3, спрямовують в башту 4, де отримують менш концентровану соляну кислоту.

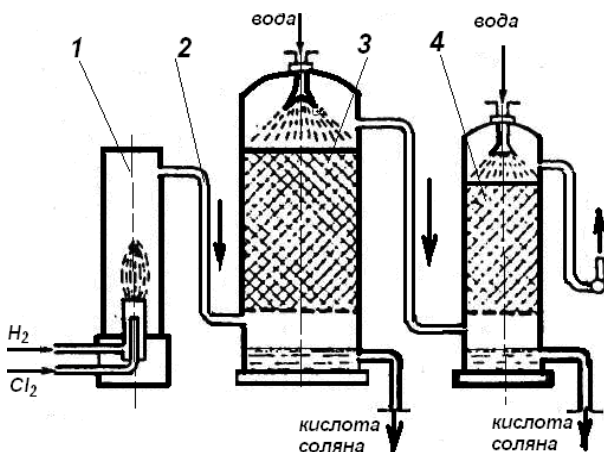


Рис. 7.159. Схема виробництва соляної кислоти синтетичним способом

Сульфатний спосіб передбачає отримання хлористого водню при нагріванні кухонної солі з сірчаною кислотою з наступним поглинанням його водою.

Найбільш прогресивним є синтетичний спосіб, при якому отримують майже без домішок соляну кислоту.

Виробництво лугів. Луги – це гідроксиди металу. Типовим лугом можна вважати

їдкий натр або каустичну соду. Він є безбарвною прозорою кристалічною масою, яка роз'їдає під час контакту більшість матеріалів. Його широко використовують у нафтопереробній промисловості для очищення бензину, керосину, в миловарильній, текстильній, гумовій промисловості, в процесі виробництва фенолу, шовку, органічних фарб.

Їдкий натр отримують, головним чином, електролізом розчину кухонної солі (рис. 7.160). Електроліз виконують в електролітичних ваннах, які відрізняють за способом розділення анодних і катодних продуктів на ванни із ртутним катодом і ванни з діафрагмою. Робота ванни з фільтраційною азбестовою діафрагмою (рис. 7.160) полягає в подачі до анодного простору розчину хлористого натрію, який під гідростатичним тиском проходить через діафрагму до залізного катодного простору. При

проходженні електричного струму на аноді утворюється хлор, на катоді – водень і їдкий натр. У процесі електролізу повний розпад хлористого

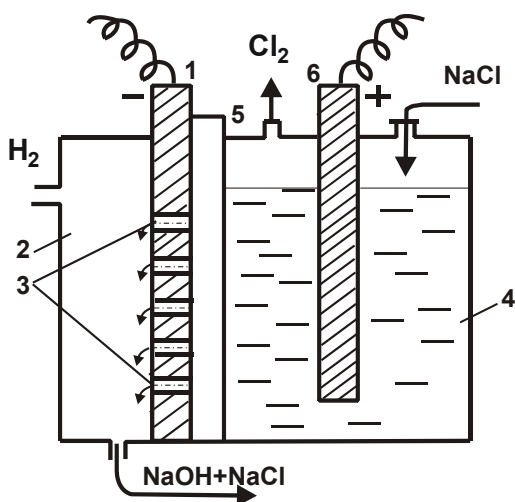


Рис. 7.160. Схема

електролізу з вертикальною фільтраційною діафрагмою

Умовні позначення: 1 – залізний катод; 2 – катодний простір; 3 – отвір у катоді; 4 – анодний простір; 5 – діафрагма; 6 – анод

натрію не відбувається, тому з катодного простору ще виводять до 145 г/л NaOH, а також до 180 г/л NaCl, які йдуть на переробку.

Схема ванни із ртутним катодом (рис. 7.161) складається з електролізера і розчинника, які з'єднуються між собою. До електролізера подають розчин хлористого натрію і ртуть, яка займає на дні шар 5 – 6 мм. Іони хлору розряджаються на аноді з утворенням хлору, який виводиться з ванн. На катоді (ртуть) розряджається натрій, який утворює амальгаму натрію. Амальгама натрію перетікає в розчинник, де розчиняється водою. Водень і луги виводяться з розчинника

на наступну переробку, а ртуть знову повертають до процесу. Таким способом отримують їдкий натр високої концентрації та чистоти.

Виробництво соди. Вуглекисла сода N_2CO_3 використовується в металургійному, нафтовому, миловарильному, текстильному та інших виробництвах.

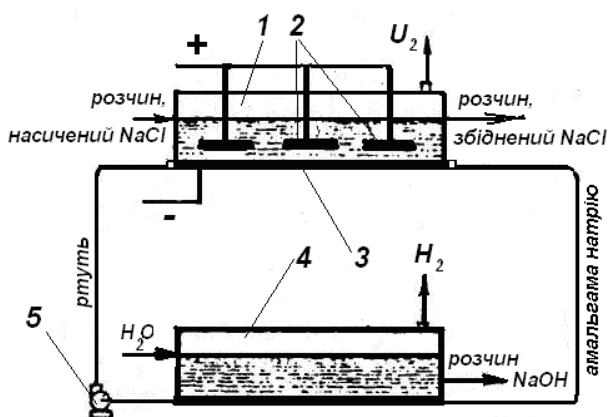


Рис. 7.161. Схема електролізу у ваннах з ртутним катодом

Умовні позначення: 1 – електролізер; 2 – аноди; 3 – катод (ртуть); 4 – розчинник; 5 – насос

За схемою (рис. 7.162) чистий розчин (305 – 315 г/л) NaCl з ємності 1 надходить до абсорбційної колони барботажного типу 2 (абсорбери), де насичується NH_3 і частково CO_2 , які виловлюють з газів, що виходять з карбонізаційних 3 і дистиляційних 6 колон і вакуум-фільтрів 5. Абсорбція CO_2 і NH_3 виконується послідовно в декількох абсорбентах загальною висотою до 45 м.

Розчин, охолоджений і насичений NH_3 і частково CO_2 , в якому є вуглецеві солі амонію $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ і NH_4OH , надходить у верхню частину

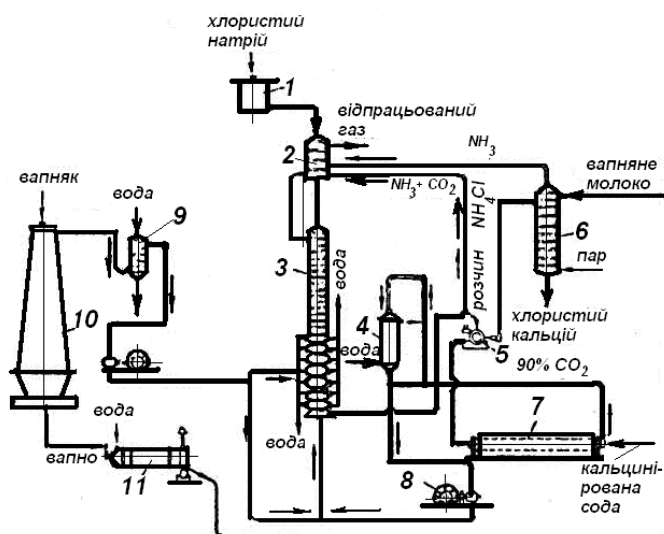
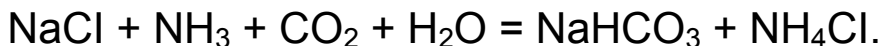


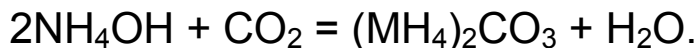
Рис. 7.162. Схема виробництва соди

карбонізаційної колони. У середню частину колони компресором 8 подається очищений у фільтрі 9 газ (до 40% CO_2), який отримують у вуглецево-відпалювальних печах 10, а в нижню частину колони, яка охолоджується водою, подають суміш газу з печей 10 і содових печей 7. Суміш охолоджується в холодильнику 4.

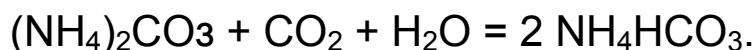
Процес утворення соди можна відобразити наступною реакцією:



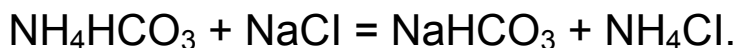
Ця реакція відбувається в декілька стадій. У верхній частині колони:



У міру підвищення концентрації вуглекислого амонію в розчині він реагує із залишком CO_2 і утворюється двовуглекислий амоній:



У середині колони двовуглекислий амоній реагує з кухонною сіллю, внаслідок чого утворюється двовуглекислий натрій:



При температурі 25 – 28°C ступінь перетворення кухонної солі в бікарбонат натрію досягає 73%. Реакція відбувається не до кінця, тому в розчині, крім NH_4Cl , кристалів NaHCO_3 є вуглецеві солі амонію і NaCl . Газу з 4 – 7% CO_2 і NH_3 із колони спрямовуються в абсорбер 2, а пульпа – на фільтрацію. Відділення бікарбонату натрію виконують у вакуум-фільтрі безперервної дії. З фільтру осад подають у содову піч 7 для кальцинації, газу – в абсорбер 2 для відділення NH_3 і CO_2 , а фільтрат іде

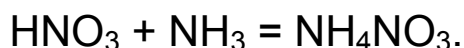
на дистиляцію в колону 6. У содовій печі 7 при температурі 140 – 170°C відбувається розклад бікарбонату з утворенням кальцинованої соди і її сушіння:



Сода транспортерами подається на упаковку; а газ, в якому до 85 – 95% CO_2 , – на карбонізацію. Для отримання 1 т 95% Na_2CO_3 необхідно використати: чистого розчину NaCl – 5,15 м³, аміачної води (25% NH_3) – 14 кг, вапна – (85% CaO) – 710 кг, електроенергії – 102 кВт/год, пару – 1,32 мкал, води – 140 м³, палива – 145 кг.

Виробництво добрив. Для підвищення врожаїв у сільському господарстві широко використовують мінеральні добрива. До складу рослин входить більше 60 елементів, головними з яких є: С, O_2 , N_2 , H_2 , Р, К, S, Са, Mg, Fe, інші займають 1 – 2% від маси рослин. Інтенсивне використання землі приводить до зниження, в першу чергу, елементів, таких як Р, N_2 , К, внаслідок чого зменшується врожайність і якість продуктів. У зв'язку з цим різні елементи вносять в землю добривами.

За походженням добрива поділяють на органічні та мінеральні. Органічні добрива об'єднують добрива тваринного і рослинного походження (торф, гній). До мінеральних добрив відносять: азотні, фосфорні, калійні та інші. За кількістю корисних елементів добрива поділяють на прості (з одним корисним елементом) і складні, в яких є декілька корисних елементів. Азотні добрива поділяються на: аміачну селітру (нітрат амонію), натрієву селітру (нітрат натрію), вуглецеву селітру (нітрат вуглецю), сульфат амонію і карбамід (сечовина). Найбільш корисними є аміачна селітра і карбамід. Аміачна селітра – біла кристалева речовина, яка має велику гігроскопічність, може комкуватись і в разі детонації – вибухнути. Отримують її нейтралізацією азотної кислоти газоподібним аміаком:



Процес отримання селітри полягає в наступному (рис. 7.163): до внутрішнього циліндра 2 подається азотна кислота і аміак в газовому стані, внаслідок чого утворюється розчин нітрату амонію, який переливається з внутрішнього циліндра в зовнішній (випарювальну частину апарата), де й випаровується вода з розчину. Пар виходить з нейтралізатора 1 і використовується для нагрівання. Розчин 60 – 80%

NH_4NO_3 , в якому до 2 г/л вільної HNO_3 , донейтралізується аміаком в нейтралізаторі 3 і перекачується в постійно діючий апарат 4, де концентрація розчину підвищується до 99% NH_4NO_3 .

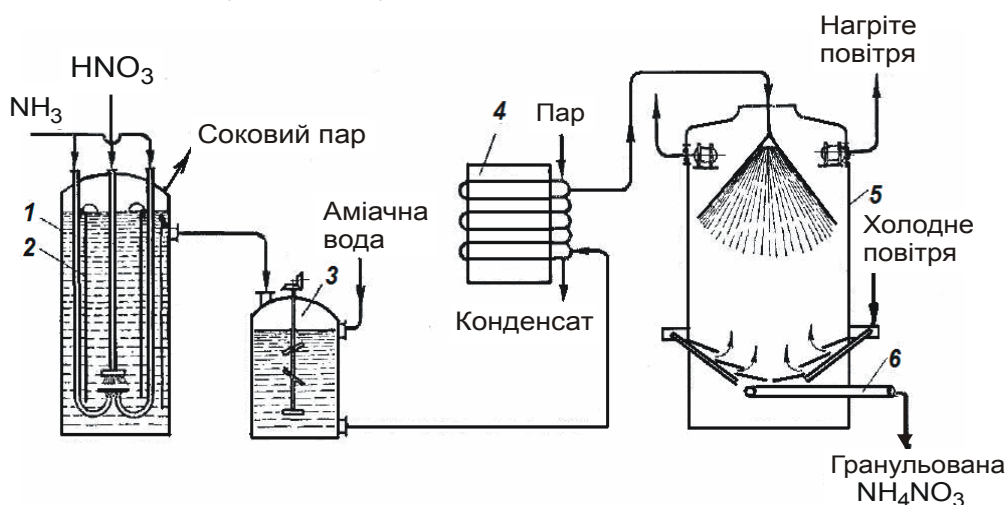


Рис. 7.163. **Схема виробництва аміачної селітри**

З випарувальних апаратів розтоплена селітра надходить до грануляційної башти 5 (висота до 35 м), у верхній частині якої знаходиться обертальна дірчата лійка (обертальний горизонтальний диск). Проходячи через отвори лійки, розчин розбризкується, внаслідок чого утворюються краплі, які під дією холодного повітря перетворюються в гранули до 3 мм, потрапляють на транспортер 6, а потім на сушарку і упаковання в паперові мішки.

Сечовина (карбамід) утворюється внаслідок взаємодії аміаку і вуглецевого газу:



Сечовину отримують у колоні високого тиску. Синтез сечовини проводять при температурі 180 – 200°C під тиском в 20 МПа з 100% надлишком аміаку протягом однієї години. Вихід сечовини досягає 70%.

Сечовину використовують для підвищення врожайності всіх сільськогосподарських культур, особливо при кореновому і некореновому підгодуванні рослин, також у процесі виробництва синтетичних смол, тканин, клеїв, фармацевтичних препаратів.

Рідинні добрива – аміак (до 82% N), аміачна вода (до 20% N) – також широко використовують у сільському господарстві.

До фосфорних добрив відносять: суперфосфат, преципітат, фосфористе борошно. Сировиною для отримання фосфорних добрив є природні фосфорити $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ і апатити $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaF}_2$.

Фосфористе борошно отримують шляхом розмелювання природного фосфориту, його сушіння й розмелювання; суперфосфат – шляхом розкладу природного фосфориту сірчаною кислотою; преципітат – шляхом нейтралізації фосфорної кислоти вапняковим молоком.

Калійні добрива найчастіше представлені хлористим калієм. Сировиною для його отримання є сільвініт $KCl + NaCl$ і карналіт $MgCl_2 \cdot KCl \cdot 6H_2O$. Для отримання хлористого калію сільвініт розмелюють, розчиняють, розчин охолоджують, відділяють солі й висушують їх.

Отрутохімікати. Для боротьби з хворобами рослин, шкідниками, бур'янами в сільському господарстві використовують отрутохімікати, які поділяються на інсектициди, фунгіциди і гербіциди.

Інсектициди використовують для боротьби з комахами – це препарати, в яких є миш'як, фтор, хлор, мідь, фосфор. Найбільш поширеним є миш'яковий препарат – паризька зелень $3Cu(ASO_2)_2 \cdot Cu(CH_3 \cdot CaO)_2$, фтористий кремній, фтористий натрій, гексахлоран, тіофос. Сировиною для отримання миш'якового препарату є триоксид миш'яку, який виробляють шляхом обпалення миш'якових руд. Триоксид миш'яку потім переробляють на солі. Фтористі препарати отримують із відходів виробництва суперфосфату. Гексахлоран $C_6H_6Cl_6$ отримують шляхом приєднання хлору до бензолу.

Фунгіциди використовують для боротьби з грибовими хворобами рослин. Це препарати, в яких є мідь (бордоська рідина), сірка, формалін, протас, гранозан та ін.

Бордоську рідину отримують змішуванням розчину мідного купоросу з вапняковим молоком. Сірку отримують у процесі очищення коксового і генераторного газів від сірководню й іншими способами. Протас становить суміш порошків вапняку з тальком.

Гербіциди – хімічні препарати, які знищують бур'яни. Найчастіше використовують хлор, нітрати фенолу, хлорати натрію і кальцію, також 10% розчин H_2O_4 , 5% розчин $CuSO_4$ та інші. Отрутохімікати бувають в порошках, рідинах, аерозолях.

Хімічна переробка палива. До фізичних методів переробки нафти відносять перегонку, яка є процесом термічного розпаду нафти на її складові частини і фракції.

Для розподілу нафти на фракції її нагрівають в трубчастій печі (рис. 7.164). Спочатку нафта проходить по трубах так званої

конвенційної секції 3, де вона підігрівається поточними газами, що виходять з печі, потім – по трубах скляного екрана 2 і фронтального екрана 1 виходить з печі. Підігрівання нафти в трубах екранів 1 і 2 виконується завдяки горінню палива, яке подають форсункою 4. Нагріта нафта потім іде на перегонку. Розподіл нафти на фракції заснований на різній температурі кипіння її з'єднань.

Перегонку нафти виконують в одноступеневих і двоступеневих трубчастих установках (рис. 7.165). Спочатку перегонку ведуть при атмосферному тиску з виділенням бензинової та інших висококиплячих фракцій, а залишок – мазут – потім переганяють під вакуумом. Заздалегідь нагріта – до 170 – 175°C в теплообмінниках 3, 8, 11 нафта надходить у трубчасту піч 16, де нагрівається до 350°C димовими газами і подається в ректифікаційну колону 2 першого ступеня. Пари нагрітої нафти підіймаються угору колони і розділяються (ректифікуються) за температурами конденсації.

Принцип роботи колон наступний. Нагріта нафта подається в

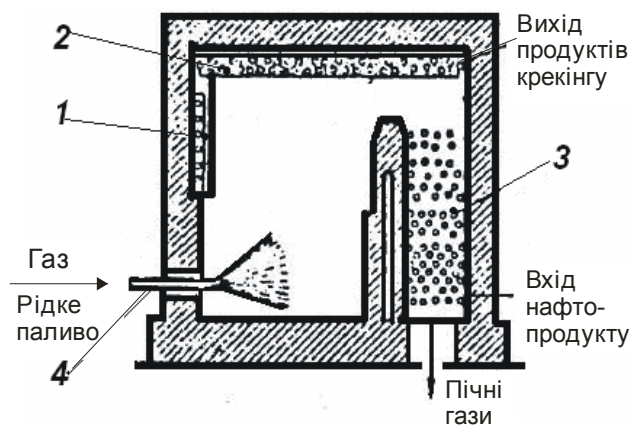


Рис. 7.164. Трубчаста піч

нижню частину колони і складові нафти з найнижчою температурою кипіння випаровуються. Пари підіймаються вгору колони, поступово охолоджуються рідиною, яка стікає вниз. У разі контакту пари з рідиною (флегмою) на полицях колони відбувається розподіл суміші на фракції за температурою кипіння внаслідок багато-

разового повторювання випаровування рідини і конденсації її парів.

Таким чином, за висотою колони можна відбирати фракції за температурами конденсації, причому чим вище місце відбору фракції за висотою колони, тим нижча температура кипіння фракції. Найбільш низько киплячою фракцією є бензин.

Пари бензину виводять зверху колони 2, охолоджують в теплообміннику 3 і конденсують в конденсаторі 4. Частково рідкий бензин виводиться як готовий продукт, а частково – подається на зрошення в колону (як флегма). За висотою відбирають інші фракції (лігроїн, керосин, солярний дистилят), які після охолодження в

холодильниках 5 становлять готову продукцію. Залишок від перегонки нафти – мазут – виводиться з колони 2 внизу і потрапляє в трубчасту піч 6 другої сходинки, яка працює під вакуумом, де мазут нагрівається до 400 – 420°C. Утворюється пара, яка надходить у ректифікаційну колону 7, де за висотою колони відбирають дистиляти – важкий циліндровий, легкий циліндровий і машинний, які охолоджуються в холодильниках 10. З верхньої частини колони виводять пари веретенного дистиляту, які охолоджуються в теплообміннику 8 і конденсуються в конденсаторі 9. Частина веретенного дистиляту повертається для зрошування колони, а частина йде на використання як готовий продукт. Знизу колони 7 через теплообмінник 11 і холодильник 10 виводиться залишок перегонки мазуту – гудрон. Вихід дистилятів: бензиновий – 14,5%, лігроїновий – 7,5%, керосиновий – 18,5%, солярове масло – 5%, залишок – мазут – 55% (перша сходинка); при перегонці мазуту: веретенний – 10 – 12%, машинний – 5%, легкий циліндровий – 7%, важкий циліндровий – 7% і гудрон – до 30%.

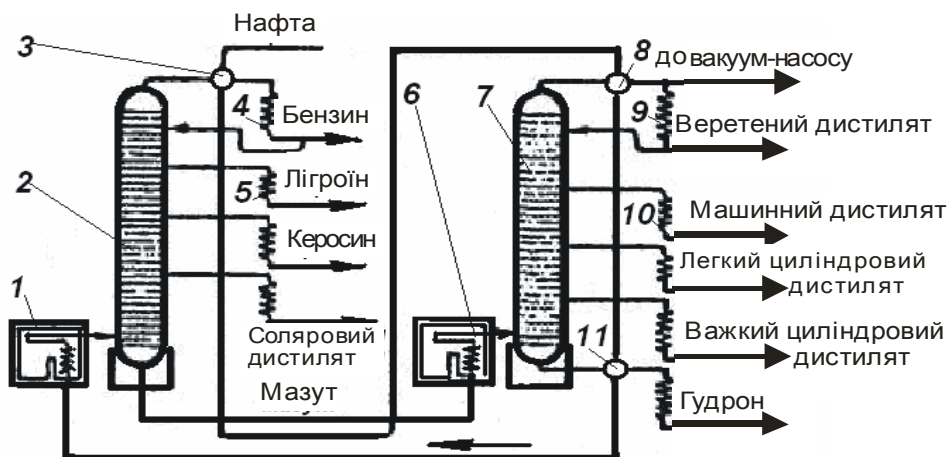


Рис. 7.165 Принципова схема двоступінчастої установки для переробки нафти

Крекінг нафтопродуктів. Незначний вихід бензину під час прямої перегонки нафти привів до розробки крекінг-процесу, заснованого на розподілі молекул важких вуглеводів, які входять до складу висококиплячих фракцій, на більш короткі молекули легких низькокиплячих продуктів. Наприклад, під час розщеплення молекули цетану $C_{16}H_{34}$, який після перегонки нафти входить до складу газойля чи мазуту, утворюється молекула октану C_8H_{18} , яка входить до бензинової фракції. Процес крекінгу відбувається при високому нагріванні, внаслідок чого його називають термічним. Чим вища температура і більша витримка, тим повніше іде процес і вищий вихід продуктів крекінгу.

Термічний крекінг проводять при температурі 450 – 500°C з тиском 2 – 7 МПа в рідкій фазі. Основною метою при цьому є отримання світлих топлив із мазуту або нафтових залишків – гудрону чи напівгудрону. При термічному крекінгу 75% сировини підлягає переробці. Суміш продуктів крекінгу і непрореагованої сировини проходить через випарювач, в якому відділяється крекінг – залишок речовини, яка не підлягає крекінгу. Легкі продукти ідуть в ректифікаційну колону на розділення. Після крекінгу вихід крекінг-бензину – 30 – 35%, крекінг-газів – 10 – 15% і крекінг-залишку – 50 > 55%. Крекінг-бензин використовується як компонент автомобільного бензину. Крекінг-гази використовують як паливо або як сировину для синтезу органічних речовин. Крекінг-залишок становить суміш смоли і асфальтових речовин, які використовують як паливо для котлів або як сировину для виробництва бітумів.

Піроліз – високотемпературний парофазний термічний крекінг, який проводять при температурі 670 – 1 200°C і атмосферному тиску. Мета – отримання, головним чином, етилену і водночас пропілену, бензолу, толуолу, нафталіну. Піролізу піддають вуглеводи попутних нафтових газів і газів крекінгу (етан, пропан, бутан), низькоякісні паливні фракції – бензини прямої перегонки і бензини, сконденсовані від попутних газів.

Каталітичний крекінг – це крекінг з використанням каталізаторів, що

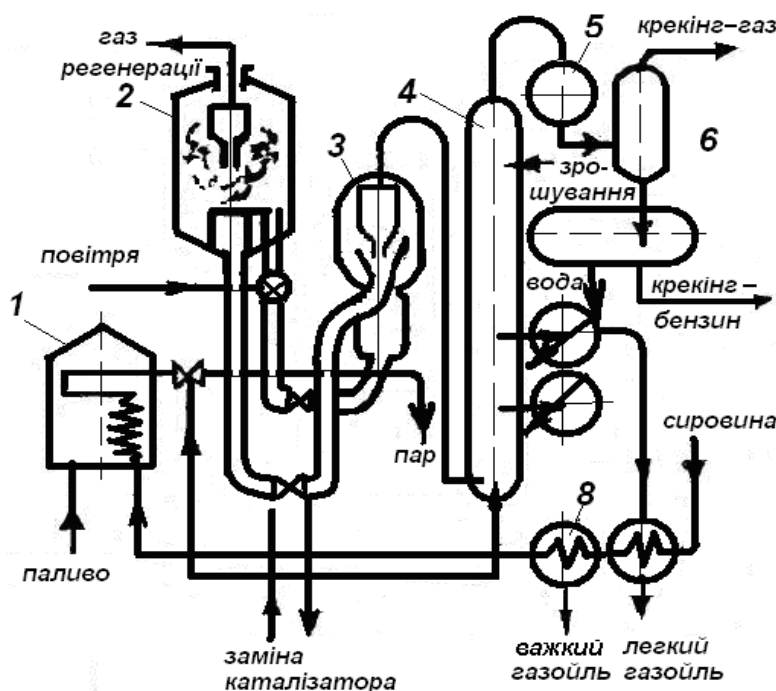


Рис. 7.166. Каталітичний крекінг з пиловидним каталізатором

сприяє зниженню температури крекінгу, підвищенню виходу і якості бензину. Каталізатором є, головним чином, синтетичні алюмосилікати, в яких 10 – 25% оксидів алюмінію, а також деякі види глин та бокситів. Принципова схема установки крекінгу в киплячому шарі пиловидного каталізатора показана на рис. 7.166. Сировина після попереднього нагрівання в теплообмінній установці

8 надходить у трубчасту піч 1, де нагрівається до температури 400°C.

Потім вона змішується зі ще більш гарячим порошком – каталізатором, випаровується і потрапляє в робочу зону реактора 3. Там у киплячому шарі каталізатора відбувається крекінг сировини з виникненням продуктів крекінгу. Процес здійснюють при температурі 450 – 500°C під тиском 60 – 180 МПа.

Продукти крекінгу із реактора потрапляють у ректифікаційну колону 4, де розділяються. Гази і бензин проходять через конденсатор 5 і газосепаратор 6. Бензин відділяють від води у відстійнику 7. Легкий і важкий каталітичний газойль відбирають як проміжні фракції. Знизу колони іде в реактор сировина, яка не прореагувала.

Відпрацьований каталізатор осідає внизу реактора, де він відділяється від сировини і продуктів крекінгу і спрямовується в регенератор 2. Там за допомогою повітря кокс і смолу відділяють з поверхні каталізатора, відновлюють його, охолоджують до температури 500 – 550°C і повертають у реактор.

Вихід продуктів наступний: 35 – 40% крекінг-бензину, 15 – 20% крекінг-газу, 35 – 40% легкого і 5 – 8% важкого крекінг-газойлю.

Риформінг – різновид каталітичного крекінг-газу, хід реакцій у якому спрямований на отримання ароматичних вуглеводів і ізомерів.

Сировиною є бензин різного походження: прямої перегонки, термічного крекінгу та інше. Каталізатор – порошок платини до 1,0%, який наносять на поверхню оксиду алюмінію; він добре працює і дуже реагує на сірку, яка його швидко руйнує.

Процес риформінгу здійснюють при температурі 480 – 520°C і тиску 2 – 4 МПа. Технологічна схема риформінгу аналогічна до схеми каталітичного крекінга.

У бензині після риформінгу міститься до 58% ароматичних вуглеводів, інші алкани і нафтени, головним чином, ізомерного устрою. Експлуатаційні характеристики цього бензину вищі, ніж після каталітичного крекінга.

Риформінг використовують більше для отримання бензолу, толуолу та інших речовин, які використовують для виробництва каучуку, пластмас, синтетичних тканин, фарб, отрутохімікатів, миючих речовин.

Отримання товарних нафтопродуктів. У продуктах нафтопереробки багато домішок, тому їх необхідно очищати. Існує декілька методів очищення.

Кислотне і лугове очищення. Сірчана кислота розчиняє смолисті, азотні речовини, нафтеніві кислоти, феноли, а нафтеніві і парафінові вуглеводи з нею не реагують. Використовуючи властивість різної питомої ваги шляхом відстоювання, відділяють розчинені в кислоті і лугах домішки нафтопродуктів. Роблять це після ректифікації продуктів.

Адсорбційне очищення проводиться шляхом пропускання продукту через сорбенти – відбілюючі глини. Витрата глин – до 300 кг на 1 т продукту нафтопереробки її. Найчастіше використовують після кислотно-лугового очищення.

Селективне очищення засноване на властивостях одного компонента розчинятися в розчині, а другого – ні, що сприяє відділенню зайвих речовин з високоякісних масел.

Гідроочищення з використанням каталізатора в хімічному очищенні. Головна мета – виділити сірчані сполуки і ненасичені вуглеводи. Процес полягає в обробці очищеного продукту воднем при температурі 250 – 430°C і тиску 5 – 7 МПа. У реакторах використовують алюмо-кобальт-молібденові каталізатори. Унаслідок такої обробки сірчані сполуки розчиняються і у вигляді сірководню виходять з газами, а ненасичені вуглеводи насичуються і перетворюються в насичені. Гідроочищення використовують для обробки палива і масел.

Класифікація і властивості товарних нафтопродуктів. Товарні нафтопродукти поділяються на палива, масла та інші продукти.

Палива поділяються на зріджені і стиснені паливні гази; паливо для карбюраторних двигунів (бензин, керосин); для двигунів дизелів (дизельне) для реактивних двигунів (реактивне); для котельних установок (котельне).

Масла об'єднують: моторні (автотракторні, авіаційні, дизельні), індустриальні мастильні, трансмастильні, мастильні для роботи при підвищених температурах (турбінні, компресорні, для парових машин), консистентні мастила, масла спеціальні (для приладів, швацьких машин, трансформаторні, конденсаторні та інші).

Інші продукти можна розподілити на розчинні, освітлювальні, гас, парафін, церезин, вазелін, бітуми нафтові, пек, просочувальні матеріали, електродний кокс і сажі, спеціальні продукти (піноутворювальні, скріплювальні в ливарному виробництві та інші).

Особлива група – низькомолекулярні насичені вуглеводи (метан, етан, пропан, бутан), низькомолекулярні олефіни (етилен, пропілен, бутилен та інші), ароматичні вуглеводи (бензол, толуол, ксилоли,

нафталін та інші), сірчані й кисневі сполуки.

Октанове число оцінюють шляхом порівняння зразка палива і стандартної суміші з ізооктана і Н-гектана. Октанове число гектана, який дуже легко детонує, прийнято за "0", а ізооктана, який має високі антидетонаційні властивості – за 100. Процентна кількість ізооктана в суміші, яка детонує за тих же умов тиску в циліндрі двигуна, що й дослідне паливо, називають октановим числом. Воно залежить від хімічного складу палива. Найбільш високе октанове число мають ароматичні і ізопарафінові вуглеводи (90 і більше), дуже низьке – парафінові вуглеводи.

Цітанове число – здатність дизельного палива до самоспалахування в разі подачі в камеру палива, де є стиснене повітря. Це число знаходять шляхом порівняння з самоспалахуванням суміші еталонних речовин: цетана, який має малий період затримання, і метилнафталіну з великим періодом затримки. Найбільше цітанове число мають парафінові вуглеводи звичайного ряду (до 70 – 80) і найменше – ароматичні вуглеводи. Для швидкоходових дизелів важливе значення має випарювання палива у зв'язку з чим обов'язково визначають границі в'язкості, температури спалаху, зольність та інше.

Паливо для реактивних двигунів повинне мати високе випаровування, теплоту горіння, горіти без кіптяви та інше.

До всіх палив обов'язкові вимоги щодо найменшої кількості сірки, кислот, золи, води.

Для котельного палива обов'язкові вимоги щодо теплотвірної здатності і в'язкості, від чого залежить ефективність розпилювання палива у форсунці.

Головні властивості масел полягають у підтриманні на поверхнях тертя деталей маслянистої плівки, яка тим більша, чим вища в'язкість. Масло повинне бути стійким до окислення, високих температур, антикорозійним, не давати стійких емульсій з водою та інше. Для підвищення якості до масел вводять різні присадки.

Фотохімічні, радіаційно-хімічні та плазмохімічні процеси

Фотохімічні процеси. Механізм фотохімічних процесів базується на активації молекул реагуючої речовини під час поглинання світла. При цьому змінюється електронна структура молекули, тобто електрони зовнішніх оболонок атомів збуджуються, а молекула стає здатною до хімічних перетворень.

Фотохімічні процеси поділяють на прямі і сенсibilізовані. У прямій реакції випромінювання поглинається одним або декількома речовинами, які беруть участь у реакції. У сенсibilізованій реакції випромінювання поглинає певна речовина, збуджує реакцію, а сама не бере участі в реакції.

У кожній фотохімічній реакції мають місце три стадії: поглинання світла і перехід молекули до електронно збудженого стану; первинні фотохімічні процеси з участю збуджених молекул і утворенням первинних фотохімічних продуктів; вторинні реакції речовин, які утворились в первинному процесі.

Продуктами першої стадії фотохімічного процесу можуть бути короткоживучі ізомери, які мають підвищену електронну енергію, атоми і радикали. Часто вони мають випарені електрони і легко беруть участь у вторинних реакціях. Передача збудження від однієї молекули до іншої називають сенсibilізацією, а речовину, яка поглинає промінь і стає переносником енергії, називають фотосенсibilізатором.

Залежно від ролі й характеру впливу променів фотохімічні процеси умовно можна поділити на три групи.

До першої групи відносять реакції, які самовільно можуть відбуватися після поглинання реагентами променевого імпульсу. Для таких процесів промінь виконує роль збуджувача й ініціатора. Сюди відносять: хлорування і бромовання вуглеводів, синтез різних полімерів (полімеризацію стиролу і отримання полістиролу), синтез хлористого водню. За звичайних умов ці реакції відбуваються дуже повільно, а під дією сонячного світла або підігрівання вони супроводжуються навіть вибухом.

До другої групи фотохімічних процесів відносять процеси, для яких необхідно весь час підводити променеву енергію до реагентів. Досить перервати подачу світової енергії – процеси зупиняються. До процесів такого типу відносять процеси, які мають місце в живій клітині, процеси природного фотосинтезу, пов'язані з поглинанням світла пігментом рослин хлорофілом, процеси пов'язані з утворенням електричного струму в сонячних батареях – це один із напрямків використання сонячної енергії.

Найбільш поширені в космічній техніці кременеві фотоперетворювачі, перетворювачі сонячної променевої енергії в теплову для опалення приміщень за рахунок конвекції повітря і ін. Дуже поширений процес розчинення галоїдних з'єднань срібла, на світловідчутті яких базується процес відображення у фотографії.

До третьої групи відносять процеси, які відбуваються під дією променя, – фотокаталітичні реакції. Промінь у таких процесах поглинається не реагуючими речовинами, а каталізатором, який прискорює процес. Під дією променя відбувається збудження електронів атомів, які розташовані на поверхні каталізатора і зниження енергії активації реакції. Фотокаталізаторами можуть бути деякі напівпровідникові матеріали (оксиди цинку, міді, кадмію, олова), які й наносять на основу.

До фотокаталітичних процесів відносять: синтез органічних речовин (наприклад, отримання карбонових кислот шляхом реакцій окислення), реакція розкладу пероксиду водню (в якості каталізатора використовують сполуки металів міді, заліза, марганцю, нанесені на основу).

Доцільність і розповсюдження використання фотохімічних процесів полягає в їх перевазі над термохімічними: можливість точного регулювання ступеня збудження молекул, висока селективність реакції, можливість активізувати тільки певну групу або зв'язки в молекулі шляхом зміни ступеня випромінювання, можливість синтезу термодинамічних нестійких сполук; процеси мало залежать від температури; швидкість реакції легко регулюється, висока ступінь чистоти продукції.

Радіаційно-хімічні процеси. Метою радіаційно-хімічних процесів є вибір найбільш економічного шляху для отримання продукту із заздалегідь спрямованими властивостями за допомогою використання збуджених атомів, іонів, молекул, радикалів. Енергія іонізувального випромінювання в сотні тисяч разів перевищує енергію хімічних зв'язків.

Для іонізації використовують потоки заряджених частинок великої енергії (прискорені електрони) – α -, β -частинки, нейтрони, уламки ядер і високочастотні електромагнітні коливання (рентгенівське і γ -випромінювання).

Механізм радіаційно-хімічних процесів складається з трьох стадій.

На першій стадії (фізичній) енергія первинного випромінювання перерозподіляється між вдруге зарядженими частинками. Ці частинки при взаємодії з електронами атомів приводять до збудження й іонізації нових молекул речовин.

На другій стадії (фізико-хімічній) хімічно активно заряджені іони і незаряджені уламки ядер реагують між собою і з іншими молекулами з більшою швидкістю. У результаті вторинних реакцій виникають нові активні частинки (вільні радикали, іони).

На третій стадії (хімічній) проходять реакції, які приводять до виникнення молекул нової речовини (радіаційно-хімічний синтез).

У промисловості умовно виділяють наступні напрямки використання радіаційно-хімічних процесів.

Радіаційна полімеризація відбувається при низькій температурі під впливом β -частинок і α -випромінювання в газовій, рідкій і твердій фазах. Отримують дуже чисті полімерні матеріали, які використовують у радіоелектроніці й медицині. З успіхом використовують радіаційну полімеризацію етилена, тріоксана, акрил-аміду, а також процеси співполімеризації етилену з вінілхлоридом, тетра-фтор-етиленом та ін.

Процес полімеризації мономерів в гетерогенних системах є основою для отримання дерево-полімерних матеріалів, які використовують для виготовлення термостійких моделей, будівельних деталей і виливків у машинобудуванні.

Радіаційне зшивання полімерів приводить до модифікації структури і властивостей полімерів. Найбільш вивчений цей процес для поліетилену і полімерів вінілового ряду, а також радіаційна вулканізація каучуку. Майбутнє має спосіб радіаційної модифікації натуральних і синтетичних волокон, прищеплювання полімерів на тканини, що дає можливість отримувати водо- і масловідштовхувальні матеріали, вогнетривкі, променевостійкі, біостійкі і тканини, що не зминаються.

Радіаційно-хімічний синтез об'єднує окиснення, хлорування, сульфохлорування органічних сполук та інше. Радіаційне окиснення використовують для синтезу тетрахлоретилену і хлорангідриду трихлороцтової кислоти, для синтезу запашних речовин, реакцій заміщення і приєднання та ін. Найбільше практичне значення мають процеси радіаційного сульфохлорування і сульфоокислення парафінових вуглеводів. Продукти сульфо хлорування використовують для отримання м'яких і поверхнево-активних речовин. Використовують процес радіаційного синтезу органохлорсіланов – мономерів, які є сировиною для отримання кремнійорганічних полімерів. Розроблено спосіб отримання тетрахлораканів з етилену і чотирихлористого вуглецю, який є основою для синтезу промислових олій і отрутохімікатів.

Радіаційна модифікація неорганічних речовин характерна для оксидів металів з особливими діелектричними властивостями і для напівпровідників. Під впливом опромінювання каталітична активність підвищується і зменшується отрутна дія отрути. Наприклад, активність оксидів нікелю, заліза, цинку підвищується в разі опромінювання на декілька порядків. Деякі сегнетоелектрики (титанат барію) і напівпровідники селену під їх дією покращують свої експлуатаційні властивості.

Радіаційне очищення стічних вод, твердих відходів і газів. Під час опромінювання природна вода дезінфікується і в ній відділяються гази. В основу радіаційного очищення стічних вод, у складі яких є різноманітні домішки (фенол, поверхнево-активні речовини, фарби та ін.), покладені радіоліз води і радіаційна полімеризація заздалегідь впроваджених мономерів. У процесі радіаційного очищення твердих відходів і шламів отримують речовини, які використовують як добрива або добавки до корму тварин.

Очищення газів під дією рентгенівського опромінювання діоксид сірки окиснюється киснем повітря в сірчаноокислих розчинах в присутності каталізатора. При цьому діоксид сірки і оксиди азоту переходять в сірчану і азотну кислоти, які разом з твердими частинками осідають на електростатичному фільтрі.

Останнім часом опромінювання використовують в медичній практиці для діагностики і лікування. Відпрацьовують комплексні установки, які одночасно виробляють енергію і продукцію. На ядерному устаткуванні отримують плівки, напівпроникні мембрани, які використовують для розділення гомогенних систем.

Головним недоліком радіаційно-хімічних процесів є особливі правила безпеки під час виконання процесів і обов'язкове захоронення радіоактивних уламків стронцію, цезію тощо. Почали переводити залишки радіоактивних речовин в тверді тіла, такі як скло і базальт, що спрощує їх захоронення.

Плазмохімічні процеси. У результаті високого нагрівання речовини частина молекул переходить у збуджений стану, друга – розкладається на складові (атоми, а також уламки молекул, вільні радикали, іони і різноманітні частинки, в тому числі й електрони). Таку газоподібну суміш називають плазмою, в якій найчастіше більше 1% молекул перебувають в іонізованому стані. Якщо кількість позитивно і негативно заряджених частинок приблизно однакова, то плазма квазінейтральна. Вона яскраво світиться, електропровідна і активно взаємодіє з магнітними полями.

Відрізняють високотемпературні й низькотемпературні плазми. Низькотемпературна плазма має місце при електричних розрядах в газах і низькому тиску. Її використовують в газових променевих трубках. Гаряча плазма – це Сонце, зірки, епіцентри вибуху атомних і водневих бомб. Вона характеризується температурами від декількох до сотень мільйонів градусів. На дослідних установках плазма утримується магнітним полем і

існує соту долю секунди. У процесі перебігу керованих термоядерних реакцій виникає високотемпературна плазма.

Низькотемпературна плазма в природі – шарова блискавка, а штучна, яку отримують у високочастотних і понадвисокочастотних розрядах і в електричній дузі, має температуру близько 10^4 К.

Обладнання для отримання плазми складається з плазмотрона, реактора і гартувального пристрою. У плазмотроні з допомогою електричних розрядів виникає висока температура, яка іонізує потік аргону, гелію, азоту або якогось іншого газу, перетворюючи його в плазму. Потім вона потрапляє в реактор, де під дією високої температури в плазмі в тисячні долі секунди відбуваються хімічні реакції. Фіксування проміжних або основних продуктів досягають в гартувальному пристрої з такою швидкістю, щоб вони не встигали розчинитися.

За фазовим станом плазмохімічні процеси поділяються на гомогенні й гетерогенні, а відносно до температур – на нерівноважні і квазірівноважні.

Нерівноважні плазмохімічні процеси виконують під дією лазерного опромінювання, а також в тліючих та імпульсних розрядах, у високочастотних тліючих розрядах. Швидкість цих процесів не залежить від температури та характеру розподілу різних частинок за енергіями. Наприклад, у тліючому розряді, де існують легкі часточки (електрони) і важкі частки (збуджені, іонізовані, нейтральні), головну активізаційну дію виконують високоенергетичні електрони. Це виявляється в тому, що в катодній зоні тліючого розряду може бути отриманий оксид азоту з термодинамічною відповідністю температурі 3 000 К, у той час як температура газу в розрядній системі не перевищує 350 К. У понадвисокочастотному розряді можна синтезувати незвичайні сполуки, а в тліючому розряді – отримувати озон і навіть модифікувати поверхню полімерів, змінюючи їх фізико-хімічні властивості.

Перевага нерівноважних плазмохімічних процесів полягає в тому, що внаслідок низької температури важких часточок, гартування в більшості випадків не потрібне, що спрощує технологію і витрати на швидкісне охолодження продукції. Недолік полягає в непередбаченні явищ нерівноважних процесів.

Квазірівноважні плазмохімічні процеси виконують, головним чином, в електродугових плазмотронах. Швидкість цих процесів залежить від температури у зв'язку з тим, що в системі відсутні будь-які зміни в рівноважному розподілі часточок між енергіями.

До *гомогенних плазмохімічних процесів* відносять: окиснення азоту і хлористого водню, отримання ацетилену, синтез диціана і гідразину. Найбільш поширене виробництво ацетилену із природного газу. При плазмовій переробці газоподібних вуглеводів уже при температурі 1 800 К метан майже повністю перетворюється в ацетилен. Собівартість отримання ацетилену плазмохімічним способом майже на 35% нижча від традиційних.

Гетерогенні плазмохімічні процеси об'єднують процеси відновлення складних сполук оксидних руд, отримання багатокомпонентних з'єднань (каталізаторів), тугоплавких електропровідних або зносостійких нітридів, карбідів металів, вирощування монокристалів та ін. У гетерогенних плазмохімічних процесах первинна сировина надходить у плазму у вигляді дрібнодисперсної твердої або рідкої фази. Дуже поширене отримання оксидів металів: Fe_2O_3 – ферошару магнітних стрічок звукозапису, полірувальних паст – SiO , прискорювача вулканізації ZnO , пігментів фарб ZnO , TiO_2 . Порошки відрізняються високою дисперсністю, до 94% часточок мають розмір менше 1 мкм.

Використання низькотемпературної плазми дозволяє отримати дуже чисті порошки з необхідним розміром часточок (включаючи тонкодисперсні).

Можливість поєднання декількох стадій процесу в одному швидкісному апараті дозволяє вирощувати в плазмі монокристали для напівпровідникової і лазерної техніки, точного машинобудування, свердлильного інструмента. Промисловість виробляє монокристали корунду, карбіду кремнію, тугоплавкого бориду, діоксид цирконію, оксид натрію, а також деяких металів (вольфраму, молібдену, ренію та ін.). Порівняно з полікристалами монокристали характеризуються стійкістю проти рекристалізації, високою пластичністю, сумісністю з різними середовищами (ядерним паливом, металевими розплавами, парами лугових металів).

Виробництво пластмас. До полімерних матеріалів відносять переважно синтетичні органічні полімери. Молекули полімерів побудовані з однотипних груп атомів-мономерів, які багаторазово повторюються. Кількість елементів ланок, які входять до складу молекул, може бути від 100 до 1 000. Збільшення кількості елементарних ланок сприяє підвищенню твердості й температури плавлення полімеру, знижується його здатність розчинятись в органічних розчинниках та ін. Властивості полімерів залежать також від хімічного складу мономерів, форми ланцюгів молекул, їх устрою.

Синтетичні полімери отримують у результаті перебігу реакцій полімеризації та поліконденсації.

Полімеризація – це процес з'єднання багатьох молекул у велику молекулу полімеру з тим же елементарним складом, який має вихідний мономер. При цьому має місце розрив подвійних зв'язків з утворенням реакційно властивих мономерних груп, які з'єднуючись між собою, утворюють молекули полімеру. Побічні продукти при цьому не виділяються. Процеси полімеризації проводять в розчині емульсії, суспензії з застосуванням каталізаторів.

У випадку блочної полімеризації чистий мономер і каталізатор вводять в реактор, де під дією температури відбувається процес полімеризації. Таким методом отримують листові матеріали із полістиролу, поліетилену, поліметилметакрилату, натрійбутадієнового каучука.

У разі полімеризації в емульсії мономер змішують з ініціатором і емульгатором у воді (частинки мономера знаходяться в стані суспензії), внаслідок підігрівання в емульсії утворюється полімер (синтетичний латекс). Спосіб використовують для отримання полівінілхлориду, деяких марок полістиролу і різних співполімерів бутадієну, вінілацетату, акрилонітрилу.

Полімеризація в розчині проводиться з використанням розчинника, який розчиняє мономер і полімер або тільки мономер. Отримані полімери мають однорідний склад. Цей спосіб використовують для отримання полівінілацетату, полібутилакрилату та ін.

Суспензійна полімеризація полягає в тому, що мономер рівномірно розподіляється в воді, ініціатори, які використовують при цьому, розчиняються в мономері і не розчиняються в воді. Полімеризація відбувається самостійно в кожній великій краплині мономера розміром до 0,3 см. Полімер утворюється в вигляді твердих частинок, які не розчиняються у воді і виділяються фільтруванням.

Поліконденсація – утворення високомолекулярної сполуки внаслідок взаємодії великої кількості молекул двох або декількох різних мономерів з одночасним виділенням побічних низькомолекулярних продуктів реакції (H_2O , NH_3 , HCl , CO_2 , ефіру та ін.). Отримані при поліконденсації полімери мають лінійне (поліаміди, поліефіри, полікарбонати) і просторове утворення (амінокислоти, фенолальдегідні смоли). Процес проводиться в розплаві, розчині і на поверхні двох фаз.

Сировиною для виробництва полімерів є: продукти коксохімічної промисловості (бензол, фенол, ксиленоли, крезолі, резерпін, фенатрен, етилен, нафталін), продукти нафтохімічної промисловості (етилен, пропілен, бутілен, ацетилен, бензол, фенол, ацетон), продукти переробки природного газу (ацетилен, метанол, аміак, карбамід), мінеральна сировина (сірчана кислота, хлор, оксид вапняку та ін.), рослинна сировина (целюлоза, фурфурол та ін.).

Властивості пластмас. Густина змінюється від 0,9 до 2,5 г/см³. Пластмаси в два рази легші за алюміній і в 5 – 6 разів – за сталь, мідь, бронзу. Міцність, наприклад, скловолокніту на стиснення – 130, на вигін – 100 і на розтягнення – 800 МПа. Пластмаси не розчиняються в кислотах, лугах; не проводять електричний струм, тепло; добрі діелектрики, мають високі фрикційні властивості, але в них низька теплостійкість (70 – 250°C) і вони з часом старіють. Пластмаси поділяються на прості й складні. Прості пластмаси складаються тільки з смол, до складу яких іноді додають пластифікатори (це поліетилен, органічне скло та ін.).

Складні пластмаси мають у своєму складі наповнювачі, речовини, що зв'язують, пластифікатори, каталізатори, стабілізатори, фарби, мастильні речовини. У якості речовин, що зв'язують в моноліт, виступають, головним чином, синтетичні смоли. Наповнювачі додають з метою поліпшення фізико-хімічних властивостей (це порошки, тканини, борошно дерева, кварцу, слюди, графіту, паперу, скла, азбест та ін.). Пластифікатори підвищують пластичність, що сприяє формуванню виробів, підвищує гнучкість, еластичність та інше (це камфора, стеарат, олеїнова кислота, алюміній, дібутилфталат, гліцерин, трікрезилфосфат).

Речовини і каталізатори, які тверднуть, додають в пластмаси з метою як найшвидше перевести їх у твердий, не плавкий і не розчинний стан (це гексаметилентетрамін, магнезія, вапно та інше).

Класифікація пластмас полягає в залежності від походження сполучних речовин у їх складі при нагріванні (це термопластичні і терморективні пластмаси).

Термопластичні пластмаси в процесі нагрівання розм'якшуються, під час охолодження тверднуть і в ході повторного нагрівання знову розм'якшуються, що дозволяє відходи використовувати повторно для виготовлення виробів.

Терморективні пластмаси після твердіння повторно не розм'якшуються і більш не використовуються.

Виробництво поліетилену пов'язане з полімеризацією газоподібного етилену високої чистоти (рис. 7.167 і рис. 7.168).

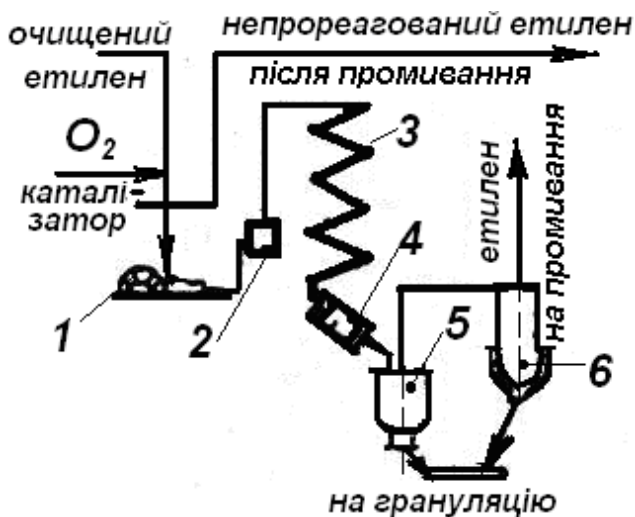


Рис. 7.167. **Схема установки для отримання поліетилену під тиском**

Етилен, змішаний із киснем, надходить у компресор 1, де стискається до 150 МПа і після проходження через масловідділювач 2 прямує в реактор 3, у верхній частині якого етилен нагрівається до температури реакції 180 – 200°C, а в нижній – полімеризується. Реактор зроблений з похило розташованих труб високого тиску діаметром до 25 мм і загальної довжини до 300 м; верхня частина труб нагрівається, нижня – охолоджується водою для

відбору тепла реакції полімеризації. З реактора розплавлений полімер і непрореагований етилен після сепаратора 4 подається в приймач 5 низького тиску 0,3 МПа, де поліетилен відділяється від етилену. Непрореагований етилен, проходячи через уловлювач 6, очищається, промивається від залишкових продуктів і знову повертається до процесу. Поліетилен із приймача 5 потрапляє до обігрівального приймача і виходить з нього у вигляді гранул або джгутів. Отриманий поліетилен може підлягати стабілізації (змішуванню із сажею), фарбуванню. За один цикл в поліетилен перетворюється 15 – 20% етилену, а загальний ступінь перетворення під час неодноразової циркуляції газу досягає 93 – 98%.

Поліетилен легко переробляють у вироби і напівфабрикати, тонкі плівки, листи, волокна, прутки, труби та інше; більш 50% використовують для електроізоляції, до 20% – на виробництво труб, до 15% – на виробництво плівки, листового матеріалу.

Полістирол виробляють шляхом полімеризації стиrolу лаковим, емульсійним, блочним способами (див. рис. 7.168). Він прозорий, має абсолютну водостійкість, хімічну стійкість, хороші діелектричні властивості. Полістирол використовують у високочастотній електротехніці, в хімічній промисловості (трубопроводи, посудини, деталі), як тара у споживчій промисловості, в поліграфічному виробництві. Шляхом пресування з полістиролу виготовляють тканину і волокна, з яких отримують матеріали, які мають високу міцність і прозорість. У будівельній техніці використовують облицювальні полістирольні плити.

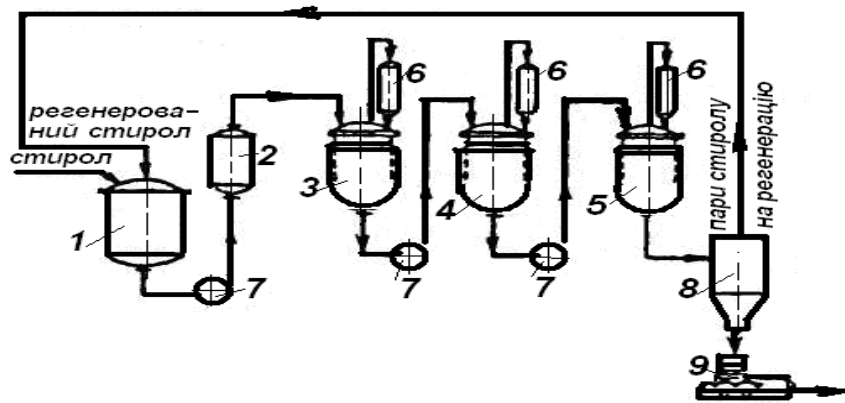


Рис. 7.168. **Схема процесу виробництва блочного полістиролу в каскаді апаратів з перемішувачем**

Умовні позначення: 1 – ємність для стиролу; 2 – теплообмінник; 3, 4, 5 – каскад полімеризаторів (реакторів); 6 – холодильники; 7 – насоси; 8 – вакуум-камера; 9 – екструдер з гранулятором

Полівінілхлорид отримують із хлористого вінілу шляхом полімеризації лаковим, емульсійним і блочним методами (рис. 7.169). Його виробляють у вигляді твердого матеріалу вініпласту і еластичного пластикату.

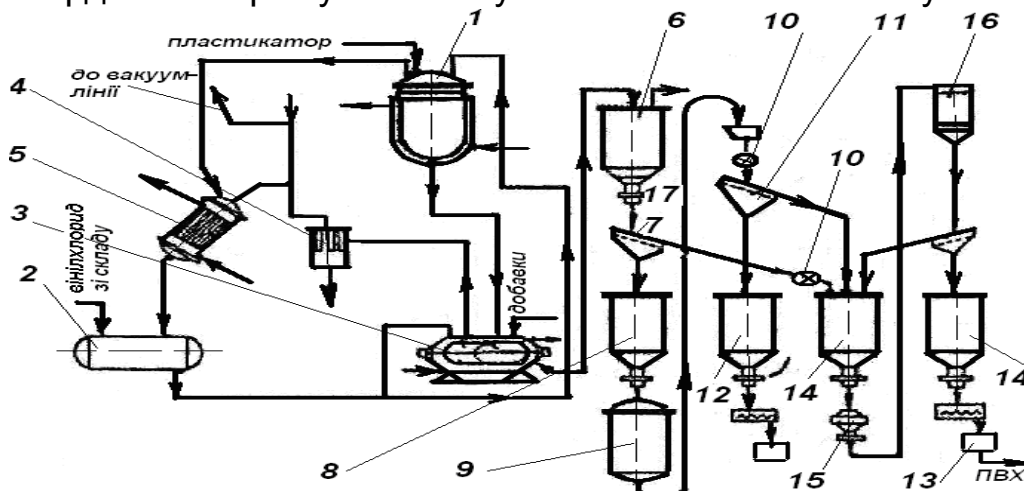


Рис. 7.169. **Схема процесу виробництва полівінілхлориду полімеризацією в масі**

Умовні позначення: 1 – автоклав попередньої полімеризації; 2 – ємність вінілхлориду; 3 – автоклав-полімеризатор; 4 – фільтр; 5 – конденсатор регенованого вінілхлориду; 6 – бункер-циклон; 7, 11 – грохот; 8, 12, 14, 18 – приймачі полівінілхлориду; 9 – ємність; 10 – дробарка; 13 – автоматична вага; 15 – мельниця; 16 – повітряний фільтр; 17 – барабанный живильник

Вініпласт має високу міцність – до 100 МПа, добре зварюється, обробляється на станках, хімічно стійкий. Головний недолік – низька ударна в'язкість і властивість набухання у воді. Використовують як антикорозійний та ізоляційний матеріал, у хімічній промисловості й електротехніці.

Пластикат отримують шляхом змішування полівінілхлориду з пластифікаторами (ефірами фосфорної і фталевої кислот). До полівінілхлориду з пластифікатором відносять: замінники шкіри, лінолеум,

транспортні стрічки, шланги, футерівку хімічної посуду, плитку для підлоги й облицьовувальну.

Фторопласти є продуктами полімеризації фторпохідного етилену. В промисловості виробляють фторопласт-4 і фторопласт-3, які відрізняються високими діелектричними показниками, водонепроникністю, абсолютною хімічною стійкістю, підвищеною теплостійкістю, не мають запаху. Використовують фторопласти в хімічній, фармацевтичній, харчовій промисловості, а також у холодильній техніці, медицині, електротехніці. Фторопласт 3 за своїми властивостями дещо поступається фторопластові-4.

Амінопласти або карбамідні пластики отримують на основі штучної смоли, яка є продуктом конденсації карбаміду $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ з формальдегідом CH_2O або метаміну з формальдегідом. За комплексом головних фізико-механічних властивостей, за структурою, технологією переробки й важливими галузями використання амінопласти мають багато спільного з фенопластами. Аміноформальдегідні смоли використовують для виробництва деревощарових і деревоволокнистих плит для будівництва.

Фенолформальдегідні смоли використовують як сполучні для отримання прес-матеріалів (з наповнювачами порошками, волокном), шарових пластиків (наповнювачі: папір, дерево-шпон, тканини – бавовняна, азбестова, скляна), лаків, клею і виливків із пластмас.

Пластмаси на цій основі мають високу міцність, хімічну стійкість, електроізоляційні властивості, тому їх використовують для виготовлення деталей радіотехнічної апаратури, деталей, які працюють в умовах підвищеної температури і в агресивних середовищах. Шарові пластики використовують також для оздоблення вагонів, панелей, перегородок, підшипників, шестірень, фрикційних деталей та ін.

Переробка пластмас у виробі. Полімери перебувають у твердому (аморфному або кристалічному) і рідкому в'язкотекучому стані. У в'язкотекучому стані пластмаси переробляють у виробі гарячим пресуванням, литтям під тиском, видавлюванням та пресуванням листів і плит.

Гаряче пресування використовують для виготовлення деталей з термореактивних пластмас, які у вихідному стані знаходяться у вигляді порошку, гранул, таблеток з волокнистими наповнювачами. Для переведення матеріалу у в'язкотекучий стан прес-форми нагрівають.

Пряме гаряче пресування здійснюється в закритих прес-формах (рис. 7.170а) на гідропресах. Матеріал 2 в матриці 1 стискається пуансоном 3, заповнюючи форму, після чого пуансон 3 піднімається вгору,

прес-форма розкривається і готова деталь 4 виштовхується (поз. 5).

Ливарне пресування (рис. 7.170б) виконують шляхом завантаження матеріалу 4 в підігріту камеру 3, де він стає в'язким і під тиском пуансона 5 перетікає крізь пуансон 2 у матрицю 1 прес-форми. Після твердіння матеріалу прес-форма розкривається під час підйому пуансоном 5 камери 3 і пуансона 2 деталь 6 виводиться з форми виштовхувачем 7.

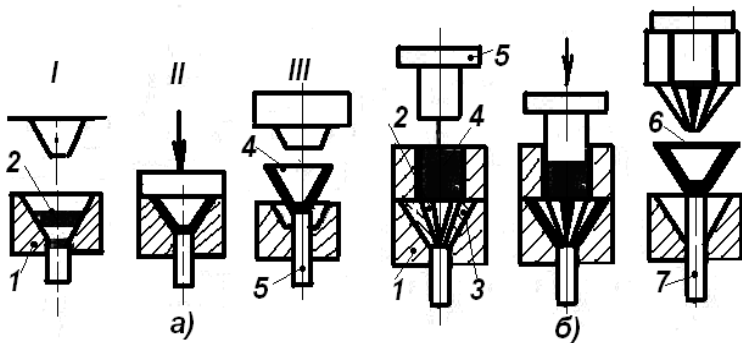


Рис 7.170. **Схема прямого (а) та ливарного (б) пресування**

Умовні позначення: I - завантаження прес-матеріалу; II - пресування; III - виймання деталі

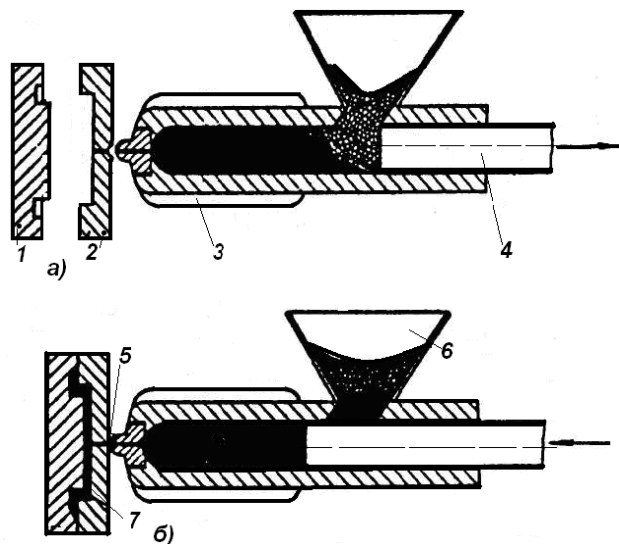


Рис. 7.171. **Схема ливарної машини: а - форма відкрита, б - форма закрита**

Умовні позначення: 1 - рухома плита форми; 2 - нерухома плита форми (матриця); 3 - нагрівачий елемент; 4 - плунжер; 5 - сопло; 6 - загрузочна лійка; 7 - виріб

у водяній ванні продукт намотується на котушки або ріжеться на певні розміри.

Схема лиття під тиском показана на рис. 7.171.

Після пресування матеріал через декілька секунд охолоджується, твердне, форма розкривається і готова деталь виштовхується з форми. Процес займає від 5 до 20 с. Температура від 150 до 300°C і великий тиск від 10 до 200 МПа сприяють отриманню деталей складної конфігурації, різної товщини, чистої поверхні і точних розмірів.

Витисканням або екструзією отримують труби, прутки, плівки, різноманітні профілі, наносять ізоляцію на дрід. Це роблять на екструдерах (рис. 7.172), де порошок термопласта із бункера 1 потрапляє в циліндр 3, з якого черв'яком 4 подається в нагрівач 5, звідки в рідкому стані видавлюється крізь калібрований отвір в голівці 6. Після охолодження

Методом роздування виготовляють порожнисті вироби (пляшки, фляги, каністри). При цьому заготовка із термопласти видавлюється в

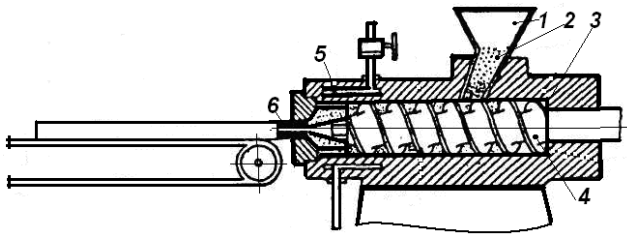


Рис. 7.172. **Схема екструдера**

Умовні позначення: 1 – завантажувальна лійка; 2 – ливарний матеріал; 3 – циліндрична камера; 4 – шнек

вигляді труби крізь головку екструдера. Потім до заготовки підводять водоохолоджувачі половин форми і крізь головний виріб подають стиснуте повітря, яке роздуває заготовку до потрібної форми. Автомати виготовляють до 600 пляшок ємністю 500 см³ за годину.

Штампуння – отримання виробів із нагрітих листових термопластів у формах-штампах під тиском від 0,05 до 1 МПа. Цей спосіб дозволяє виробляти козирки склоосвітлювальних приладів та ін.

Виробництво пластмас із рідких полімерів самозатвердівальних смол, які за звичайної температури перебувають у рідкому стані і тверднуть при додаванні отверджувача (це епоксидні та поліефірні смоли). Ці смоли добре контактують з скловолоком, що сприяло розвитку нової групи пластмас-склопластиків, з яких вироби виготовляють формуванням, напиленням, прокаткою, литтям та ін.

Контактне формування здійснюють за допомогою дерев'яних, гіпсових, цементних, металевих форм, які відповідають зовнішній поверхні, виробу. На робочу поверхню спочатку наносять роздільний шар нітролаку або полівінілового спирту, потім шар сполучного розчину для затвердіння (поліефірні смоли з матеріалом для твердіння). Після витримання на цей шар укладають і прикочують гумовим валиком склотканину або скловату. Якщо необхідно зробити декілька шарів, операції повторюють. Після 10 – 12 годин витримки при кімнатній температурі виріб знімають із форми. Цей спосіб застосовують для виготовлення човнів, кузовів автомобілів та ін.

Вихрове запилення полягає в нарізанні склотканини і подачі її потоком повітря на поверхню форми виробу, куди одночасно пульверизатором наноситься поліефірна смола з матеріалом для твердіння. Після відповідної витримки виріб готовий.

Намотування полягає в пропусканні через ванну з розчином поліефірної смоли скло джгута і намотуванні його на форму (частіше

трубу). При сухому намотуванні склонаповнювач просочується під тиском поліефірною смолою з матеріалом для твердіння після намотування на форму. Намотуванням виготовляють склопластикові труби, баки і невеликі цистерни.

Пултрузія полягає у витягуванні через форму матеріалу (скловолокно просочене смолою з матеріалом для твердіння) для отримання конструкційних елементів певного профілю (прутків, труб та ін.).

Прокатування полягає в пропусканні між нагрітими валками просочених смолою листів склотканини, покритих целофаном. Листи між валками спресовуються і тверднуть. Це, головним чином, плоскі та гофровані листи склопластику.

Лиття полягає в заливанні смоли в гарячі або холодні форми, де вони формуються у виробі (шаблони, пуансони та матриці прес-форм тощо).

Вироби з піно- і поропластів виготовляють: гарячим твердінням в закритих формах термореактивних компаундів, спіканням у формах термопластичних мастик на основі полістиролу або полівінілхлориду, спіканням у закритих формах порошків або гранул пластмас, самоспінюванням піноуретанів у відкритих формах у процесі реакції рідкої композиції.

Виготовлення деталей із твердих пластмас виконують штампуванням та обробкою різанням.

Листове штампування складається з вирубування і пробивання, згинання та витягнення. Для полегшення операцій шарові пластики (текстоліт, склотекстоліт, гетинакс) підігрівають до температури 90 – 140°C. Виготовляють листи, плити, труби, профілі різного перерізу.

Обробка різанням використовується для виготовлення різноманітних виробів, як і з металу, на звичайних металорізальних верстатах. Низька теплопровідність пластмас сприяє концентрації теплоти в зоні різання, нагріванню інструмента, оплавленню термопластів, налипанню на поверхню інструменту у зв'язку з чим їх добре заточують, полірують, а іноді і піддають хромуванню. Для обробки пластмас з абразивними наповнювачами застосовують інструменти із твердих сплавів або швидкорізальної сталі. Обробка реактопластів проводиться без охолодження в зв'язку з набуханням наповнювачів. Різання пластмас товщиною більше 3 мм виконують стрічковими та дисковими пилами зі швидкорізальної сталі або алмазними кругами. Точіння, фрезерування і свердління виконують на звичайних верстатах з використанням охолоджувальних емульсій.

Нарізання різьби потребує дотримання точних режимів різання, охолодження й вибору інструмента. Зовнішню різьбу нарізають різцями,

плашками, внутрішню – азотованими або хромованими мітчиками. Різьбу великого діаметра нарізають на токарно-гвинторізних верстатах.

Шліфують деталі з термопластів суконними та фланельними кругами з пастою з відмуленої пемзи з водою або наждачним папером.

Полірування пластмас виконують на полірувальних верстатах фетровими, повстяними, сукняними та бавовняними кругами з нанесеними на них пастами. Дрібні деталі полірують в галтувальних барабанах сумішшю пемзи або тирси з крейдою та машинним або вазеліновим маслом.

Зварювання та склеювання пластмас виконують нагрітим газом, нагрітим інструментом, тертям, випромінюванням, ультразвуком та ін. Для зварювання нагрітим газом використовують інертні гази (азот, аргон), які нагрівають електричними або газовими пальниками до 250 – 380°C і подають під тиском на пруток і основний матеріал, який зварюють. При цьому нагрітий пруток укладається в шов вручну або за допомогою пристосувань (роликів, наконечників та ін). Діаметр прутка для зварювання не перевищує 5 мм, тому що важко забезпечити його прогрівання і розм'якшення.

У процесі екструзійного зварювання розплавлений присадний матеріал надходить із екструдера в зазор між поверхнями зварюваних деталей, нагріває їх, сплавляється з ними і утворює зварний шов. Екструзійне зварювання відзначається високою продуктивністю для з'єднання листів та плівок із термопластів.

Зварювання нагрітим інструментом виконують шляхом розм'якшення зварювальних поверхонь нагрітим металевим пристроєм і з'єднання їх під великим тиском (плівки, листи, пластини).

При виготовленні пакетів та мішків із поліетиленової плівки застосовують зварювання ніхромовим дротом на повітряній подушці.

Зварювання тертям засноване на нагріванні поверхні з'єднуваних деталей за рахунок перетворення механічної енергії в теплову, тому що пластмаси мають низьку теплопровідність і швидко нагріваються. Застосовують зварювання тертям за рахунок обертання і зварювання коливальними рухами – вібраційним тертям. Відзначається висока якість з'єднань із різнорідних полімерів.

Зварювання струмом високої частоти засноване на нагріванні за рахунок поглинання енергії електричного поля матеріалом, який знаходиться між металевими електродами або роликами. Останні дозволяють отримувати безперервні шви.

Під час ультразвукового зварювання листові пластини затискають між притискачем і хвилеводом магнітострикційного вібратора. При проходженні струму крізь обмотку вібратора коливання його підсилюються хвилеводом і передаються на пластини, які розплавляються в зоні контакту і зварюються. Зварювання може бути пресовим і безперервним. Пресове зварювання дозволяє робити точкові, прямолінійні й замкнуті шви різного контуру. Безперервне зварювання сприяє отриманню безперервного шва шляхом переміщення хвилеводу і зварюваного виробу. Цей спосіб дозволяє зварювати мішки, фільтри, плащі, одяг та ін.

Зварювання випромінюванням пов'язане з нагріванням пластмас променевою енергією. Існує інфрачервоне зварювання, світлом видимого діапазону й лазером. Кожен спосіб дозволяє нагрівати кінцеві поверхні зварювальних листів, що запобігає утворенню підрізів, які з'являються під час зварювання нагрітим інструментом.

Склеювання деталей термопластів виконують переважно дихлоретаном (оргсклом і вініпластом) або бензолом (полістиролом). Поліетилен, поліпропілен, фторопласт після очищення поверхні склеюють поліуретановими або фенолформальдегідними клеями. Склеювання виконують без підігрівання і з підігріванням до температури 150 – 250°C. Технологічний процес складається з підготовки поверхні (припасування, очистки), нанесення клею на поверхню, витримки для випарювання розчинника, складання деталей та витримки під пресом.

Покриття деталей пластмасами підвищує термін служби виробів: хімічної апаратури, труб, склотари, листової сталі, лінолеуму та ін. Покриття з компаундів і замазок готують на основі термореактивних смол з матеріалом для твердіння і наповнювачем після чого наносять на поверхню виробу. Покриття з суспензій: на металеву поверхню наносять шар диспергованого в етиловому спирті з ксилолом фторопласту, після чого його підсушують при температурі 50 – 60°C і потім оплавляють за температури 320 – 340°C протягом 10 – 20 хв. Один шар має товщину 10 мкм, послідовно наносять 10 таких плівок.

Для покриття поліетиленом, капроном використовують порошки розміром 100 – 250 мкм. Покриття відзначаються добрим розтіканням у процесі оплавлення порошків на гарячій поверхні металу, термостабільністю і адгезією. Порошки наносять на поверхню виробів різними способами: вихровим (нагріту деталь занурюють у ванну з

порошком полімеру який розплавляється, а після додаткового підігріву розтікається по деталі, утворюючи рівномірний шар); струминним (порошок полімеру подається у полум'я ацетиленового пальника і плавиться, утворюючи на виробі суцільну плівку покриття); електростатичним (порошок під дією постійного струму заряджається негативно і покриває виріб – анод, при нагріванні плавиться, утворюючи суцільний шар покриття).

Покриття з розплавів виконують екструзією і відцентровим способами нанесення пластмас на поверхню виробів. Екструзію використовують для електроізоляції дроту, а відцентровий спосіб – для покриття внутрішніх поверхонь тіл обертання.

Покриття плитками, листами, плівками виконують обкладкою на клеях або замазках, плакуванням, намоткою або накочуванням. Плакування (покриття) листової сталі полімерною плівкою за допомогою клею виконують на валковій установці. Намотуванням захищають від корозії труби, ємкості. Поліетиленову плівку на клею накочують на зовнішню поверхню труби або перед цим трубу запорошують поліетиленом і нагрівають, після чого намотують плівку.

Виробництво каучуку. Каучук – це полімерний матеріал, який має високу еластичність – властивість викликати значну деформацію під дією незначних навантажень. Це пов'язано з тим, що молекули каучуку мають лінійну структуру і в звичайному стані звернуті в спіраль. При розтяганні кінці молекул витягуються і орієнтуються в напрямку розтягування. Зняття зусиль сприяє поверненню кінців молекул в попереднє становище. Молекули каучуку також володіють властивістю ковзати одна відносно одної. За призначенням каучук поділяють на дві групи: універсальний – загального призначення, який використовують для виробництва шин, транспортерних стрічок, привідних ременів, взуття, і спеціального призначення – для виготовлення виробів хімічностійких, тепло-, морозо-, масло- і бензостійких.

До каучуку загального призначення відносять натуральні й синтетичні. Природний каучук – це полімери ізопрену C_5H_8 , молекули якого становлять зигзагоподібний вуглецеводневий ланцюг, на кінцях якого розташовані атоми вуглецю. Такий устрій молекул дає високу еластичність і міцність полімеру. Синтетичний каучук одержують із мономерів бутадієну C_4H_6 , ізопрену C_5H_8 , стиролу C_8H_5CH та їх композицій. Виробництво каучуку складається із трьох головних стадій: отримання сировини, виробництва мономерів і отримання полімерів. Перша стадія найчастіше проводиться на спеціалізованих

підприємствах. Зараз виробляють близько 300 видів сировини, серед яких найбільш поширені: супутні нафтові гази, гази нафтопереробки, етиловий спирт і ацетилен. Для отримання каучуку найчастіше використовують: бутадієн, ізопрен, хлоропрен, ізобутилен, стирол, метилстирол. Синтетичний каучук отримують методом полімеризації в емульсії або в інертному розчині. Найбільш поширеним методом емульсійної полімеризації отримують каучук: бутадієн-стирольний, бутадієнметилстирольний, бутадієннітриловий, хлоропреновий та ін.

Під час отримання бутадієнстирольного каучуку суміш мономера і водяної фази, в якій є емульгатор (каніфольне масло), із змішувача подається в батарею полімеризаторів, куди також подають ініціатор і регулятор. Полімеризація відбувається при інтенсивному перемішуванні суміші мішалками. Температура полімеризації +5°C регулюється водою, яка циркулює в сорочці полімеризатора. За час проходження суміші через батарею полімеризаторів реагує до 60% мономеру. Отриманий в полімеризаторах латекс відділяють від непрореагованого мономера в відгінній колоні. У мірнику до латексу додають коагулянти – речовини, які сприяють осіданню емульсії. Каучук отримують у вигляді стрічки. Можливе також отримання каучуку у вигляді кришки. У такому разі замість стрічкової машини використовують вакуум-фільтр.

У процесі отримання масло- і сажонаповненого каучуку масло і сажу у вигляді водяної емульсії додають до каучуку, який знаходиться в стані латексу в одному з останніх реакторів.

Бутадієнстирольний і бутадієнметилстирольний каучук за морозостійкістю і щодо впливу кисню і водяного пару кращі за натуральні й посідають перше місце за виробництвом серед синтетичних каучуків. За еластичністю бутадієновий каучук близький до натурального.

Хлоропреновий каучук має високу світло- і зносостійкість, тепло- і вогнестійкість, вони стійкі до дії бензину, масел, лугів і кислот.

Ізопреновий каучук за хімічним складом і структурою ідентичний до натуральних.

До каучуків спеціального призначення відносяться: поліізобутиленові – стійкі до дії агресивних середовищ і мають високі діелектричні властивості; бутадієннітрильні – масло- і бензостійкі; полісульфідні (тіоколи) – масло- і бензійностійкі; кремнійорганічні – тепло-, морозостійкі і мають високі діелектричні властивості; фторвмісні – тепло-, масло-, атмосферо- і вогнетривкі, а також стійкі до дії агресивного середовища; уретанові – озоностійкі і мають високу міцність при розтягуванні; акрилатні – тепло- і маслостійкі.

Виробництво гуми. Гума є матеріалом з дуже цінними властивостями: високою еластичністю та пружністю, вона здатна багаторазово вигинатися, чинити опір зношуванню та поглинати вібрацію, гідро- та газостійка, а також стійка проти впливу рідкого палива та масел, має високі діелектричні характеристики. Тому гуму застосовують для виготовлення різноманітних виробів. Гума є продуктом переробки каучуку, які в чистому вигляді не придатні для використання, тому що при температурі $-12...+150^{\circ}\text{C}$ перетворюються у в'язку рідину. Для отримання виробів, стійких до перепаду температур $-50... +150^{\circ}\text{C}$, каучук піддають процесу вулканізації.

Вулканізація – це утворення містків між лінійними молекулами каучуку і його тривимірної просторової молекулярної структури, що сприяє термічній стійкості, міцності, зменшенню розчинності і підвищенню хімічної стійкості. Для перетворення лінійної структури молекул в просторову до каучуку вводять вулканізатор – сірку, що сприяє зниженню пластичності та еластичності й підвищенню міцності та твердості. Введення до каучуку 15% сірки дає досить міцні, термостійкі й еластичні матеріали, які називають гумою. У випадку введення 30 – 55% сірки отримують дуже твердий матеріал – ебоніт, який має більш високу міцність, хімічну інертність, водостійкість, великі електроізоляційні властивості, добре обробляється різанням.

Класифікують гуми за призначенням, головними властивостями, технологією виготовлення виробів. За призначенням гуми поділяються на такі групи: загального призначення, які експлуатують при температурах від -50 до $+150^{\circ}\text{C}$ (колеса, взуття, транспортерні стрічки, ремні, прокладки та ін.); теплостійкі, які використовують для тривалої роботи при температурах вище 150°C (деякі деталі літаків, машин, електродвигунів); морозостійкі, які використовуються при температурі -50°C в умовах Антарктиди, на великих висотах; масло- і бензиностійкі, які використовують для роботи в контакті з бензином, маслом, нафтою (шланги, ущільнювачі, резервуари); електроізоляційні, які використовують для ізоляції струмопровідних кабелів, проводів та ін.; стійкі до радіації, їх використовують для виготовлення деталей рентгенівської апаратури, спеціального захисного одягу; пористі, які використовують для виготовлення теплоізоляційних, амортизаційних ущільнювачів, сидінь автомобілів, літаків, трамваїв, тролейбусів, взуттєвої підошви та ін.

До складу суміші, з якої виготовляють гуму входять: каучук (10 – 98%), вулканізаційні агенти (сірка – до 2 % для м'якої, до 7% для напівтвердої і до 10% – для твердої гуми), прискорювачі вулканізації (напівсульфіди), речовини, що стримують старіння гуми внаслідок поглинання кисню, озону, радіації (фенілнафтіламін до 5%), наповнювачі (сажа, поліпропілен, полістирол, мінеральні масла – сприяють підвищенню механічних властивостей гуми, а також інертні наповнювачі для зниження ціни: вапняк, каолін, тальк). Кількість наповнювачів досягає 30 – 50% від загальної маси. Для кращого заповнення форм вводять стеаринову і олеїнову кислоти, каніфоль, парафін до 2 – 10%. Для економії каучуку й гумової суміші вводять регенерат – продукт переробки старих гумових виробів і вулканізаційних відходів. Регенерати сприяють полегшенню обробки гуми, підвищують хімічну стійкість, опір старінню, знижують вартість гуми. Для кожного виду суміші

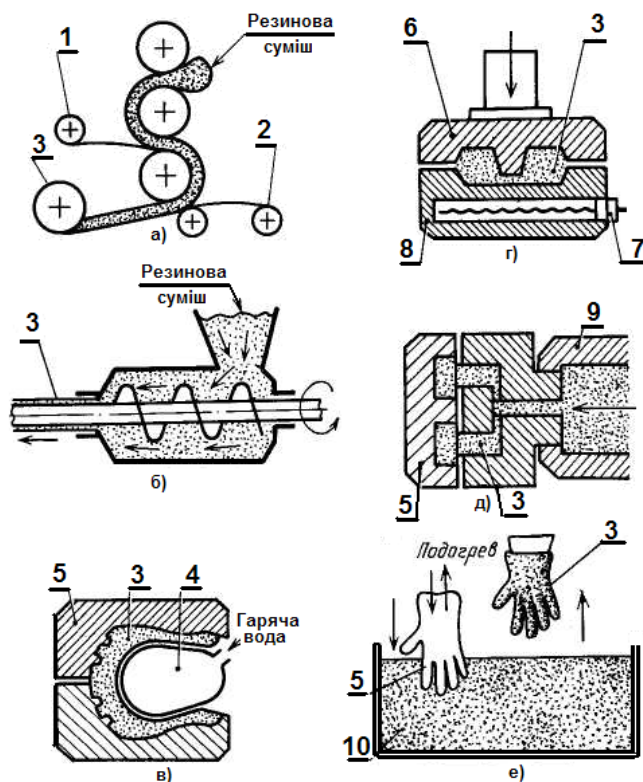


Рис. 7.173. Схеми методів виготовлення виробів із гуми

Умовні позначення: а – каландрування; б – шприцування; в – формування у прес-формі; г – штампування; д – виливання; е – занурювання

встановлюється певна послідовність завантаження інгредієнтів і режим змішування. Спочатку подають каучук, потім додають пом'якшувач, порошок проти старіння, прискорювачі та інші незначні добавки. Через деякий час у змішувач подають наповнювачі. Вулканізатори подають останніми. Змішування продовжується 2 – 4 хв. Готову суміш називають сирогою гумою, яка йде на виготовлення виробів.

Залежно від форми виробів заготовки отримують такими методами (рис. 7.173): каландруванням, шприцуванням, штампуванням, формуванням, отриманням відливок під тиском і маканням. Каландруванням отримують гладкі або профільні листи, стрічки, періодичні профілі,

транспортні стрічки, ремні. Найбільш поширені тривалкові каландри.

Шприцуванням (витісканням) отримують профільні й трубчасті заготовки. Ці операції виконують на шприц-машинах шляхом протискання сирової гуми шнеком через фігурний отвір наконечника, подібно до того, як це робиться під час обробки пластмас. Формуванням у прес-формах отримують манжети, амортизатори, котки, ролики, ручки та ін. Під тиском суміш заповнює порожнину рухомої частини прес-форми (пуансона). Те ж саме може бути під тиском на ливарних машинах, або на штампах.

Дуже тонкі штучні вироби (медичні рукавички) отримують шляхом вмокання моделі в латекс.

Складні гумові вироби (шини, взуття), до складу яких входять гумотканинні, тканинні, металеві деталі, а також деталі з різних видів гуми, виготовляють шляхом складання на моделях чи спеціальних верстатах. У такому разі каландровані або шприцовані напівфабрикати заздалегідь ріжуть на деталі, а потім з'єднують клеєм або стисканням. Кінцева форма виробу завершується в прес-формі під нагріванням і тиском. Усі отримані вироби підлягають вулканізації, яку виконують у прес-формах одночасно з процесом формування. Для цього форми підігрівають паром або електричним струмом. Сира гума в прес-формі під дією тепла спочатку пом'якшується і заповнює форму, а потім внаслідок вулканізації каучука – твердне.

Режим вулканізації (температура, тиск, період витримки й охолодження) залежить від складу суміші, розмірів виробу, пристрою для підігрівання та інших факторів. Найчастіше використовують температуру 130 – 160°C, тиск 0,3 – 0,6 МПа, період вулканізації займає від декількох до десятків хвилин. Вироби обрізають, зачищають, покривають лаком.

Виробництво хімічних волокон. Волокна поділяють на натуральні й хімічні. Натуральні волокна, у свою чергу, діляться на органічні й неорганічні. До органічних волокон відносять ті, що виробляють з бавовни, льону, джута, коноплі, а також з вовни і шовку. Неорганічні натуральні волокна роблять переважно з азбесту. Натуральні волокна мають низьку температуру експлуатації, невисокі механічні й хімічні властивості і значну собівартість.

Хімічні волокна поділяють на штучні, які отримують з природних полімерних сполук, і синтетичні, які виробляють з полімерів. Особливу групу складають скляні волокна. Штучні волокна поділяють на целюлозні (віскозні, мідноаміачні й ацетатні) і білкові (козеїнові, соєбобові), а синтетичні – на карболанцюжкові й гетероланцюжкові. До карболанцюжкових волокон відносять хлорін, нітрон, політен, віньон,

саран, вінол, а до гетероланцюжкових – поліамідні, поліефірні, поліуретанові. Технологія виготовлення хімічних волокон складається з таких стадій: отримання початкового матеріалу; приготування прядильної маси; формування волокна; оздоблення. Високомолекулярні сполуки, які використовують для отримання волокон, повинні мати високий ступінь чистоти, добре розчиняються і плавяться.

Для виготовлення синтетичних волокон отримують початковий матеріал шляхом синтезу полімера – смоли, а для виготовлення штучного волокна необхідно відділити домішки від природних полімерів.

Приготування прядильної маси починається з розчину полімерів у спирті, ацетоні чи лугах або з розплавлення смоли. Потім розчин чи розплав очищають фільтруванням від домішок, а також від пухирців повітря. До розчину додають барвники, які надають волокну певного кольору. Формування волокна виконують вологим і сухим способами, прядінням із розчину і сухим способом із розплаву. Незалежно від способу формування прядильну масу протискають через фільтру (волокноутворювач), яка має до 2 500 отворів діаметром від 0,04 мм і більше. Тонкі стрічки розчину або волокон розплаву охолоджують і обробляють хімічними способами. У разі застосування вологого способу

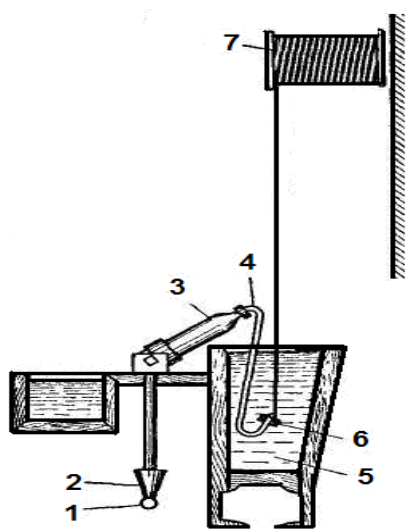


Рис. 7.174. **Схема прядіння мокрим способом**

прядіння віскозного волокна (рис. 7.174) прядильний розчин насосом 2 подається крізь фільтр 3 і скляну трубку 4 у фільтру 6, яка разом зі скляною трубкою вмонтована у ванну 5, де знаходиться розчин певного складу. Струмień прядильного розчину, потрапляючи крізь фільтру в розчин ванни, реагує з ним, внаслідок чого утворюються нитки твердого полімерного волокна, які натягують і укладають на бобину.

Під час оздоблення волокна промивають, відбілюють, підфарбовують, обробляють жирутримувальним розчином, який додає волокнам слизькості для подальшої переробки.

Після сушіння волокна піддають намотуванню на шпулі або упаковують в кіпи (штапелі). Штучні волокна (віскозні, ацетатні) набули широкого використання в техніці. Для виготовлення віскозного волокна прядильний розчин готують з листів целюлози, які обробляють розчином їдкого натру (18 – 20%), внаслідок чого

утворюється лугова целюлоза. Лугову целюлозу віджимають від залишкових лугів, подрібнюють, витримують при 20 – 22°C для попереднього дозрівання, яке потрібне для зниження ступеня полімерізації целюлози і отримання розчину для формування необхідної в'язкості, а потім обробляють сірковуглецем CS_2 (ксантогенування), тобто отримують ксантогенат целюлози. Він добре розчиняється в 4 – 7% розчині NaOH з утворенням прядильного в'язкого розчину, який називають *віскозою*. Віскозу фільтрують, витримують від 24 до 60 годин при температурі 14 – 17°C. У процесі дозрівання з розчину виділяються пухирці повітря. Готовий розчин ксантогената подають на формування волокна вологим способом прядіння.

Поліамідні волокна виготовляють з поліамідних смол, які отримують полімерізацією лактамів, поліконденсацією діамінів і дикарбонових кислот, амінокислот. Смоли, залежно від їх властивостей, використовують як для отримання пластмас, так і для отримання синтетичних волокон, клею, плівок. Поліаміди стійкі до масел, бензину, мікроорганізмів, мають низький коефіцієнт тертя.

Капрон виготовляють зі смоли капролактаму. Процес отримання смоли полягає в наступному: розплавлений капролактаму (при 70 – 75°C) змішується з 0,5 – 1,0% CH_3COOH (активатором) і з 5 – 10% H_2O : після очищення (фільтрації) він подається в стальний автоклав на полімерізацію, яка виконується при 250°C в атмосфері азоту під тиском 15 ат ($1,5 \text{ MN/m}^2$) протягом 10 – 11 годин. Вода при високій температурі реагує з капролактамом, уворюючи амінокапронову кислоту, яка вступає в дію з капролактамом, і утворюється полімер. Смола витискається з автоклаву азотом, вимивається водою, віджимається і підсушується. Температура плавлення смоли – 215°C.

Синтетичне волокно зі смоли – капрон – отримують методом сухого прядіння із розчину. Швидкість прядіння синтетичного волокна – 1 500 м/хв, що в 15 – 20 разів вища від віскозного.

Нейлон (анід) формують зі смоли найлон (255°C плавлення), яку отримують під час поліконденсації адіпінової кислоти і гексаметилендіаміну. Процес здійснюють при 280°C в присутності стабілізатора (CH_3COOH) протягом 8 – 10 годин. Формування і подальша переробка волокна аналогічна до процесів отримання капрону.

Енант виробляють зі смоли енант, яку отримують поліконденсацією аміноенантової кислоти $H_2N(CH_2)_6 COOH$. Волокно формують методом сухого прядіння із розплаву.

Поліамідні волокна використовують для виготовлення тканин, високоміцного корду, фільтраційних і технічних тканин, електроізоляційних матеріалів, сіток, канатів та ін.

Лавсан – поліефірне волокно, яке формують зі смоли лавсану, що отримують поліконденсацією терефталевої кислоти і діетиленгліколя. Поліконденсація проводиться при 280°C у високому вакуумі (1 мм рт. ст.), після чого смола витискають азотом у ванну з водою, де швидко охолоджують.

Волокно лавсан формують сухим способом прядіння із розплаву (смола плавиться при 260°C). Волокно біле, не підлягає скороченню, не боїться вологи, стійке проти кислот, лугів, бактерій, термостійке, має високу міцність. Трудомісткість виробництва лавсану в 6 – 7 разів менша, ніж вовни, і в 4 рази менша, ніж у виробництві бавовни. Волокна лавсану використовують для виготовлення одягу, конвейєрних стрічок, канатів, сіток, кислотостійких фільтрів, а також для виготовлення корду.

Поліакрилові волокна отримують із полімера і співполімера нітрилу акрилової кислоти.

Поліакрилнітрил отримують із полімера акрилнітрилу. Процес полімерізації проводять у водному розчині в присутності гідросульфату натрію $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ і персульфату калію $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$. Волокна отримують мокрим способом формування. Вони стійкі до окиснювачів і малостійкі до лугів і H_2SO_4 при підвищених температурах; стійкі до світла, витримують вологу, не гниють. Вони погано сприймають фарбу і мають низьку гігроскопічність.

Поліакрилові волокна використовують для виготовлення кордних фільтрувальних тканин, парусів, канатів та ін.

Разом з цим виробляють також волокна із поліетилену, які добре витримують низькі температури до -60°C, і із поліпропілену, які мають високу термостійкість до 170°C, міцність, хімічну стійкість; також волокна із фторопласту-4, які отримують методом спікання і використовують для виготовлення тканин для фільтрування агресивних середовищ і, крім того, виготовляють волокна із хлористого вінілу і співполімерів його з вініліденхлоридом.

Скляні волокна отримують із розплавленого скла витягуванням скломаси через фільтри зі скляних штабиків під час їх нагрівання, розділенням струменя скломаси стисненим повітрям.

Скляні волокна відрізняються між собою довжиною і діаметром волокна: безперервне довге (довжина більше 20 км), штапельне коротке (довжина від 5 до 50 см). Залежно від призначення діаметр волокна

різний: для виготовлення текстильних виробів – від 3 до 12 мкм; тепло- і звукоізоляційні – від 0,5 до 40 мкм; тканин, які використовують для фільтрів газів і рідин, – від 0,1 до 15 мкм.

Механічні, електроізоляційні та інші властивості скляних волокон залежать від хімічного складу скломаси, товщини волокна, способу формування і стану поверхні. Міцність волокна, що одержане через фільтру, в 2 – 2,5 рази вища, ніж одержаного методом розділення цівки скломаси повітрям. Скляні волокна менш гнучкі, ніж інші.

Скляні волокна, що отримані з лугового скла, стійкі до дії мінеральних кислот (крім H_3PO_4 і HF), а волокна, до складу яких входить двооксид цирконію, стійкі в слаболугових середовищах. Волокна із безлугового скла стійкі до дії води, нейтральних середовищ, але добре руйнуються кислотами і лугами. Особливо цінною властивістю скловолокон є температуростійкість. Зі скловолокон виготовляють склопластики.

7.8. Основні технології виробництва будівельних матеріалів та житлового будівництва

Властивості будівельних матеріалів і їх класифікація. Головні властивості будівельних матеріалів поділяють на декілька груп [40]. До першої групи відносять фізичні властивості матеріалів: густину, пористість. Наприклад, густина (ρ , $кг/м^3$) – це величина відношення маси матеріалу до об'єму. До другої групи відносять: вологість і віддачу вологи, вологопоглинання, гігроскопічність, водопроникнення, водо- і морозостійкість. До третьої групи відносять механічні властивості матеріалів: міцність, твердість, стирання та ін. Наприклад, міцність матеріалу характеризується межею міцності (σ , $кгс/м^2$), це відношення руйнівної сили до площі поперечного перерізу зразка. До четвертої групи відносять теплотехнічні властивості: теплопровідність, теплоємність, вогнестійкість, вогнетривкість. Особливу групу складають технологічні властивості (наприклад, здатність матеріалу механічно оброблятися).

За природою будівельні матеріали поділяють на мінеральні й органічні. Мінеральні матеріали мають високу питому вагу, міцність, хімічну, біологічну і вогнетривку стійкість. Їх використовують для конструкційних відповідальних деталей і елементів.

Органічні матеріали мають низьку об'ємну вагу, теплопровідність, міцність, хімічну і вогнестійкість. Їх використовують, головним чином, у приміщеннях для облицювання, крівлі, теплоізоляції та ін.

За сировиною будівельні матеріали поділяють на безопалювальні, які отримують на основі мінеральних в'язучих речовин, керамічні (опалювальні), металеві, скляні, бітумні, полімерні, лісові.

Природні будівельні матеріали. Лісові матеріали широко використовуються в будівельній промисловості (підлога, двері, дверні й віконні коробки, стіни, крівля, меблі та ін). До складу деревини входять: целюлоза $C_6H_{10}O_5$ – надає гнучкості, стійкості й міцності, геміцелюлоза – надає хімічної стійкості, лігнін – надає клітинам деревини твердості й міцності. У сухій деревині до 40% целюлози, до 20 – 30% – лігніну, 20 – 30% – геміцелюлози і 3 – 8% смол і золотвірних речовин. Об'ємна маса хвойної деревини 600 кг/м^3 і дуба – до 750 кг/м^3 . Горить при температурі $250 - 300^\circ\text{C}$.

У будівельній промисловості використовують три групи лісових матеріалів: круглі, пиломатеріали і напівфабрикати.

Круглі матеріали (частіше хвойні) бувають мілкими – від 8 до 13 см, середніми – від 14 до 24 см і великими – від 26 см і більше. Використовують їх для отримання пиломатеріалів.

Пиломатеріали виготовляють із хвойних порід деревини п'яти сортів: відбірний, 1 – 4. За розміром пиломатеріали поділяють на дошки (13 – 45 мм), бруски (50 – 100 мм) і бруси (130 – 250 мм) завдовжки від 1 до 6,5 метрів з градацією 25 см.

Вироби і напівфабрикати з деревини поділяють на: стругані, до яких відносять дошки, паркет, паркетні дошки, плитки для крівель та ін.; будівельну фанеру – використовують для оздоблення перегородок; клейові конструкції – для перекриття, у вигляді балок, щитів та ін.; столярні вироби – це елементи дверей, вікон, перегородки й панелі; конструкції із деревини й індустріальні будівельні деталі, які використовують в каркасних, панельних будівлях, а також балки, арки, ферми та ін. Лісові матеріали широко використовують для різних частин споруд (обробки вікон, дверей, полів, покриття та ін.).

Безопалені матеріали отримують внаслідок затвердіння суміші, яка виготовляється з в'язучих речовин (цементу, вапна та ін.) і наповнювачів (гравію, щебеню, піску, азбесту, дерев'яних ошурків, стрічки). За видом в'язучої речовини вони поділяються на вапнякові, гіпсові, магнезійні й цементні.

Металеві матеріали загалом представлені виробами зі сталі й чавуну. Кольорові метали використовують для покриття виробів зі сталі.

Матеріали зі скла використовують для зовнішнього і внутрішнього оформлення будівель, для вставлення скла у раму вікна та ін.

Бітумні матеріали отримують шляхом обробки бітумами картону, тканин і використовують для покриття приміщень і гідроізоляції у вигляді рулонів і листів.

Полімерні матеріали виготовляють на основі пластмас і синтетичних смол. Використовують для облицювання, оздоблення, гідроізоляції, теплоізоляції, для настилу підлоги та ін.

За призначенням будівельні матеріали поділяють на такі групи: в'язучі, облицювальні, для оздоблення, теплоізоляційні, для скріплення, для підлоги, для застосування, виробу санітарно-технічного призначення, конструкційні та ін.

Некондиційну лісову деревину використовують для виготовлення деревоплит, в яких речовиною для зв'язки є карбамідні або фенольні смоли з додаванням антисептиків, антипіренів і гідрофобізаторів. Внаслідок теплового пресування деревоволокнистих мас отримують плити суцільні, багатопустотні, комбіновані, а також з художньою обробкою поверхні. Їх використовують для настилу підлоги, оздоблення стін, стель, меблів, як теплоізоляційний матеріал.

Дерев'яні ошурки і стрічки використовують для виготовлення ксилолітових і фібролітових плит, які використовують для настилу підлоги і теплоізоляції.

Природні мінеральні матеріали. Згідно з генетичною класифікацією гірські породи поділяють на три групи: вивержені, осадові й метаморфічні.

Вивержені – сформувались із розплавленої магми, яка піднялась із глибин землі і затверділа на поверхні в результаті охолодження. Магма, яка не вийшла на поверхню, а затверділа під шаром землі, перетворилась на граніт, сієніт, діорит, габро, які мають зернистий кристалічний стан. Та магма, що застигла на поверхні землі, перетворилась на базальт, діабаз, андезит, порфір з дрібнокристалічною структурою. Обламани вивержені породи (вулканічні попели, пемза) утворилися внаслідок швидкого охолодження дрібної лави. Частина таких порід утворила вулканічні туфи.

Масивні вивержені породи мають високу міцність, морозостійкість, добре шліфуються, мають високу кислотостійкість і мало зношуються. Їх використовують для виготовлення облицювальних плит, сходів, підлоги, гідротехнічних споруд та ін.

Обламані вивержені породи використовують як щебінь, пісок для виготовлення легких бетонів, у вигляді дрібного каменю для кладки стін, як активні добавки до вапняку і цементу, а також для теплоізоляції.

Осадкові гірські породи – це продукти фізичного й хімічного розпаду гірських порід під дією води, вітру і температурних змін, внаслідок чого утворились глина, пісок, гравій і пісковики. Деякі мінерали розчинялися у воді, потім осідали, утворюючи хімічні осадки – гіпс, вапняк, доломіт, магнезит. З мінеральних частин живих і рослинних організмів утворювалися осадкові породи: вапняк, крейда, черепашник, діатоміт. Використовують їх, головним чином, для виробництва мінеральних в'язучих речовин (магнезіального, доломітового, гіпсового, ангідритового цементу і вапна).

Дуже міцні й кристалічні вапняки, вапнякові туфи, доломіт, гіпсове каміння використовують для виробництва облицювальних плит, стінових каменів, а також в дорожньому будівництві. Магнезит і доломіт використовують для виготовлення вогнетривких матеріалів. Кременисті породи (діатоміти, трепели) з низькою об'ємною масою, малою теплопровідністю – широко використовують як теплоізоляційні матеріали і гідравлічні домішки до в'язучих речовин.

Породи механічного відкладання (пісок, гравій, пісковики) використовують як заповнювачі в процесі виготовленні розчинів, бетону, а також для дорожнього покриття. Глини використовують, головним чином, для виробництва кераміки й цегли.

Метаморфічні – це такі матеріали, в яких зміни будови і складу відбувалися під впливом високих температур і тиску: гнейси, які утворилися з граніту і мають сланцеву будову, – використовують як облицювальні плити, а також у вигляді бутового каменю для спорудження фундаментів, мармури – це видозмінені кристалічні вапняки і доломіти, які використовують для облицювання, кварцити – це видозмінений кременистий пісковик, який використовують для облицювання споруд, а також як сировину вогнетривкого виробництва.

Матеріали і вироби з природного каменю. Добування рваного (бутового) каменю здійснюють буро-підривними методами з використанням екскаваторів, транспортерів і дробильно-сортувальних установок, де отримують потрібні розміри каміння.

Блоки або штучні камені певної форми, великих розмірів добувають шляхом різання гірської породи спеціальними машинами.

Природні піщано-гравійні суміші добувають одно- або

багатоковшевими роторними екскаваторами або гідромеханічним способом. Піщано-гравійні суміші переробляють на гравій і пісок, сортуючи на ситах з відділенням пилу і глини.

Щебінь отримують шляхом подрібнення порід на дробильному устаткуванні. Гравій і щебінь поділяють на чотири фракції розміром 5 – 10, 10 – 20, 20 – 40 і 40 – 70 мм. Пісок – це суміш частинок розміром від 0,15 до 5 мм.

Штучні камені обробляють на спеціальних машинах і верстатах. Обробка складається з операцій розпилювання блоків на плити і бруски необхідної товщини, фрезерування, оздоблення плит і брусків за відповідними розмірами, профілюванням і оздобленням лицевої поверхні каменя.

Залежно від призначення матеріали поділяють на декілька видів. Матеріали і вироби для викладання фундаментів і стін (бутові, колоті, пиляні камені з міцних гірських порід використовують для підземних робіт), пиляні та колоті камені і блоки з пористих порід – для викладання стін.

До облицювальних та архітектурних виробів з різних порід належать: плити, блоки, плити для настилу підлоги і облицювання стін, профільні елементи облицювання стін, цокольні плити й камені, карнизи, вузлові і підвіконні плити, елементи сходів, паркету й огорожі.

Матеріали і вироби для дорожнього будівництва – це бортові камені, бруцатка, колотий або буличний камінь, щебінь, пісок і мінеральний порошок.

Матеріали і вироби для підземних і гідротехнічних споруд і мостів включають: плити, камені для облицювання тунелів і надводних частин споруд, природні камені (рвані, колоті й пиляні, щебінь) для гідротехнічних споруд.

Хімічні та теплостійкі матеріали і вироби: камені рівної форми і фасонні, плити облицювальні для підлоги, камені рвані, щебінь і пісок для бетонів, розчинів, мастик, замазок. Для захисту від кислот і високих температур використовують переважно вивержені породи, а для захисту від лугів – осадові.

Керамічними називають матеріали і вироби, які отримують внаслідок обпалення глини з домішками або без них шляхом формування, сушіння й обпалення. За призначенням керамічні будівельні матеріали і вироби поділяють на: стінові вироби – цеглу, керамічні камені й панелі з них; фасадні вироби – лицеву цеглу, різні

плитки, архітектурно-художні деталі, набірні панно, вироби для внутрішнього оздоблення стін, глазуровані плитки і фасонні деталі до них (карнизи, пояси, закутки); плитки для облицювання підлоги, вироби для перекриття (балки, панелі, спеціальні камені); покрівельні вироби – черепицю, санітарно-будівельні вироби – унітази, ванни; дорожні вироби – клінкерну цеглу; вироби для підземних комунікацій, каналізацію і дренажні труби; теплоізоляційні вироби – керамзит – керамічні панелі, чарункова кераміка, діатомітові і шамотні легковісні вироби, заповнювачі бетонів – керамзит і аглопорит.

Керамічні вироби можуть бути глазурованими і неглазурованими. Сировиною для виготовлення керамічних виробів є глина. Для зниження усадки глин вводять виснажувальні матеріали (пісок, шлак, керамічний пил та інше). Полегшенню керамічних виробів сприяють: вугільний порошок, торф, тирса. Зниженню температури відпалу виробів сприяють: польовий шпат, пегматит, доломіт, які в суміші з глиною утворюють легкоплавкі з'єднання, що сприяє підвищенню питомої ваги й міцності виробів.

Технологічний процес виробництва керамічних матеріалів складається з: добування глини, підготовки глиняної маси, формування, сушіння виробів і відпалу.

Добування глини ведуть в кар'єрах багатоковшевіми екскаваторами, звідки вона самоскидами чи транспортерами подається на завод.

Підготовку глиномаси виконують напівсухим, пластичним або вологим способами.

Сухим способом сировину підсушують, мелють, перемішують і зволожують до 8 – 12%, після чого формують вироби під тиском до 15 МПа (головним чином, для виготовлення облицювальних плиток і плиток для підлоги).

Пластичний спосіб формування використовують для отримання цегли, керамічного каменю, черепиці, труб. Сировину роздрібнюють і зволожують до 18 – 22%, потім формують вироби.

Вологим способом підсушену глину розмелюють до порошку і змішують із 50% води, отримуючи однорідну масу (шлікер). Формування виробів виконують шляхом заповнення гіпсових форм. Так виготовляють санітарно-технічну та декоративну кераміку.

Сушіння керамічних виробів здійснюють у спеціальних сушарках. Обпалювання висушених виробів здійснюють при температурі 900 – 1 100°C у печах.

Стінові керамічні матеріали і виробу (глиняна цегла, керамічне каміння, цеглові стінові панелі).

Глиняна цегла має розміри 250x120x65 мм. Випускають також полуторну цеглу товщиною 88 мм з технологічними пустотами. Усі керамічні виробу, розмір яких більший за цеглу, називають керамічним камінням.

Технологічний процес виробництва глиняної цегли полягає в наступному: глину з кар'єру роздрібнюють, подають у змішувач, де її зволожують і після змішування пресують у виробу до 10 тис. штук за годину. Сушіння відбувається в тунельних печах – сушарках – від 24 годин до 3 діб. Відпал виробів виконують у кільцевих тунельних печах безперервної дії. Відпал іде протягом 18 – 36 годин. Продуктивність печей – до 50 млн. штук цегли за рік. Виробляють 7 марок глиняної цегли залежно від міцності на тиск: 75, 100, 125, 150, 200, 250, 300. Об'ємна маса цегли змінюється від 1 700 до 1 900 кг/м³. Водопоглинання цегли марок більше 150 – до 6%, а для цегли інших марок – до 8%. За морозостійкістю глиняна цегла поділяється на чотири марки: Мрз-15, Мрз-25, Мрз-35, Мрз-50. Будівельну глиняну цеглу використовують для викладання зовнішніх і внутрішніх стін житлових, цивільних і промислових споруд, а також для печей, димових труб, стовбів, сподів, цегляних панелей.

Глиняна пустотіла цегла виробляється з дірчатими або пористодірчатими пустотами, які утворюють добавки, які вигорають. Розміри такої цегли: 250x120x65 і 250x120x88 мм з 13, 19, 32, 78 пустотами, об'ємна маса 1 000 – 1 450 кг/м³. Вробляють чотири марки цегли: 75, 100, 125, 150.

Легку будівельну цеглу виготовляють з легкоплавких глин, до яких додають тирсу, торф, роздрібнене вугілля. Розмір цегли 250x120x88 мм. Об'ємна маса може бути від 700 до 1450 кг/м³, міцність від 3,5 до 100 МПа. Використовують легку цеглу для виведення стін споруд, і не підходить вона для фундаментів, кладки печей і димових каналів.

Керамічні пустотілі камені виробляють методом пластичного формування з рівними, рифленими поверхнями і наскрізними пустотами. Довжина каменів 250, 190, 290 мм, ширина – 120, 70, 190 мм, об'ємна маса – 130 – 1 450 кг/м³, водопоглинання – 6%. Їх випускають 4-х марок: 75, 100, 125, 150. Використовують для викладання носійних стін і перегородок, виготовлення цегляних панелей, стін каркасних споруд. Не

можна використовувати пустотілі камені для викладання фундаментів, цоколів споруд, а також для зовнішніх стін вологих приміщень.

Стінові цегляні панелі виготовляють з цегли або керамічних каменів на основі цементациї їх у моноліт цементно-піщаним розчином. Для зовнішніх стін виробляють двошарові й одношарові панелі. Двошарові панелі товщиною 260 мм для кімнати 2670x3180 мм складаються з цегли товщиною 120 мм, утеплювача мінераловатної плити, піноскла, фіброліту товщиною 100 мм і оздоблювальних шарів з цементного розчину до 40 мм. Зовнішню сторону панелі іноді облицьовують плиткою.

Одношарові панелі зовнішніх стін виготовляють із пустотілих каменів, а внутрішніх стін – з цегли, армують їх металевим каркасом і виробляють товщиною 300 мм, розміром 2750x3190 мм.

Технологічний процес виготовлення панелей складається з таких операцій: виготовлення цементно-піщаних розчинів, виготовлення арматурного каркасу, формування панелі, тепло-вологої обробки при температурі 80°C протягом 8 – 12 годин, оздоблення.

Керамічні облицювальні матеріали – це облицювальна цегла, пустотілі камені, плити, фасонна цегла, облицювальна плитка, деталі для карнизів з гладенькою, рельєфною і глазурованою поверхнею.

Лицеві цегла і камені використовують для викладання зовнішніх рядів фасадів і внутрішніх стін вестибюлів, сходів і переходів.

Виробляють лицеву цеглу і камені 4-х марок: 75, 100, 125, 150, волого поглинання не менше 6% і не більше 14%.

Малогабаритні фасадні плитки виготовляють способом напівсухого пресування розміром 250x40x10 мм, цокольні – 150x75x9 мм і типу “кабанчик” 120x65x7 мм. Вони можуть бути глазурованими і неглазурованими, різного кольору.

Килимова кераміка – це плитки невеликих розмірів різного кольору 48x48x4 мм, килими – 724x464 і 672x424 мм із водопоглинанням не більше 12%. Килимову кераміку широко використовують для облицювання стінових панелей, а також стін спортивних і торговельних приміщень.

Глазуровані плитки виготовляють способом напівсухого пресування. Для внутрішніх робіт плитки виробляють розміром 150x150 мм або 100x100 мм товщиною 4 – 5 мм. Водопоглинання – не більше 16%, вони термічно стійкі. Використовують для облицювання кухонь, санітарних приміщень, житла, шкіл, дитячих садків, лікарень, торговельних підприємств, пралень, лазень, стін лабораторій, а також

для облицювання стін і переходів метрополітену.

Плитку для підлоги виготовляють із глини шляхом пресування і наступного відпалу до спікання. Виробляють великі прямокутні, трикутні, шестигранні, восьмигранні плитки розміром по довжині грані від 50 до 150 мм і товщиною від 10 до 13 мм. Лицьова поверхня може бути гладенькою, тисненою і шорсткою різного кольору з водопоглинанням не більше 4%.

Квадратні та прямокутні мозаїчні плитки виробляють розміром 23x45 мм, товщиною 6 і 8 мм, різного кольору з водопоглинанням не більше 4%.

На 1 м² плитки потрібно 80 кг сировини і матеріалів; 8,6 кг умовного палива; 3 кВт/год електроенергії.

Плитки широко використовують для облицювання підлоги в санітарних вузлах, вестибюлях громадських приміщень, лазнях, пральнях, на м'ясокомбінатах.

Теплоізоляційні керамічні матеріали на основі глин: керамзит і аглопорит використовують переважно як заповнювачі легких бетонів. Технологія їх виробництва заснована на термічній обробці сировини, під час якої в масі утворюється в'язка фаза, здатна утримувати газоподібні продукти горіння, які спучують, утворюючи пори в опалюваному матеріалі.

Керамзит – легкий пустотілий матеріал чарункового устрою, який отримують у процесі обпалювання легкоплавких глинистих порід, здатних спучуватись під час швидкого нагрівання в інтервалі температур 1 150 – 1 250°C. Активного спучування досягають за рахунок меленого вугілля, тирси, залізної руди, масла, мазуту.

Якість керамзитового гравію характеризують за розміром зерна: 5 – 10, 10 – 20, 20 – 40 мм, межа міцності 0,6 – 0,7 МПа, водопоглинання – 15 – 25%.

Керамзит використовують як пористий наповнювач легких бетонів, а також як теплоізоляційний матеріал.

Аглопорит отримують шляхом агломерації шихти з глини і домішок (вугілля, тирса та інше – до 10 – 15% від маси глини). Спікають шихту на аглострічці при температурі 1 400°C, висота шару на аглострічці 250 – 300 мм.

Внаслідок спікання отримують аглопоритові пісок і щебінь. Відрізняють три фракції щебеню: 5 – 10, 10 – 20, 20 – 40 мм. Гранули піску – не більше 5 мм. Залежно від насипної маси аглопоритів щебінь

поділяють на марки 500 – 800, а пісок 800 – 1 000. Межа міцності на стискання щебеню – 0,6 – 1,7 МПа. Використовують аглопорит як заповнювач легких бетонів.

Скло і вироби з нього. За призначенням промислове скло поділяють на будівельне, технічне, електровакуумне, тарне, сотове.

До групи будівельного відносять: листове-віконне і вітринне (поліроване й неполіроване), армоване, візерунчате, світло- і теплозахисне, конструктивно-будівельні елементи зі скла – пустотілі блоки, деталі для склозалізобетону, склопрофіліт, панелі з листового скла, черепиця, склопакети, архітектурно-художню скломозаїку, облицювальну плитку, стемаліт, марбліт, смальту, шлакоситалові плитки, тепло- і звукоізоляційне будівельне скло (піноскло, скловолокно, скловолокнисті вироби, скло для санітарно-технічних виробів), опалювальні пристрої, елементи санвузлів, окремі елементи зі скла для меблів, електроапаратури і деталі освітлювальної арматури.

Головною сировиною для виробництва скла є кварцовий пісок, глинозем, сода, сульфат натрію, доломіт, крейда, вапняк. Розплавлена скломаса має такий склад: SiO_2 – 70 – 72%, Al_2O_3 – 2%, CaO – 7 – 8% MgO – 3 – 3,5%, N_2O – 14,5 – 16%.

Технологічний процес виробництва скла поєднує такі операції: підготовку сировини і приготування шихти, варіння скла, формування виробів, повільне охолодження виробів (відпал).

Варять будівельне скло у ванних печах безперервної дії при температурі 1 500°C і добовому виробництві 350 т скла.

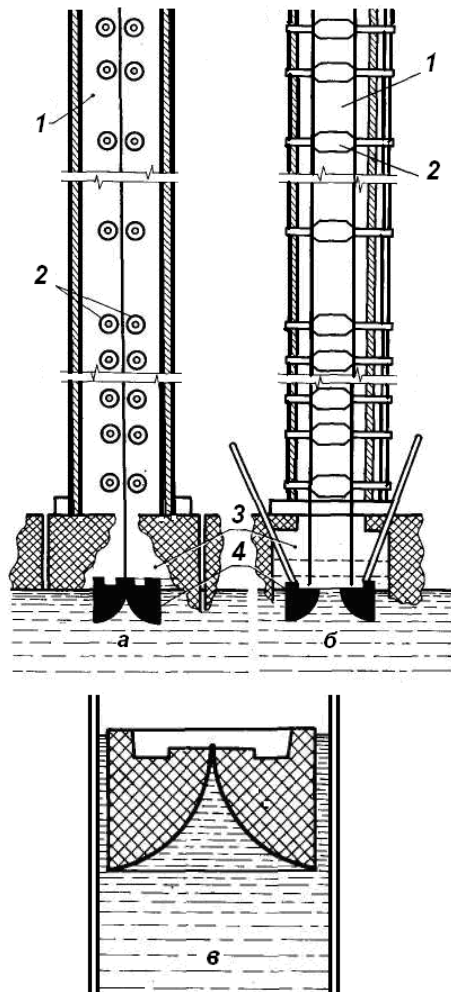
Вироби зі скломаси формують витягуванням, прокатуванням, пресуванням, видуванням, відцентровим і ливарним способами.

Унаслідок нерівномірного застигання скла виникають різноманітні напруження, які призводять до розтріскування виробів, тому їх відпалюють у спеціальних печах при температурі, на 20°C нижчій від температури – пом'якшення скла, час витримки виробів при температурі відпалу – не більше 15 – 20 хвилин.

Листове скло (віконне, загартоване, вітринне, дзеркальне, армоване, хвилясте, візерунчате, теплопоглинальне) отримують із в'язкої скломаси шляхом витягування і прокату. Існують човникові і безчовникові способи витягування скла. Принцип формування при човниковому способі полягає в наступному. У канал, де маса охолоджена до 1 000°C, занурюють шамотний паралелепіпед з

прохідним поздовжнім вирізом у вигляді щілини.

Скломаса витискається крізь щілину човника, налипає на металеву



раму і піднімається вгору з допомогою азбестових валків машини вертикального витягування у вигляді плоскої стрічки скла. Машина є чавунною шахтою прямокутного перерізу, всередині якої по висоті розміщені 13 пар азбестових валків, які транспортують стрічку скла. Висота шахти – до 7 м, ширина стрічки скла – до 4,5 м, швидкість витягування – до 100 м/год (рис. 7.175).

Скло надрізають, відломлюють, розрізають на листи, сортують, групують і упаковують. Цим способом виробляють віконне скло товщиною від 2 до 6 мм. Недоліком цього способу є утворення смуг на стрічці скла.

Краще скло отримують при безчовниковому витягуванні. При цьому способі використовують таку ж машину, в якій крім вертикального способу витягування існує й горизонтальний.

Витягування спочатку здійснюють вгору, а потім стрічка скла перегинається через вал, який розміщений на деякій висоті над дзеркалом скломаси і далі стрічку

витягують в горизонтальному напрямку.

На виході з машини стрічка скла потрапляє в конвеєрну піч довжиною 50 – 60 м. Швидкість витягування досягає 140 погонних м/год.

Способом прокатування одержують широкий асортимент безбарвних і кольорових виробів з потовщеного скла. При цьому поверхня скла шорстка і його необхідно шліфувати і полірувати. Таким способом виробляють армоване скло з металевою сіткою, візерунчате,

поліроване різного призначення. Існують два способи прокатки: між валками, які обертаються назустріч один одному, і на площині (стільці) під тиском валка, який весь час перекочується.

Спосіб безперервної прокатки полягає в наступному: скломаса з ванни печі безперервно подається до валків машини через спеціальний зливний поріг. Формування маси відбувається з допомогою металевих валків, звідки готова стрічка йде на металеву плиту для охолодження і далі – в тунельну піч для відпалу. Ширина стрічки – 1 800 – 3 200 мм, товщина – 5 – 15 мм, швидкість прокатування – 225 – 240 м/год.

Віконне скло випускають 2-х сортів і, залежно від товщини, шести видів: 2; 2,5; 3; 4; 5 і 6. Світлопроникнення для товщини 2 – 2,5 мм – 87%, для товщини 3 – 4 мм – до 85%, для товщини 5 – 6 мм – не менше 84%. Ширина листів 400 – 1 000 мм, довжина – 400 – 2 200 мм. Скло використовують для виготовлення склопакетів, матового скла, дзеркал і застосування громадських і промислових приміщень.

Скло для вітрин виготовляють з полірованого і неполірованого скла розміром 3 500x4 500 мм і товщиною 10 – 33 мм.

Армоване листове скло отримують шляхом горизонтального прокатування стрічки безбарвного скла із запресуванням у лист металевої сітки 0,45 – 0,5 мм з прямокутними або шестикутними пустотами. Ширина скла – 1,2 м, довжина – до 3 м і товщина – 5,6 – 8 мм. Використовують для світлових ліхтарів, ліфтових шахт, балконів, вікон, дверей тощо.

Загартоване скло отримують шляхом нагрівання до 600 – 680°C листового скла і різкого рівномірного охолодження. Нагрівають скло в електрочайниках і охолоджують обдуванням повітря. Різде охолодження сприяє виникненню рівномірних внутрішніх напружень, що надає йому підвищеної механічної міцності й теплостійкості. Механічна міцність загартованого скла у 5 – 8 разів більша від звичайного. Його використовують для автомобілів, тролейбусів, залізничних вагонів.

Хвильове скло виготовляють методом безперервного прокатування, де гофрувальний пристрій надає склу хвилястої форми і підвищеної жорсткості. Скло випускають армоване й неармоване. Використовують його для ліхтарів, покриття дахів, балконних огороджувальних.

Візерунчатє скло виготовляють методом горизонтального прокатування, в процесі якого за допомогою гравірувальних валків з

однієї або двох сторін наносять рельєфний малюнок. Скло може бути безколірним, кольоровим, армованим і неармованим розміром 1800x1200x6,5 мм. Його використовують для застосування дверей, перегородок, вікон у приміщеннях для одержання розсіяного світла.

Теплопоглинальне скло виготовляють способами, які використовують у виробництві віконного, прокатного, візерунчатого, армованого скла. До його складу додають окисне залізо, внаслідок чого скло утримує понад 75% теплових інфрачервоних променів. Його використовують для зниження сонячної радіації в житлах південних районів. За рахунок такого скла у вітринах добре зберігаються експонати.

Склопрофіліт – це вироби швелерного і коробчастого перерізу, які формують у процесі горизонтального прокатування. Коробковий профіль виготовляють шириною 250 мм, висотою 50 мм і товщиною 5 – 6 мм. Швелерне скло має ширину 250 – 500 мм, висоту полки 35 – 40 мм і товщину 5 – 6 мм. Довжина склопрофіліту – не більше 8 м. Його використовують для зовнішнього скління і для внутрішніх перегородок промислових та культурно-побутових споруд.

Склопакети – це вироби з дво- чи трилистових скляних пластин, з'єднаних на спеціальних прокладках по периметру таким чином, що між ними залишається замкнений простір, заповнений сухим повітрям. Склопакети бувають паяними, клейовими і звареними. Площа паяних і клейових пакетів 14 – 16 м², зварених – 1,5 м². Використовують склопакети замість звичайного подвійного скління приміщень. Вони не замерзають і не запітнівають навіть при -40°C.

Склоблоки – вироби з герметично закритою порожниною, яка утворюється внаслідок зварювання 2-х відпресованих напівблоків з гладенькою поверхнею. Склоблоки виготовляють безбарвними і кольоровими, прямокутними, квадратними й вузловими, прозорими, світлоспрямованими і світлорозсіювальними розміром 194x194 мм, товщиною 98 або 60 мм, прямокутними розміром 194x94x98 мм і вузловими розміром 194x209x98 мм. Їх використовують у промислових, житлових, цивільних будівлях для заповнення зовнішніх світлових отворів, перегородок, огороження ліфтових шахт та ін.

Скляні труби виготовляють вертикальним і горизонтальним витягуванням, а також відцентровим способом діаметром від 45 до 221 мм і довжиною 1 500 – 3000 мм. Використовують труби для

електрокабелів, транспортування агресивних кислот, лугів, продуктів харчування і пневмотранспорту дисперсних матеріалів. З'єднують скляні труби за допомогою спеціальних муфт, гумових манжетів із затягуванням металевими пасками.

Скляні деталі для склобетону і склозалізобетону становлять спресовані вироби у вигляді плиток, скляних призм і лінз, які використовують для покриття куполів будівель, де носійними елементами є залізобетон (каркаси), а скляні деталі виконують функції забезпечення освітлення приміщень.

До облицювальних скляних матеріалів відносять: кольорові плитки, марблін, стемаліт, а також скляну мозаїку і емальовану плитку.

Марблін виробляють розміром 1 200 – 3 000 мм, товщиною 6 – 12 мм і використовують для облицювання фасадів і внутрішніх приміщень, громадських приміщень. Оздоблюють також підвіконня, столи, прилавки.

Стемаліт має форму листа, на одній стороні якого запечена силікатна фарба. Дуже стійкий облицювальний матеріал у приміщеннях.

Скляну мозаїку виготовляють двох видів – смальту і килимову мозаїку. Смальта – це шматочки непрозорого литого або пресованого скла різних кольорів розміром 10x10x8 мм, які набрані за малюнком при виконанні мозаїчних робіт. Килимова мозаїка – це шматочки непрозорого прокатного скла різного кольору розміром 20x20x5 мм, що набрані в килими на крафтпапері розміром 100x60 мм. Зі смальти роблять скляні мозаїчні картини або орнаментні панно для зовнішнього і внутрішнього оздоблення.

Емальовані плитки – це безбарвне скло, покрите тонким шаром емалевого шлікеру і обпалені при температурі плавлення емалі. Плитки виготовляють розміром 150x150 і 150x75 мм, довжиною 150 – 600 і шириною 150 – 400 мм. Товщина може бути від 3,5 до 5,2 мм. Плитки використовують для облицювання санітарних вузлів, душових і ванних приміщень.

Піноскло – це легкий пористий матеріал, який виробляють зі скляного бою, змішаного з вапняком, антрацитом і піролюзитом і обпаленого в тунельних печах при температурі 750 – 850°C. Випускають піноскло довжиною 200 – 1 000 мм, шириною 200 – 500 мм і товщиною 100, 120, 140 мм. Скло використовують для утеплення стін, ізоляції теплових агрегатів, поглинання звуку і оздоблення.

Ситали і шлакоситали становлять склокристалічний матеріал з дуже дрібними (0,01 – 1 мкм) рівномірно розміщеними по об'єму кристаликами, з'єднаними між собою тонкими прошарками скла. Такий матеріал отримують зі скла під час його часткової або повної кристалізації, для чого необхідна повторна термічна обробка виробів при температурі 600 – 1100°C. Як кристалізатори використовують сполуки фторидів або фосфатів лугових і лугоземельних металів. Зі склокристалічних матеріалів виготовляють листові і хвильові вироби товщиною 30 мм, стінові панелі, труби, шлакпіноситали, санітарно-технічні вироби.

Штучні матеріали і вироби виготовляють з мінеральних в'язучих речовин, заповнювачів і води. В'язучими є вапно, цемент, гіпс, магнезит. Заповнювачі – пісок, шлак, гравій, щебінь, пемза, аглопорит, керамзит, тирса.

Безобпалені матеріали поділяють залежно від в'язучих речовин на чотири групи: на основі вапна – силікатна цегла і різні силікатні вироби; на основі гіпсу – панелі, плити, листи і камені; на основі магнезіальних в'язучих речовин – плитки для підлоги і облицювання приміщень; на основі цементу – профільовані, плоскі плити, панелі для кривлі і стінові з теплоізоляційним шаром, труби, з'єднувальні муфти, різні спеціальні вироби.

Силікатна цегла виготовляється із суміші негашеного вапна (5 – 8%) і кварцового піску (92 – 95%). Вода у вапняно-піщаній суміші становить 7 – 9%. Технологічний процес виготовлення силікатної цегли полягає в наступному: помел вапна, змішування з піском, гашення, зволоження маси, формування цегли, запарювання сирцю в автоклавах. Залежно від методу приготування силікатної маси цеглу виробляють барабанним або силосним способами.

У разі застосування барабанного способу вапно разом із піском подають в обертальний барабан, де відбувається змішування маси і гашення вапна паром під тиском 0,3 – 0,4 МПа протягом 40 хв.

Погашена маса потрапляє в лопатну мішалку або бігуни для доповнення вологи, перемішування і роздрібнення кусків. Для ущільнення суміші й надання цеглі-сирцю правильної форми пресування виконують під тиском 15 – 20 МПа на пресах продуктивністю 3 000 – 3 500 шт./год.

Сформований сирець автоматично укладається в вагонетку, яку подають в автоклав, де цеглу пропарюють паром під тиском 8,8 – 0,12 МПа протягом 6 – 8 годин при температурі 175 – 191°C. Автоклав – це металевий циліндр діаметром 2 м і більше, довжиною до 20 м з поперечних сторін герметично закритий кришками. У нижній частині змонтовані рейки, якими переміщуються вагонетки із сирцем.

Під час запарювання відбувається взаємодія між вапном і піском, унаслідок чого виникає гідросилікат кальцію, який цементує зерна піску і надає цеглі високої міцності.

Силікатну цеглу випускають двох видів: ординарного розміру 250x120x65 мм і модульного 250x120x88 мм. Цеглу модульного виду виготовляють тільки з технологічними порожнинами масою не більше 4,3 кг. За міцністю на стискання силікатну цеглу ділять на шість марок: 250, 200, 150, 125, 100, 75. Цеглу марки 75 використовують в малоповерховому будівництві. Лицьову силікатну цеглу виготовляють не нижче марки 125. Водопоглинання такої цегли не більше 14%, а рядової – 10%.

Використовують силікатну цеглу для мурування носійних стін, стовпів і перегородок в житлових, громадських і промислових будівлях. Не можна використовувати силікатну цеглу для кладки печей, труб, фундаментів, стін лазень, пралень, тому що при температурі й волозі вона розсипається. Собівартість силікатної цегли на 25 – 35% нижча, ніж глиняної.

Силікатні вироби міцної структури виготовляють з кварцового піску (70 – 80%), меленого піску (8 – 15%) і негашеного вапна (6 – 10%). Це панелі внутрішніх стін, сходи, перекриття, балки, колони, фасадні плити, фундаментні і цокольні блоки та інші армовані вироби.

Силікатні вироби пористої структури випускають армовані і без арматури. Піноутворення досягають за рахунок каніфольного мила і тваринного клею тощо. Під час виготовлення виробів пластичну вапняно-піщану масу змішують з піною і заливають у форму, яку потім після витримки завантажують в автоклави для запарювання. Вироби використовують для утеплення горищ, камер холодильних установок, теплопроводів та ін.

Гіпсові та гіпсобетонні вироби отримують із суміші гіпсового в'язучого матеріалу, води і наповнювача (піску, пемзи, туфу, шлаку керамзиту, аглопориту, тирси, січки очерету, соломи). Гіпсові вироби випускають повнотілими, пустотілими, армованими й неармованими. Вони мають гладеньку поверхню, високу міцність, добре обробляються.

Виробляють: гіпсову суху штукатурку, перегородні плити, панелі, гіпсобетонні камені, панелі для підлоги, об'ємні санітарні кабінки. Гіпсові перегородки дешевші від цегляних на 25 – 35%, залізобетонних – на 10 – 15% і дерев'яних – на 40 – 50%. Використання панелей для настилу підлоги зменшує трудомісткість робіт у 2 рази.

Вироби на основі портландцементу, особливо з азбестом, мають високу міцність, вогнетривкі й легкі. Цемент беруть марки, не нижче 400, з початком твердіння не раніше 1,5 години, тому що процес формування виробів відбувається повільно. Маса азбесту у виробах 10 – 18%, цементу – 82 – 90%, для труб – 15 – 21% і 79 – 85%. На кожний кілограм азбоцементу дають 4 – 5 л води.

Процес виготовлення виробів з азбоцементу складається з таких операцій: розщеплення (розпушування) азбесту і приготування азбестоцементної маси, формування, попереднє затвердіння відформованих виробів, їх механічна обробка і остаточне затвердіння.

Розщеплення азбесту виконують на бігунах, а потім змішують з цементом і водою в спеціальних машинах – голендерках – місткістю до 4,5 м³, звідки суміш потрапляє на формувальну машину. Головними елементами формувальної машини є ванна і пустотілий каркасний барабан, обтягнений металевою сіткою. Сітчастий барабан, занурений в азбоцементну суспензію на 0,7 діаметра. Під час обертання барабана на металевій сітці відфільтровується тонким шаром азбоцементна суміш, яка знімається з поверхні сітчастого барабану безперервною сукняною стрічкою і переноситься на металевий форматний барабан, на якому вона намотується концентричними шарами. Потім все це розрізають і знімають з барабана.

Сирий азбоцементний лист розрізають на потрібні розміри, якщо необхідно – пресують на хвилясту форму, після чого піддають твердінню. У процесі виготовлення труб використовують змінні форматні барабани з діаметром відповідно до внутрішнього діаметра труби. Відформовані труби подають на затверднення.

Затверднення відбувається в умовах зовнішнього середовища або при температурі, для чого вироби пропарюють у камерах – при 50 – 60°C протягом 12 – 16 годин. Вироби на піщаному портландцементі запарюють в автоклавах при 175°C і тиску 0,8 МПа протягом 9 годин. Після термообробки у виробах пробивають отвори, обрізають кромки, обточують кінці у труб, після чого відправляють у тепле сховище, де відбувається затверднення протягом 7 днів.

Використовують декілька видів азбоцементних виробів: профільні листи – хвилясті і напівхвилясті – для кривлі і обшивки стін, плоскі плити – звичайні і пофарбовані – для оздоблення стін, панелі для кривель і стінові з теплоізоляційним шаром, труби напірні й безнапірні з муфтами для з'єднання, різноманітні спеціальні вироби.

Із азбоцементу виготовляють профільні листи хвилясті звичайного і посиленого профілю, а також напівхвилясті. Листи звичайного профілю виготовляють у формі прямокутника із шістьма хвилями розміром 1200x678 і товщиною 5,5 мм. Листи посиленого профілю мають розмір 1750x2500x994 мм товщиною 8 мм. Почали також випускати хвильові листи з уніфікованим профілем розміром 1750x3300x1125 мм товщиною 6 – 7,5 мм.

Напівхвилясті листи мають плоскі ділянки і мають розміри 2500x1540x6 – 8 мм. Профільні листи використовують для кривель житлових, громадських і промислових споруд, облицювання стін, огорож, балконів.

Плоскі облицювальні плити виготовляють двох видів: пресовані й непресовані. Пресовані мають розмір 1600x1200x6 – 10 мм, а непресовані 1200x800x6 – 10 мм, з водопоглинанням 18 і 28% відповідно. Використовують їх для оздоблення стін, стель, панелей житлових і громадських споруд, покриття підлоги та ін.

Панелі з теплоізоляційним шаром – це вироби із азбоцементних листів, теплоізоляції і оздоблених матеріалів розміром 300x70x14 см. Панелі складаються з двох азбоцементних листів, між якими знаходиться повсть з мінеральної вати. Використовують їх для кривель промислових і культурно-побутових споруд.

Стінові панелі мають тришарову конструкцію, в якій зовнішній і внутрішні шари складаються з пресованих листів, а середні – з теплоізоляційного матеріалу (піноскла, мінераловатних плит, пінопластику) товщина може бути від 12 до 20 см і вага 1 м² до 180 кг. Використовують їх у будівництві каркасно-панельних промислових і житлових споруд.

Азбоцементні труби виготовляють трьох видів: водопровідні, каналізаційні й газопровідні.

Водопровідні труби випускають довжиною 3 – 4 м із внутрішнім діаметром 50 – 500 мм, товщиною стінок 9 – 43,5 мм. Вони витримують тиск 0,1 – 0,12 МПа.

Каналізаційні труби мають довжину 3 – 4 м з внутрішнім діаметром 50 – 600 мм і товщиною стінок 7 – 18 мм. Вони витримують тиск до 0,4 МПа.

Газопровідні труби виробляють довжиною 3 – 4 м з внутрішнім діаметром 100 – 500 мм і товщиною стінок 11 – 36 мм, витримують тиск не більше 0,5 МПа.

Спеціальні вироби – це вентиляційні короби, електроізоляційні дошки, напівциліндри і інше. Короби використовують для вентиляції і повітряного опалення приміщень. Азбоцементні напівциліндри використовують для захисного покриття і теплоізоляції трубопроводів зовнішнім діаметром 57 – 273 мм. Довжина напівциліндрів – 1200 мм, товщина стінок – 5,5 мм. Електроізоляційні дошки випускають розміром 1 200x700x800x4 – 100 мм.

Мінеральні в'язучі речовини, бетон, залізобетон. Класифікація і основні властивості в'язучих речовин. До в'язучих речовин відносять цемент, будівельне вапно і гіпс. Мінеральні в'язучі речовини – це порошкові матеріали, які при змішуванні з водою утворюють пластичну масу, яка твердне в міцне каміння. Їх поділяють на повітряні й гідравлічні. Повітряні в'язучі речовини тверднуть у повітряному середовищі, гідравлічні – у воді. Тому повітряні речовини використовують для спорудження наземних будівель, гідравлічні – можна використовувати в наземних, підземних, гідротехнічних та інших спорудах. До повітряних відносять гіпсові і магнезіальні в'язучі речовини, до гідравлічних – різний цемент. Вапняні в'язучі речовини можуть бути як повітряними, так і гідравлічними. Розрізняють в'язучі речовини за властивостями їх затвердіння.

Процес затвердіння здійснюється в три періоди.

Перший період – гідратація і розчинення. При змішуванні з водою відбувається реакція приєднання води – гідратація, внаслідок чого виникає гідратна речовина, яка погано розчинюється і швидко насичує розчин.

Другий період – колоїдизація або схоплювання. Нове з'єднання уже не може розчинюватись в насиченому розчині і тому виділяється в колоїдному стані у вигляді гелів. У зв'язку з цим суміш стає пластичною. Зменшення кількості вільної води приводить до загуснення суміші і зменшення пластичності (тісто схоплюється).

Третій період – кристалізація або тверднення. З часом желеподібні речовини кристалізуються, внаслідок чого тісто твердне і перетворюється на камінь. Із зростанням кристалічної фази збільшується міцність матеріалу. Цей процес може продовжуватись роками. Швидкість схоплювання сумішей характеризується періодом від початку змішування в'язучого матеріалу з водою до часу втрати ним пластичних

властиво-стей. Для більшості сортів цементу періоди схоплювання перебувають у межах: початок схоплювання – 45 хв, кінець – не більше 12 годин.

Другим показником властивостей в'язучих речовин є їх міцність після затвердіння. Міцність характеризується маркою. Марка, у свою чергу, характеризує межу міцності на вигін стандартного зразка (розмір 40x40x160 мм) і стиснення його половинок. Наприклад, марка 300 означає, що зразок при стисненні в 30 МПа руйнується. Зразки роблять із суміші: цемент – 1 частина, пісок – 3 частини і вода – 0,24 частини. Зразки 28 діб витримують у вологому і повітряному середовищах, а потім – у воді, після чого випробовують на міцність. Зразки гіпсу випробовують на міцність через 1,5 години після виготовлення. Тонкість помелу в'язучих речовин сприяє швидкості схоплювання, і ступінь затвердіння визначають за кількістю залишку при видсіюванні проби через сито.

Портландцемент – це продукт тонкого помелу цементного клінкера, отриманого шляхом обпалу до запікання суміші, яка забезпечує в цементі більшість силікатів кальцію. Для отримання портландцементу треба приготувати суміш, у якій має бути 75 – 78% CaCO_3 і 22 – 25% глиняної маси. Залежно від виготовлення сировинної суміші розрізняють вологий і сухий способи виробництва цементу. Більш поширений вологий спосіб (рис. 7.176).

Технологічний процес отримання цементу складається із наступних операцій: підготовка клінкеру, помел клінкеру в тонкий порошок і змішування його з домішками.

Сировина (вапняк, крейда, глина) підлягає попередньому подрібненню в щоккових і валкових дробарках до шматків не більше 5 – 10 мм. Потім м'які компоненти (крейда, глина) перемішуються з залізобетонних резервуарах діаметром 5 – 10 м і висотою 2,5 – 3,5 м, футерованих чавунними плитами. Отримана суспензія проходить через отвір із сіткою і перекачується в млин, до якого безперервно надходить крейдяний шлам або роздрібнений вапняк.

Трубчатий млин – це сталевий барабан довжиною до 15 м і діаметром до 3 м, розділений перегородками з отворами на 2 – 4 камери, який обертається навколо своєї осі. Матеріал у млині роздрібнюється сталевими кулями. Тонко роздрібнена сировина вологістю 35 – 40% витікає з млина і за допомогою насосів транспортується в шлаковий басейн, де накопичується запас і коректується склад шламу перед відпалом.

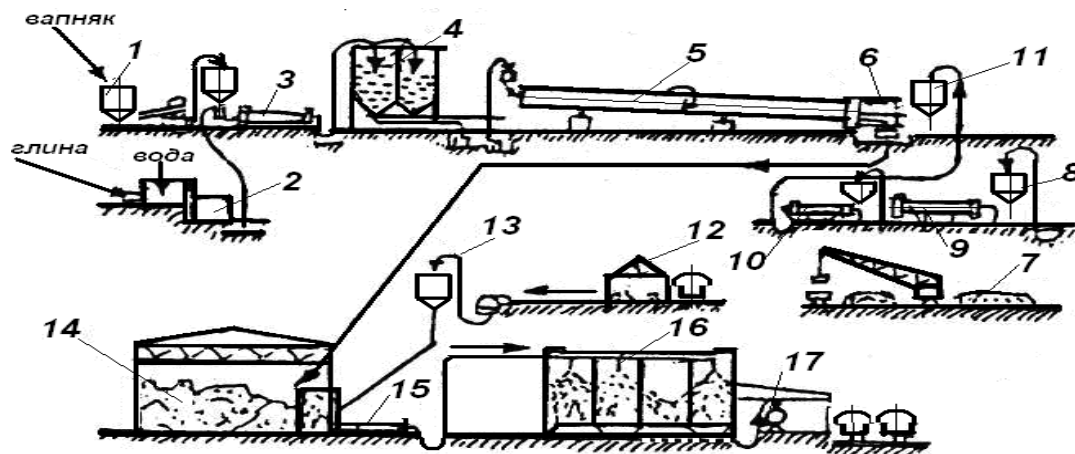


Рис. 7.176. Схема виробництва портландцементу вологим способом

Умовні позначення: 1 – дробарка; 2 – басейн для перемішування глини; 3 – млин для помелу сировини; 4 – шлам-басейн; 5 – піч; 6 – холодильник; 7 – склад вугілля; 8 – елеватор для подачі вугілля з дробарки в бункер; 9 – сушильний барабан для вугілля; 10 – млин для вугілля; 11 – насос для подачі вугільної пилу; 12 – склад гіпсу; 13 – елеватор для подачі гіпсу з дробарки в бункер; 14 – склад клінкера; 15 – шаровий млин; 16 – силоси для цементу; 17 – упакування цементу

Відпал виконують у спеціальних обертових барабаних печах діаметром 4 – 7 м і довжиною 150 – 300 м. Барабан має уклін 4 і обертається зі швидкістю 1 об./хв.

У нижній частині печі знаходиться факел горіння палива.

Суміш повільно переміщується вздовж барабана, спочатку підсушується, потім з неї вигорають органічні речовини, проходить дегідратація глини, а при температурі 700°C починає розкладатися вуглекислий кальцій. Процес закінчується при температурі 1 000 – 1 100°C, після чого вільне вапно CaO вступає в реакцію в оксидами глини (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3). При температурі 1 450°C утворюються клінкерні мінерали: трикальцієвий силікат $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (45 – 65%), двокальцієвий силікат $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (20 – 35%), трикальцієвий алюмінат $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, чотирикальцієвий алюмоферит $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ (10 – 18%). З підвищенням температури до 1 450 – 1 470°C починається процес спікання матеріалів і утворення клінкера у вигляді гранул розміром 10 – 15 мм. Цементний клінкер охолоджується в холодильниках, потім транспортується на склад для остаточного охолодження і вилежування перед помелом. Під час вилежування вільне вапно гаситься вологою повітря і клінкер стає більш пухкий, що полегшує його помелення. Роздрібнення клінкеру з домішками здійснюють у багатокамерних кульових млинах. Готовий цемент транспортують у силос для охолодження.

Сухий спосіб отримання цементу відрізняється тим, що сирі матеріали після попереднього помелу роздрібнюються в кульових млинах без операції отримання шламів. Якщо сировина дуже волога, її підсушують. Готові порошки перемішують і подають у піч для обпалення. Сухий спосіб більш економічний, бо не потребує палива на випаровування води під час використання шламів.

Портландцемент виробляють чотирьох марок: 300, 400, 500, 600, що відповідає міцності 30 – 60 МПа. Тонкість роздрібнення повинна бути не меншою, ніж 85% від ваги проби.

Різновиди портландцементу. Випускають пластифікований, гідрофобний, сульфатостійкий, швидкотверднучий, білий, кольоровий, тампонажний та інший цемент.

Пластифікований і гідрофобний портландцементи відрізняються від звичайних введенням незначних кількостей (0,1 – 0,3%) спеціальних домішок (сульфітно-спиртової барди, асидолу, мило фант та ін.). Домішки допомагають розчинам краще заповнювати форми і підвищують морозостійкість. Марки пластифікованого портландцементу 300 – 500, а гідрофобного – 300 – 400.

Використовують такий цемент для споруд, які працюють в умовах частих заморозків і вологості.

Сульфатостійкий портландцемент володіє підвищеною сульфатостійкістю. Цього досягають завдяки точному дотриманню вмісту трикальцієвого силікату (не більше 50%), а також не більше 5% трикальцієвого алюмофериту. Ніяких додатків в шихту не дають. Випускають таким чином цемент тільки однієї марки – 400. Використовують його для споруд, які працюють в умовах сульфатної агресії з перманентним заморожуванням, зволоженням і відтаванням.

Шлакопортландцемент і пуцолановий портландцемент отримують шляхом додавання в продукти помелу 30 – 60% доменних шлаків (шлакопортландцемент) або 25 – 40% порід вулканічного чи осадового походження. Такий цемент має високу корозійну стійкість, у тому числі в морських і сульфатних водах. Марки шлакопортландцементу 200 – 500, пуцоланового – 200 – 400. Використовують для виробництва збірних залізобетонних конструкцій, які підлягають дії звичайних і мінеральних вод.

Швидкотверднучий портландцемент характеризується інтенсивним нарощуванням міцності в початковому періоді твердіння. Таких властивостей досягають завдяки більш тонкому помелу і регулюванню

хімічного й мінералогічного складу сировини. Марки цементу не нижче 400 використовують для виготовлення збірних залізобетонних конструкцій, які потребують скороченого циклу виготовлення.

Білий і кольоровий портландцементи виготовляють із портландцементу з незначною кількістю заліза і додаванням білого доломіту і гіпсу. Кольоровий портландцемент може бути жовтим, трояндовим або чорним залежно від домішок. Використовують такий цемент для виконання оздоблювальних і штукатурних робіт.

Тампонажний портландцемент виготовляють для заповнення простору між трубою і ґрунтом. Цементне тісто має високу пластичність і відносно невеликий час твердіння. Для гарячих шпар виготовляють цемент, початок твердіння якого 1 год 45 хв, і кінець – не пізніше 4 год 30 хв.

Глиноземистий цемент. Такий цемент виготовляють із клінкера, до складу якого входять, головним чином, однокальцієві алюмінати $\text{CaO Al}_2\text{O}_3$, п'ятикальцієві триалюмінати $5\text{CaO } 3\text{Al}_2\text{O}_3$ і трикальцієві дваалюмінати $3\text{CaO } 2\text{Al}_2\text{O}_3$. Сировиною для отримання глиноземистого цементу є вапняк і боксит. Виготовляють цемент двома способами: спіканням, як і портландцементи, і розплавленням. Більш поширений другий спосіб, за яким клінкерний матеріал є відходом доменного, вагранкового і електричного пічного виробництв, шлаки яких гранулюють і відправляють на цементні заводи. Глиноземистий цемент швидко твердне. Випускають його різними марками 400, 500 і 600. Міцність 40 – 60 МПа вони досягають через три доби.

Використовують його для отримання жаростійких розчинів і бетонів. Бетони дуже міцні і володіють значною стійкістю проти сульфатних і мінералізованих вод. Дуже зручний він в аварійних роботах, бетонуванні взимку, тампонуванні нафтових і газових свердловин. Головним недоліком глиноземистого цементу є обов'язкове дотримання температури твердіння не більше 30°C .

Гіпсоглиноземистий цемент отримують шляхом додавання до клінкерного матеріалу до 30% природного гіпсу $\text{Ca}_3\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Швидкість схоплювання і тверднення дуже висока. Початок схоплювання – через 20 хв, а кінець – не пізніше 4 год. Виготовляють дві його марки: 400 і 500. Гіпсоглиноземистий цемент розширюється при твердінні у воді. На повітрі при достатній вологості цемент не змінюється. Його використовують для ліквідації швів, стиків, тріщин у бетонних і залізобетонних конструкціях, для гідроізоляційних штукатурок. Цемент не можна використовувати для конструкцій, які працюють при температурі вище 80°C .

Питома вага сировини і матеріалів у собівартості цементу становить майже 25%. Видобуток, транспортування і підготовка сировини залучають більше 1/3 всіх працівників підприємства. Витрати на паливо досягають 230 – 340 кг/т. Майже 40% електроенергії від загальної потреби йде на роздрібнення цементу.

Гіпсові в'язучі матеріали. Виробництво будівельного гіпсу складається з роздрібнення, помелу і теплової переробки (дегідратації) гіпсового каменя. Найбільш поширена схема виробництва будівельного гіпсу з використанням варильних котлів періодичної дії.

Гіпсовий камінь, привезений на підприємство у великих шматках, спочатку роздрібнюють, потім розмелюють у млинах з одногодинним підсушуванням, після чого подають у варильний котел, де порошок варять 90 – 120 хв. Будівельний гіпс становить повітряну в'язучу речовину, яка складається, головним чином, з напівводного гіпсу. Міцність будівельного гіпсу в 5 – 10 разів менша, ніж у цементу і складає 5,5; 7,5 і 3,5 МПа.

Схоплювання гіпсу настає не раніше ніж через 4 хв, а кінець – через 30 хв. Водостійкість і морозостійкість гіпсу дуже низька. Термічна стійкість будівельного гіпсу також низька, уже при 65°C починаються процеси дегідратації.

Використовують гіпс у процесі виготовлення гіпсових і гіпсобетонних будівельних виробів для внутрішніх частин приміщень (перегородних плит, панелей, сухої штукатурки, декоративних і оздоблювальних матеріалів, наприклад, штучного мармуру).

Собівартість гіпсу майже така, як і цементу, але капітальні витрати в 2 – 3 рази менші. Питома вага витрат на сировину і побічні матеріали в собівартості гіпсу складають 33 – 54%; на заробітну плату – до 24 – 37%, що значно вище, ніж в інших виробництвах будівельних матеріалів.

Будівельне вапно. Вапно – це в'язучий матеріал, який отримують помірним відпалом кальцієво-магнієвих гірських порід – вапняку, крейди, доломітових і мергелястих вапняків, доломіту та ін. У процесі відпалу відбувається дисоціація вуглекислого кальцію і магнію на оксид кальцію і магнію і вуглекислий газ. Домішки кремнію, алюмінію і заліза взаємодіють з оксидами кальцію і магнію з утворенням силікатів і алюмінатів кальцію і магнію, як це має місце в цементному клінкері. Температура відпалу залежить від міцності і виду сировини, а також кількості домішок і досягає 800 – 1 200°C.

Технологічний процес отримання будівельного вапна складається з видобутку сировини в кар'єрах, її підготовки (роздрібнення і сортування) і обпалу. Після обпалу виконують помел і гасіння комового вапна. Відпал виконують у шахтних печах, які працюють на антрациті або бідному кам'яному вугіллі. У піч засипають шматки сировини розміром 5 – 10 см, які розміщують пошарово з паливом. Знизу подають повітря. По висоті піч поділяють на три зони. У першій зоні зверху (зоні підігріву) сировина і паливо підігріваються газами, які утворюються в середній зоні при горінні палива (зоні обпалення). Температура в середній зоні 800 – 1 200°C, що сприяє дисоціації карбонатів. Обпалена сировина опускається в нижню частину печі (зону охолодження), звідки колове вапно видається на поверхню. Робоча висота шахти печі – 20 м, діаметр – 4 м, продуктивність – 100 – 200 т на добу. Вапно поділяють на повітряне й гідратне.

Повітряне вапно поділяється залежно від хімічного складу на кальцієве (до 5% MgO), магнезіальне (до 20% MgO) і доломітове (до 40% MgO). Виробляють вапно у вигляді напівпродукту (комового вапна) і роздрібнене (молоте й гідратне – пушинку).

Молоте вапно отримують при тонкому роздрібнюванні комового вапняку в млинах. У цей період дають добавки, якщо це потрібно.

Гідратне вапно (пушинку) виробляють шляхом гасіння в спеціальних машинах – гідраторах барабанного типу. Це ряд металевих продовговатих циліндрів, усередині яких розміщені шнеки. Вони перемішують продукт з водою і перемішують його. Води дають 70 – 100% від ваги негашеного вапна. Внаслідок гасіння отримують вапно у вигляді тонкодисперсного порошку.

Вапно випускають трьох сортів. Наприклад, у негашеному кальцієвому вапні першого сорту без домішок не менше 90% активних CaO+MgO, а у вапні другого і третього сортів – 80 і 70%.

В інших видах вапна (магнезійному, доломітовому, гідратному) вміст цих оксидів менший.

За швидкістю гасіння відрізняють вапно, яке швидко гаситься – за 8 хв, середнього гасіння – за 25 хв і повільного гасіння – більш ніж за 25 хв.

Повітряне вапно використовують для виготовлення будівельних розчинів і бетонів, виробництва силікатної цегли, силікатних і піносилікатних виробів, блоків, а також вапняно-шлакового цементу.

Гідравлічне вапно поділяють на слабогідравлічне і сильногідравлічне. Вміст активних оксидів кальцію і магнію в слабогідравлічному – 1 – 15%. Межа міцності на стиснення 2 МПа для слабогідравлічного вапна і 5 МПа – для сильногідравлічного.

Використовують гідравлічне вапно для виготовлення таких же виробів, як і з повітряного, а також як замітник цементу.

Транспортують вапно тільки в умовах, які захищають його від зволоження. Негашене вапно в паперових мішках може бути придатним тільки 15 діб. У герметичній тарі вапно може зберігатися більше.

Бетон і залізобетон. Бетон – це штучний камінь, а залізобетон – камінь у сполученні з металевою арматурою.

За об'ємною масою бетони поділяють на особливо важкі (більше 2 500 кг/м³), важкі (1 800 – 2 500 кг/м³), легкі (500 – 1 800 кг/м³), особливо легкі теплоізоляційні (до 500 кг/м³).

За видами в'язучих речовин бетони розподіляють на цементні, вапняні, гіпсові, асфальтобетонні і полімерцементні. Залежно від наповнювача їх поділяють на мілкозернисті з частинками заповнювача до 10 мм і великозернисті – від 10 до 15 мм.

За призначенням бетони поділяють на наступні види: звичайний бетон, який використовують для бетонних і залізобетонних конструкцій будівель і споруд (фундаментні блоки, колони, балки, плити та ін.); гідротехнічний – для гребель, шлюзів, оздоблення каналів, бетон для стін споруд, легких перегородок, дорожній – для дорожніх і аеродромних покриттів спеціального призначення (кислотостійкий, теплостійкий, декоративний, для біологічного захисту та ін.).

Матеріали для виготовлення бетонів – це цемент, вапно і гіпс. Заповнювачі для бетонів – дрібний пісок з розміром зерен 0,14 – 5 мм і великий – гравій, щебінь з розміром зерен 5 – 70 мм.

Для важких бетонів використовують щебінь із природного каменю, гравій, природний пісок і пісок з гірничих порід, а також щебінь із доменних шлаків.

Для легких бетонів використовують природні та штучні пористі заповнювачі, а також відходи виробництва. Природні – це пісок і щебінь з пемзи, вулканічного шлаку, пористого вапняку та ін. Штучні пористі заповнювачі – керамзитовий гравій, пісок, щебінь і пісок аглопориту, гранульований доменний шлак. Залежно від розміру зерен гравій і щебінь поділяють на наступні фракції: 5 – 10, 10 – 20, 20 – 40, і 40 – 70 мм.

Кількість глини, мулу і пилу в заповнювачах не повинна бути більшою за 3%. Міцність зерен заповнювачів важких бетонів в 1,5 – 2 рази вища від марки бетону. У воді повинно бути не більше 5 г солей на 1 л води і сульфатів – не більше 1%. До складу легких бетонів входять піноутворювачі (клей-каніфоль і смоло-соломіт) і утворювачі газу (алюмінієва пудра).

Бетони виготовляють наступних марок: важкі – на міцних заповнювачах – 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600, легкі – на пористих заповнювачах – 25, 35, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300, чарункові – 25, 35, 50, 75, 100, 150, 200.

У цивільному і промисловому виробництві використовують бетони марок 200, 250 і 300. У транспортному будівництві для опор мостів використовують бетони марок 200 і 300, для прольотів – марок 300 – 600. Для залізобетонних шпал беруть бетон марки 500, а для залізобетонних тубінгів – марки 600.

На міцність бетону впливають зерновий склад заповнювачів, ступінь ущільнювання бетонної суміші, тривалість і умови тверднення бетону. На швидкість зростання міцності бетону впливає температура навколишнього середовища. При температурі 70 – 80°C у середовищі насиченої пари бетон через 10 – 12 г набирає 60 – 70% міцності. При температурі нижче нуля бетон не твердне.

Залежно від призначення збірні залізобетонні вироби поділяють на чотири групи: для житлових і громадських споруд, для промислових та інженерних споруд, для сільськогосподарського будівництва.

Технологія виготовлення бетонів. Бетонні суміші виготовляють у бетонозмішувальних цехах заводів. Процес складається із дозування компонентів в дозаторах і їх перемішування в змішувачах.

Час змішування суміші залежить від складу суміші і типу бетономішалки: при місткості барабану до 450 л – 1 хв, при місткості 1 200 л – 2 хв, при місткості 2 400 л – 2,5 хв. Суміші легких бетонів потребують змішування 3 – 4 хв. Готову бетонну суміш подають на формування бетонних і залізобетонних виробів. Для бетонних виробів заздалегідь виготовляють опалубку (форму), яку заповнюють сумішшю. Залізобетонні вироби потребують виготовлення арматури з залізних прутків діаметром більш, ніж 12 мм. Формування виробів складається з наступних операцій: підготовка форм, встановлення арматури, укладання і ущільнення суміші. В умовах масових виробництв на заводах

використовують форми. Для прискорення ущільнювання використовують вібратори з частотою коливань 3 000, 6 000, 7 000 за хвилину. При температурі 15 – 20°C і вологості 90 – 100% бетон набирає міцності за 28 діб. За 7 – 10 діб міцність бетону стає 60 – 70%. За 3 місяці міцність бетону зростає на 25%, а за два роки – підвищується у два рази. На сучасних підприємствах використовують пропарювання бетонів у камерах, де за 12 – 16 годин при температурі 80 – 95°C він набирає міцності на 65 – 70%. У такому стані вироби видають на будівельний майданчик, де вони набирають остаточної міцності в конструкціях споруд.

Ще більшого ефекту досягають при запарюванні виробів насиченим паром в автоклавах підвищеного тиску. Автоклав – це циліндр діаметром 2 – 4 м, довжиною 21 м, із знімними кришками на торцах, через які подають в автоклав вироби. В автоклаві піднімають тиск до 0,8 – 1,2 МПа, температуру – до 170 – 180°C і за 8 – 10 годин міцність бетону стає вищою від теоретичної.

В автоклавах обробляють вироби, які складаються з вапняно-в'язучої речовини. На 1 м³ залізобетону потрібно: щебню – 1,6 т, піску – 0,75 т, цементу – 0,35 т, арматури – 0,040 т, умовного палива – 0,050 кг, електроенергії – 30 кВт/год.

Загальні особливості організації будівництва. Будівельне виробництво включає спорудження, ремонт, відновлення, розробку і переміщення споруд, а також монтаж технологічного, енергетичного, санітарно-технічного й іншого обладнання. Продукція будівельної промисловості – повністю закінчені будівлі і споруди.

Будівництво будь-якої споруди виконується за проектами. Проектування будівель, споруд виконують в одну або дві стадії. У разі двостадійного проектування спочатку роблять технічний проект, а потім – робоче креслення. Прості й типові об'єкти проектують в одну стадію з розробкою техно-робочого проекту. Одночасно складається кошторис для визначення вартості будівництва.

Проектна організація виконує проект на основі завдання, яке видає замовник. У завданні відображено техніко-економічне обґрунтування доцільності будівництва об'єкта. Проектування виконують на основі норм проектування і державних стандартів на будівельні матеріали та вироби.

Норми будівельного проектування вміщують вимоги до конструктивних і об'ємно-планувальних рішень будівель і споруд, а також сфери використання і параметрів будівельних виробів і

конструкцій. До них відносять норми проектування бетонних і залізобетонних, а також металевих і кам'яних конструкцій, санітарно-технічного обладнання приміщень та ін.

Норми технічного проектування встановлюють потребу в обладнанні та інструментах на виготовлення виробів, кількості сировини, продуктивності обладнання, кількості обслуговчого персоналу.

Використання стандартів обмежує кількість типорозмірів виробів, типізацію конструктивних елементів будівель і споруд, сприяє індустріалізації будівництва. Перед початком виконання робіт на об'єкті розробляють проекти організації будівництва і виконання робіт, в які входять календарні плани виконання будівельних і монтажних робіт, зведений календарний план за пусковими комплексами об'єктів, графіки постачання на будівництво матеріалів і обладнання, робота головних будівельних, дорожніх і монтажних машин та інше. Проекти виконання робіт – це головний керівний документ для організації і виконання робіт за зведення об'єктів, а також для їх оперативного планування, контролю й обліку.

Після оформлення всієї технічної документації дозволяють починати будівництво.

До складу підготовчого періоду входять: освоєння будівельного майданчика, геодезичні роботи, водовідведення з території, впровадження підземних електричних мереж, доріг, тимчасових мереж електропостачання, водопостачання і зв'язку, будівництво складських, господарських та інших приміщень, тимчасових огорожувань території, монтаж механізованого устаткування і підкранових колій.

Наявні підземні споруди, трубопроводи й комунікації захищають від пошкоджень. Після підготовки будівельного майданчика його розбивають на ділянки забудови контурів майбутніх споруд. Будують дороги, передбачені проектом. На будівельний майданчик завозять тисячі тонн вантажів. На деяких будівництвах вантажні й розвантажувальні роботи займають 40 – 50% загальної трудомісткості будівельних робіт. У сучасному будівництві частіше використовують автомобільний транспорт, трактори, екскаватори, а також автовантажувачі, автокрани, козлові й мостові крани. Для транспортування піску і штучних сипучих матеріалів використовують стрічкові конвеєри, електротельфери вантажопідйомністю до 10 т і висотою підйому до 35 м.

Класифікація будівельних споруд. Будівля – це споруда, приміщення якої необхідне для діяльності і проживання людини. Споруди, в яких не має приміщень (міст, гребля тощо), називають інженерними спорудами.

Будівлі і споруди класифікують за: призначенням, геометричними особливостями, вогнестійкістю, довговічністю, поверховістю і видом використаного матеріалу.

За призначенням будівлі і споруди поділяють на наступні види: громадські (житлові будинки, клуби, торговельні центри, лікарні), промислові, які об'єднують виробничі й допоміжні будівлі, промислові підприємства, сільськогосподарські будівлі та споруди.

За геометричними особливостями розрізняють споруди об'ємні (будівлі всіх видів і призначень), площинні (спортивні площадки, поля фільтрації), лінійні (дороги, лінії електромереж, зовнішні трубопроводи).

За вогнестійкістю будівлі та споруди поділяють на п'ять груп. За ступенем займання будівельні конструкції поділяють на незаймисті (цегла і бетон), слабкозаймисті (дерев'яні стіни, просочені антипіренами), займисті (дерев'яні перекриття).

Довговічність будівель поділяють на три категорії: час служіння більше 100 років, від 50 до 100 років і більше 20 років. Будівлі з часом служіння менше 20 років вважають тимчасовими.

За якісними показниками будівлі поділяють на чотири класи. До першого класу відносять будівлі і споруди, до яких висувають підвищені вимоги, а до четвертого – задовільні мінімальні вимоги.

За кількістю поверхів громадські будівлі поділяють на одноповерхові, малоповерхові (2 – 3 поверхи), багатоповерхові (до 10) і висотні (більше 10 поверхів), промислові будівлі – на одноповерхові і багатоповерхові.

За видом матеріалів зовнішніх стін розрізняють будівлі кам'яні, дерев'яні та змішані.

Елементи будівель. Конструктивні елементи будівель поділяють на носійні й огорожувальні. Носійні приймають навантаження і передають його на фундамент, огорожувальні захищають приміщення будівель від атмосферних впливів і забезпечують у них температурний вологий режим і звукоізоляцію.

До головних елементів конструкцій будівель належать: фундаменти, стіни, перекриття, окремі опори, дах, вікна, двері, драбини.

Фундаменти бувають стрічковими – у вигляді безперервних стін, стовбчасті – у вигляді окремих стовпів, суцільними – під усією площею будівлі, у вигляді окремих свай, пов'язаних між собою. За видом матеріалів фундаменти поділяють на дерев'яні, кам'яні, бетонні, залізобетонні і змішані. Найбільш поширені бетонні і залізобетонні фундаменти перетином 25x25 і 30x30 см, довжиною 6 м.

Стіни – вертикальні конструкції, що огорожують, розміщені над фундаментом. Зовнішні стіни захищають приміщення від дії навколишнього середовища. Стіни, які відокремлюють одне приміщення від іншого, називають внутрішніми. Зовнішні стіни облицьовують або штукатурять.

У промислових будівлях стіни бувають носійними, самоносійними і навісними. Їх роблять із цегли, великих і малих бетонних блоків і з великих панелей. Для неопалювальних приміщень використовують азбоцементні хвилясті листи розміром 1 000x2 300 мм.

Витрати на конструкції зовнішніх і внутрішніх стін і перегородок у загальній вартості будівельних робіт займають 20 – 40%.

Перекрыття – це горизонтальні конструкції, які розділяють будівлю на поверхи, є носійними елементами і приймають навантаження від обладнання і предметів, розміщених у приміщеннях. Перекрыття бувають міжповерховими, горищними і надпідвальними. Міжповерхові перекрыття складаються з носійної частини – балок або панелей, підлоги, стелі й заповнювача.

Існують дерев'яні, залізобетонні перекрыття і металеві балки. Частіше використовують залізобетонні монолітні і збірні перекрыття. У цивільному будівництві поширені перекрыття – настили із залізобетонних плит, панелей з круговими або овальними порожнинами. Настили шириною 0,9 м і більше називають панелями. Чисту підлогу в таких конструкціях настиляють по цементу, асфальту, лагах або армованих бетонних плитах, які кладуть на звукоізоляційні підкладки. Великопанельні перекрыття виготовляють під фарбування і укладання чистої підлоги.

Підлогу роблять суцільною і з рулонних або штучних матеріалів. До суцільних підлог відносять: цементні, асфальтні, мозаїчні (для вологих приміщень, підвалів, складів з цементним або бетонним настилем). Такі підлоги вологостійкі, довголітні, але холодні. Ксилітові теплі підлоги на основі магнезіальної в'язучої речовини, дерев'яних палок і розчину

хлористого магнію роблять у сухих приміщеннях. Підлоги із штучних матеріалів поділяють на дерев'яні, паркетні, кам'яні й керамічні. Підлоги із синтетичних матеріалів виготовляють з лінолеуму, синтетичних ковдр і плиток, виготовлених на основі полімерів.

Опори – це окремо виконані стовпи або колони, на які спираються головні несучі елементи покриття, перегородок і стін. Вони перекладають навантаження носійних конструкцій на фундамент.

Розрізняють дві конструктивні схеми будівель: з носійними стінами і каркасні.

У носійних будівлях усі власні навантаження перегородок і даху стіни покладаються на фундамент.

Цегляні будівлі становлять систему вертикальних колон, пов'язаних між собою горизонтальними прогонами. У таких конструкціях всі навантаження від будівлі приймають опори і передають фундаменту. Будівлі із 7 – 12 поверхів проектуються частіше, ніж каркасні.

Дах – це конструкція, що огорожує будівлю, захищає її від атмосферних опадів, сонця і вітру. Носійна частина даху сприймає навантаження власної ваги і вітру і передає його на стіни або каркас. Огороджуючи частину даху, вона захищає будівлю від проникнення атмосферних опадів і зберігає тепло. Дахи роблять безповерховими, скатними і плоскими. Розрізняють дахи односкатні, двоскатні, чотирискатні, шатрові.

Носійні конструкції скатних дахів роблять з дерева, сталі, залізобетону у вигляді похилих або висячих крокв, кроквяних форм і великих панелей. Більш індустріальні дахи виконують із великих залізобетонних похилих панелей, плоских, ребристих і хвилястих. Кращими вважають залізобетонні дахи.

Перегородки – це легкі тонкі стіни, які поділяють внутрішній простір поверхонь будівель на окремі приміщення. Перегородки роблять гіпсові, гіпсово-шлакові з легких бетонів, цегляні, дерев'яні і дерев'яні волокнисті, зі склоблоків і склопрофіліту. Кращими вважають склопрофілітові перегородки.

Сходи необхідні для сполучення між поверхами. Сходи складаються з маршів і площадок. До складу маршів входять сходинок, конструкції, що їх підтримують і огороження. Сходи бувають міжповерховими, горищними, підвальними й цокольними. Виготовляють їх із залізобетону, сталі й дерева. Найбільш поширені – залізобетонні.

Вікна забезпечують освітлення приміщень і їх провітрювання. До складу вікна входять: коробка, оправа і підвіконна дошка. Віконна коробка, в яку монтують оправа, робиться дерев'яною або залізобетонною. Оправи можуть бути дерев'яними, металевими, залізобетонними, підвіконні дошки – дерев'яними, гіпсобетонними, залізобетонними і кам'яними. Залежно від кліматичних умов вікна роблять з потрійним, подвійним і одинарним склінням. Віконні блоки монтують одночасно з викладанням стін.

Двері необхідні для сполучення між приміщеннями і зовнішнім простором. Вони складаються з коробки і однієї чи двох рухомих стулок. Двері бувають зовнішніми, внутрішніми й шафовими. Виробляють двері фільончасті та щитові.

Будівельні роботи. Земляні роботи виконуються в процесі будівництва всіх будівель і споруд. Питома вага їх у будівництві – 15%. У процесі земляних робіт ґрунт копають, ріжуть, перемішують, розмивають і ущільнюють. Для виконання земляних робіт використовують: одноківшові і багатоківшові екскаватори, бульдозери, скрепери, грейдери, грейдер-елеватори, свердлильно-кранові машини, катки, гідромонітори і землесоси. Крім того, використовують транспортні засоби: автомобілі-самоскиди, трактори з причепами, водний і залізничний транспорт.

Вибір комплексу машин здійснюють з урахуванням механічних характеристик ґрунту, обсягів і видів робіт. Кам'яні роботи пов'язані з процесом спорудження конструкцій, будівель і споруд (фундамент, стіни, стовпи, перетини) із природних і штучних кам'яних матеріалів. Каміні укладають рядами вручну на розчинах, які в процесі тверднення пов'язують їх у міцний моноліт.

Розрізняють наступні види кладки: цегляну із глиняної і силікатної цегли, бутову – із природного каменя, із дрібних і великих блоків штучного каменя. Цегляна кладка є однією із головних в цивільному і промисловому будівництвах. Найбільш поширені ланцюгова і багаторядкова кладки. Будівлі та споруди, виконані за ланцюговою системою характеризуються високою міцністю і довголіттям, хоча вони більш трудомісткі й дорогі.

Цегляну кладку виконують методами поверх-захоплювальним, ярусно-захоплювальним і поточно-кільцевим. Поверх-захоплювальний метод полягає в тому, що вся будівля поділяється на окремі, однакові за трудомісткістю захватки і ділянки. Мурування стін виконують у межах

захватки на всю висоту поверху. Перші 16 – 18 рядків кладки кожного поверху виконують з міжповерхових плит, що перекривають, наступні – з інвентарних великопанельних підмостків, які в процесі кладки переставляють за допомогою кранів або нарощують по висоті. Мурування ярусно-захоплювальним методом передбачає поділ кожного поверху будівлі на яруси, висота ряду (ярус) в середньому 1,2 м. Мурування стін у кожній захватці виконують по висоті ярусу, після чого каменярі переходять на другу захватку, а на першій установлюють підмостки і заготовляють стінові матеріали. Поточно-кільцевий метод полягає в тому, що мурування виконують ланками, які переміщуються по периметру будівлі. Після закінчення мурування одного ряду переходять до іншого. Мурування ведуть ланками-шестірками по шестирядній перев'язці і підрозділяють на 3 операції: мурування зовнішньої версти, внутрішньої версти і забутки. Кожну операцію виконують двоє робітників. Мурування виконують на розчині з дотриманням правил перев'язки швів між окремими каменями.

Бетонні й залізобетонні роботи за способом виконання поділяють на монолітні, виготовлені на майданчику і збірні, виготовлені на спеціальних підприємствах і змонтовані на об'єкті. Технологічний процес виготовлення монолітних і залізобетонних конструкцій складається зі встановлення опалубки і арматури, приготування, транспортування й укладання бетонної суміші з наступним доглядом за бетоном і розпалубленням конструкцій. Опалубка потрібна для надання конструкції заданої форми. Її роблять із дерева, металу, пластмаси і залізобетону. Вартість робіт опалубки становить 25 – 30% загальної вартості бетонної конструкції.

Існують наступні типи опалубки: розбірні – переставні, слизькі або переміщувані, розбірні – переміщувані та стаціонарні. Розбірні-переставні опалубки збирають з окремих щитів, коробок і використовують для зведення стін, перегородок, балок, колон. Переміщувані опалубки складаються з двох металевих, дощатих або фанерних стінок, які піднімають вгору у міру бетонування споруди. Такі опалубки використовують для 14 – 19-поверхових споруд з монолітного залізобетону. Розбірні – переміщувані – опалубки складаються з окремих щитів, які спираються на рами. Опалубка переміщується за допомогою возиків, домкратів. Її використовують під час бетонування тунелів і колекторів великої довжини. Стаціонарну опалубку роблять на

будівельному майданчику з окремих дощок або брусків і використовують у процесі бетонування окремих споруд складної конфігурації. Залізобетонні плити використовують як опалубку під час будівництва греблі, за умов якщо вони залишаються облицюванням греблі.

У процесі бетонування укладання бетонної суміші з опалубки виконують автомобільними кранами або автосамоскидами. Суміш подається краном в цебрах або вібраційних ковшах. Узимку суміш бетону перед замерзанням повинна мати міцність, не менш ніж 50%, для чого забетоновані конструкції утеплюють і підігрівають. Улітку для забезпечення нормального затвердіння бетону його поливають водою протягом 3 – 14 діб через кожні 3 години вдень і один раз уночі. Зведення на бетоні нової опалубки і охолодження дозволяється тільки після досягнення бетоном міцності, не меншої від 1,5 МПа. Дефекти в бетонах розчищають пневматичним зубилом, промивають водою і замазують таким самим бетоном. Для ліквідації дефектів на поверхні бетонів їх покривають тонким шаром цементного розчину (торкретують) за допомогою цемент-гармати.

Монтажні роботи на будівельному майданчику передбачають встановлення в необхідне положення готових будівельних деталей і конструкцій: фундаментних блоків, великих панелей і блоків стін, підкранових блоків, колон, плит, панелей, перетинів та ін. Монтаж конструкцій складається з підготовчих і остаточних робіт. До складу підготовчих робіт входять: обладнання майданчиків для прийняття і укладення збірних елементів, обладнання стелажів для більш складного монтажу конструкцій, підготовка підмостків, такелажного обладнання, захоплювальних пристосувань, підготовка фундаментів і опор до монтажу. До такелажного обладнання відносять: канати, стропи, траверси, блоки, поліспасти, талі, домкрати і лебідки. Монтаж збірних конструкцій виконують поточними методами з використанням комплексної механізації транспортних навантажувально-розвантажувальних і монтажних робіт, раціональних монтажних пристосувань і механізмів. Залізобетонні конструкції монтуються безпосередньо з транспортних засобів, що сприяє скороченню витрат на виконання допоміжних робіт із навантаження і розвантаження виробів і площі складів.

Головними роботами під час монтажу є: строповий, вертикальний від ґрунту підйом, переміщення і встановлення конструкцій у проектне положення. Стропування – це встановлення і закріплення

захоплювальних пристосувань на збірних елементах для їх підйому і встановлення. Стропами можуть бути металеві троси з крюками і петлями, закріпленими на траверсі монтажного крана. Захоплення конструкцій виконують за петлі з арматури. Встановлення збірних конструкцій виконується з використанням тимчасових закріплень і залишкових після уточнення правильності складання устаткування. Потім конструкція остаточно закріплюється зварюванням, бетонуванням і заповненням швів цементним розчином. Вертикальні шви між конструкціями заповнюють розчином за допомогою пневматичних нагнітачів.

Монтаж великоблочних і великопанельних будівель виконують у певній послідовності. Спочатку здійснюється встановлення блоків і панелей зовнішніх та внутрішніх стін і паралельно зі стінами монтується сходові площадки і марші. Потім роблять перегородки і укладають міжповерхові плити. Одночасно з монтажем перегородок виконують устаткування санітарно-технічного й електротехнічного обладнання. Багатоповерхові будинки монтують 2 – 5-тонними кранами зі стропом 20 – 30 м. Одноповерхові будинки монтують автомобільними кранами.

7.9. Екологічні аспекти технологій

Сьогодні впровадження технологічних систем у виробництво й вихід на ринок виготовленого товару можливі, насамперед, якщо вони відповідають екологічним вимогам. Екологія (від грецького *oikos* – житло, місцеперебування і ... логія – наука) – біологічна наука, що поряд з біологічними проблемами в сучасних умовах інтенсивно вивчає також проблеми взаємодії людини й біосфери. Історія екології сягає коріннями праць натурфілософів Давньої Греції та Риму.

На формування екології як самостійної науки вирішальний вплив зробило “Походження видів...” Ч. Дарвіна (1859 р.), у якому підкреслена важливість вивчення механізмів боротьби за існування, внутрішньовидових і міжвидових взаємин. Під безпосереднім впливом ідей Дарвіна німецький біолог Е. Геккель дійшов висновку про необхідність виділення екології в особливу біологічну дисципліну, важливим етапом розвитку якої, є визнання необхідності цілісного вивчення природних сукупностей рослин і тварин. Цьому сприяло впровадження спеціальних термінів для характеристики таких сукупностей, зокрема термінів: “біоценоз”, “біосфера”, “ноосфера” та ін.

Ідеї В. І. Вернадського, першого президента Української академії наук, вплинули на світове екологічне мислення і стали особливо актуальними у зв'язку з посиленням загрози глобальних порушень у біосфері, викликаних бурхливим промисловим розвитком. Тому екологія повинна стати науковою базою для будь-яких заходів щодо використання й охорони природних ресурсів, збереження середовища в сприятливому для перебування людини стані. Пізнання основних принципів трансформації речовини й енергії в природних екосистемах створює теоретичну основу для розробки практичних заходів щодо господарської діяльності суспільства. Звертається увага на прямий і побічний вплив виробничої діяльності на склад і властивості атмосфери, тепловий режим планети, фон радіоактивності, забруднення Світового океану (до кінця ХХ століття його забруднення досягло 20%). З'явилася проблема, пов'язана зі зменшенням запасів прісної води. У результаті порушення біологічного й гідрохімічного режиму вмісту внутрішніх водойм виникає масовий розвиток планктонних синьо-зелених водоростей ("цвітіння води" Херсонського й інших водоймищ Дніпровського району) погіршується якість води.

Відбувається постійне зменшення невідновлюваних сировинних і енергетичних ресурсів, виділення в біосферу неперероблюваних біохімічних і токсичних відходів, екологічний вплив антропогенних, особливо урбанізованих, ландшафтів. Соціальні аспекти екології стали предметом спеціальних наукових досліджень у ХХ столітті. Вчення В. І. Вернадського про біосферу й перетворення її в ноосферу пов'язане з новим поглядом на геологічні наслідки соціальної діяльності людства.

Термін "ноосфера" (із грецької – сфера розуму) запропонував французький філософ і природознавець П. Тейяр де Шарден, але розвив вчення про ноосферу у своїх роботах академік В. І. Вернадський, зокрема в роботі "Кілька слів про ноосферу", опублікованій у 1944 р. Відповідно до його вчення розум людини в найближчому майбутньому повинен стати основною керівною силою розвитку ноосфери з біосфери. При цьому повинні бути збережені ті види рослин і тваринного світу, які є корисними для людей. Через 50 років після опублікування робіт В. І. Вернадського стало зрозумілим, що розвиток техносфери обумовлює руйнування біосфери, повну її деградацію й загрожує загибеллю цивілізації.

Екологи з позицій системного підходу аналізують природне середовище як складну, диференційовану систему, різні компоненти якої перебувають у динамічній рівновазі, розглядають біосферу Землі як екологічну нішу людства, пов'язуючи навколишнє середовище й діяльність людини в єдину систему “природа – суспільство”, розкривають вплив людини на рівновагу природних екосистем, порушують питання про керування й раціоналізацію взаємин людини й природи в міжнародному масштабі.

Екологічне мислення знаходить свій вияв у різних варіантах переорієнтації технологічних систем і сучасних виробництв. Усвідомлення соціальних аспектів екології привело до формування екологічної економіки, що бере до уваги витрати не тільки на освоєння природи, але й на охорону й відновлення атмосфери, з урахуванням важливості не тільки критеріїв прибутковості й продуктивності, але й екологічної обґрунтованості технічних нововведень, екологічного контролю над плануванням промисловості й природокористування.

Розвиток екології став потужним імпульсом до висунування нових цінностей перед людством – збереження екосистем, ставлення до Землі як унікальної екосистеми, обережного і дбайливого ставлення до всього живого. Обов'язки громадян України дбайливо ставитися до природи й охороняти її багатства занесені в Конституцію України. Ключове місце в системі державних органів управління природокористуванням і природоохоронною діяльністю займає Міністерство охорони навколишнього природного середовища і ядерної безпеки, положення про яке затверджене Указом Президента України від 10.02.1995 р. В Україні, як незалежній державі, сформовано окрему галузь – екологічне право, і на основі цієї галузі здійснюється практична реалізація екологічної реформи, тобто закладені базові основи (інститути, науково-методичні, правові й техніко-економічні) державної екологічної політики, які властиві країнам з ринковою економікою. Сьогодні забруднювати навколишнє середовище й непомірно використовувати природні ресурси стає економічно не вигідним. І це головний результат проведених законодавчих робіт. Безперечно, ефективність екологічних реформ, зростає в багато разів у процесі виході економіки України із кризового стану. При цьому новий підйом виробництва не буде загрожувати втратою найвищої державної цінності – екологічної чистоти навколишнього простору.

Серед глобальних екологічних проблем кінця ХХ століття особливо гостро постало питання, пов'язане з нагромадженням на нашій планеті такої кількості промислових і побутових відходів, що вони повсюдно стали загрожувати здоров'ю людей і безпеці навколишнього простору. За даними ООН, щорічно 5,2 млн осіб, зокрема 4 млн дітей умирають від хвороб, викликаних токсичним впливом відходів, що видалаються неправильно, і стічних вод, особливо в регіонах великих міст. Дуже активно збільшується кількість твердих побутових відходів, приблизно щорічно вони зростають на 5 – 6%.

У високорозвинених країнах світу переробляється побутових твердих відходів від 30 – 50% (у Європі) до 60 – 75% (у США і Японії). У країнах, що розвиваються, цей відсоток досягає 7 – 10%, а в Україні – 3 – 5%. До 2025 р. кількість відходів, відповідно до прогнозів фахівців ООН, збільшиться в 4 – 5 разів, а вартість їхньої переробки й зберігання – в 2 – 3 рази. З кожним роком гостріше постає проблема відходів в Україні [5].

На кінець ХХ століття щорічна кількість відходів на кожного жителя України досягла 400 т. Основними джерелами утворення промислових відходів є підприємства гірничопромислових, хіміко-металургійних, машинобудівних, паливно-енергетичних, будівельних і агропромислових комплексів. Так, наприклад, на підприємствах гірничодобувних і гірничозбагачувальних галузей накопичилось відходів приблизно 53 млрд т, на підприємствах металургійної промисловості щорічно утворюється до 15 млн т металургійних шлаків. Обсяг накопичених золошлакових відходів теплових електростанцій України до кінця ХХ ст. досяг понад 300 млн т.

Щорічно на територіях міських населених пунктів України накопичується 38 – 42 млн м³ побутового сміття. За середнім морфологічним складом побутове сміття містить 25 – 30% паперу, 35 – 40% харчових відходів, 4 – 5% текстилю, 4 – 6% полімерів, 4 – 5% чорних і кольорових металів, 5 – 7% скла, 2 – 7% гуми, кісток, каменів та ін. Питома вага сміття 220 – 250 кг/м³, вологість – 35 – 40 %, теплотвірна здатність – 800 – 2 400 ккал/кг.

Смітники (полігони) навколо великих міст щорічно поглинають близько 1 500 га землі, що стає небезпечним джерелом отруєння навколишнього середовища. Зі смітників у повітря й ґрунтові води потрапляє багато токсичних речовин – важких металів, гуми, пластмас, лаків і фарб. На

смітниках розвиваються хвороботворні бактерії, утворюються токсичні гази, виникають небезпечні для навколишнього простору пожежі.

Вирішення цієї складної й відповідальної проблеми можливе за рахунок впровадження безвідхідних технологій, будівництва сучасних сміттєпереробних заводів з ефективними технологіями утилізації, високотемпературного спалювання, одержання корисних речовин.

Прикладом ефективної технології утилізації є використання відходів чорних металів. Так, у процесі виробництва основного конструкційного машинобудівного матеріалу – сталі – за рахунок використання металобрухту досягається здешевлення її вартості приблизно на 70%. Крім того, кожна 1 000 т металобрухту дозволяє заощаджувати близько 1 500 т залізної руди й до 200 т коксу. При цьому відпадають геологорозвідка, видобуток і збагачення руд, а також відбувається звільнення промислових площ від непотрібного устаткування. Не менш вдалим прикладом є використання макулатури. Її раціональний збір і переробка на папір і картон не тільки запобігає засміченню середовища нашого перебування залишками паперу, але й зберігає цінну деревину й багато гектарів лісу від вирубування.

Необхідно зазначити, що технологічні системи, як інструмент технологічної діяльності в суспільстві одночасно є, на жаль, потужним фактором руйнування середовища, в якому вони функціонують.

Спустошуючи щорічно близько 10 млрд т гірських порід земних надр, людство тисячами шахт, бурильних установок порушує земну поверхню й до невпізнанності змінює її вигляд. Створюючи нові ландшафти з кар'єрами, териконами, горами відвальних порід, шлаковими збірниками й смітниками. Виплавляючи понад 800 млн т різних металів, викидають у повітря й гідросферу величезну кількість промислових відходів, руйнуючи біосферу (живу оболонку Землі), загрожуючи всьому живому на планеті. У цих умовах особливо актуальним є питання пропаганди екологічних знань. На думку багатьох учених, нині екологія, хоча вона й зародилася в біології і базується на ній, покликана вирішувати більш широке коло завдань, ніж завдання біологічного змісту. Під впливом життєвих потреб екологія стала науковою базою, що сприяє розв'язанню природознавчих, соціально-політичних, техніко-технологічних, економічних і юридичних питань. Таким чином, екологія є однією з головних інтегральних міждисциплінарних наук. Екологічні знання сприяють формуванню

екологічної культури, тобто такого напрямку людського мислення, від якого значною мірою залежить нормальне існування цивілізації та стійкий її розвиток у майбутньому.

Відомий німецький філософ І. Кант вказував: “Є у світі два чуда – зоряне небо над нами й моральний закон усередині нас”. Думки людей, їхні прагнення повинні відповідати вимогам високої моралі – всьому кращому, що виробило людство у своїй моральній історії. У реальному житті людство стикається із взаємодією, як мінімум, трьох компонентів, що визначають його поведження: це, по-перше, дія простих біологічних і матеріальних потреб, що штовхають індивідів по грубо егоїстичному шляху, по-друге, це сукупність конкретно-історичних традицій і моральних настанов, що так чи інакше орієнтують індивідів на пріоритет групових інтересів, і по-третє, це поведження високої моралі, що говорить від імені людства як цілого й нерідко від імені Бога [6]. Складна динаміка цих трьох складових і визначає вигляд моральної поведінки і внутрішніх законів конкретних людей.

Гуманітарна підготовка у вищих навчальних закладах повинна бути спрямована на формування у студентів внутрішніх законів вищої моралі, що в сучасному історичному періоді повинна, насамперед, базуватися на основних принципах екологічної культури, на екологічно чистих технологічних системах, як однієї із основних умов збереження життя на Землі й розвитку цивілізації.

Питання для самостійного контролю

1. Як одержують чавун у доменних печах?
2. Для чого використовують вакуумування й переплавлення сталі?
3. Перерахуйте процеси одержання сортового прокату на прокатних станах.
4. Опишіть технологічні процеси одержання й переробки алюмінію і магнію.
5. Охарактеризуйте технологічні процеси одержання міді.
6. Якими є особливості кристалічної будови реальних металів?
7. Як і за яким законом відбувається кристалізація металів?
8. Які фізичні властивості металів ви знаєте? Поясніть їх.
9. З якою метою використовують діаграму стану “залізо – вуглець”?
10. Яку інформацію отримують у результаті вивчення мікроструктури

залізовуглецевих сплавів?

11. Наведіть класифікацію й маркування чавунів і сфери їхнього застосування.

12. Опишіть конструкційні леговані сталі, їхню класифікацію, маркування і сфери застосування.

13. Охарактеризуйте вуглецеві й леговані інструментальні сталі, їхнє маркування і сфери застосування.

14. Що включає поняття “обробка різанням”?

15. Назвіть фізичні явища, що супроводжують процес обробки різанням.

16. Які складові сили різання під час обробки?

17. Охарактеризуйте типи технологічного оснащення, його призначення й можливості.

18. Опишіть пристосування для обробки різанням, їхнє призначення, можливості.

19. Які існують інструменти для обробки різанням, їх призначення, можливості?

20. Опишіть види матеріалів, застосовуваних для різальних інструментів.

21. Дайте характеристику абразивній обробці, застосовуваному інструменту і назвіть їхні особливості.

22. Яке призначення режимів у процесі різних видів обробки різанням?

23. Назвіть переваги та недоліки процесу обробки матеріалів різанням.

24. Назвіть класифікацію металорізальних верстатів і їх призначення для обробки поверхонь деталей.

25. Назвіть основні етапи розробки процесу збирання.

26. Назвіть організаційні форми і методи збирання.

27. Дайте коротку характеристику основних з'єднань деталей.

28. Наведіть приклади застосовуваного устаткування.

29. Дайте характеристику нових наукоємних технологій.

Література: [8, 11, 21, 27, 30, 31, 40].

Використана література

1. Акулов А. И. Сварка в машиностроении: Справочник. Т. 2. – М.: Машиностроение, 1978. – 462 с.
2. Гельфгат Ю. И. Сборник задач и упражнений по технологии машиностроения: Учебн. пособие для машиностр. спец. техникумов. – 2-е издание, перераб. – М.: Высшая школа, 1986. – 284 с.
3. Генкин М. Д. Повышение надежности тяжело нагруженных зубчатых колес / М. Д. Генкин, М. А. Рыжов, Н. М. Рыжов. – М.: Машиностроение, 1981. – 232 с.
4. Грабченко А. І. Робочі процеси високих технологій у машинобудуванні: Навч. посібник. – Харків: ХДПУ, 1999. – 436 с.
5. Грановский Г. Г. Резание металлов: Учебник / Г. Г. Грановский, В. Г. Грановский. – М.: Высшая школа, 1985. – 304 с.
6. Гринева В. Н. Проблемы развития современного общества: культура, инновации, высокие технологии и экология: Научное издание / В. Н. Гринева, П. Д. Дудко, А. Г. Крюк, В. С. Пономаренко, В. Г. Чистяк, В. Г. Шкурупий. – Харьков: Изд. ХГЭУ, 2003. – 300 с.
7. Гринева В. Н. Системы технологий: Учебное пособие / В. Н. Гринева, П. Д. Дудко, В. С. Пономаренко, А. М. Тимонин, А. Г. Крюк, Н. Ф. Савченко, В. Г. Чистяк, В. Г. Шкурупий. – Харьков: Изд. ХГЭУ, 2003. – 292 с.
8. Дальский А. М. Технология машиностроения. В 2-х т. Т. 1. Основы технологии машиностроения: Учебник для вузов / А. М. Дальский, В. М. Бурцев, А. С. Васильев. – 2-е изд., стереотип. – М.: Узд. МВТУ им Н. Э. Баумана, 2001. – 564 с.
9. Данилевский В. В. Лабораторные работы и практические занятия по технологии машиностроения. Учеб. пособие для машиностр. спец. техникумов / В. В. Данилевский, Ю. И. Гельфгат – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1988. – 222 с.
10. Деречин В. В. Системы технологий: Основные промышленные отрасли. Учеб. пособие для экономических вузов. / В. В. Деречин, Ф. Е. Дубровин, В. В. Павленко – Часть 2. – Одесса: Латстар, 2001. – 300 с.
11. Дудко П. Д. Основы технологических систем: Учебное пособие / П. Д. Дудко, А. Г. Крюк, Н. Ф. Савченко – Харьков: Изд. ХГЭУ, 2002. – 248 с.

12. Дудко П. Д. Товароведение: Учеб. пособие. – Харьков: ИД “ИНЖЭК”, 2005. – 456 с.
13. Дубровин Ф. Е. Системы технологий: Основные категории. Учеб. пособие для экономических вузов. – Часть 1. – Одесса: Латстар, 2001. – 200 с.
14. Капустин Н. М. Разработка технологических процессов обработки деталей на станках с помощью ЭВМ. – М.: Машиностроение, 1976. – 288 с.
15. Ковшов А. Н. Основы нанотехнологии в технике: Учеб. пособие / А. Н. Ковшов, Ю. Ф. Назаров, И. М. Ибрагимов – М.: Изд. МГОУ, 2006. – 244 с.
16. Коганов И. А. Методическое пособие для дипломного проектирования по технологии машиностроения для студентов дневного, вечернего и заочного обучения. Специальность “Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты” / Под общ. ред. И. А. Коганова и Д. С. Каплана. – Тула: Изд. ТПИ, 1970. – 116 с.
17. Корчак С. Н. Системы автоматизированного проектирования технологических процессов, приспособлений и режущих инструментов: Учебник / С. Н. Корчак, А. А. Кошин, А. Г. Ракович, Б. И. Сеницын. – М.: Машиностроение, 1988. – 352 с.
18. Крижний Г. К. Стратегічний технологічний менеджмент: Навч. посібник. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2003. – 448 с.
19. Луканчева А. Г. Биотехнология: достижения, проблемы, перспективы: Лекция / Саратов: Саратовский сельскохозяйственный институт, 1991. – 68 с.
20. Маталин А. А. Технология машиностроения: Учебник. – Л.: Машиностроение, Ленинград. отделение, 1985. – 496 с.
21. Мосталыгин Г. П. Технология машиностроения. Учебник для вузов по инженерно-экономическим специальностям / Г. П. Мосталыгин, Н. Н. Толмачевский. – М.: Машиностроение, 1990. – 288 с.
22. Новиков Г. В. Задачи точности и производительности обработки в технологии машиностроения // Труды Государственного аэрокосмического университета им. Н. Е. Жуковского “ХАИ”, “Авиационно-космическая техника и технология”. – Харьков: ХАИ, 2000. – Вып. 14. – С. 31 – 35.

23. Новиков Ф. В. Физические и кинематические основы высокопроизводительного алмазного шлифования. – Автореф. дис. ... докт. техн. наук. – Одесса: ОДПУ, 1995. – 36 с.
24. Орлов П. А. Методические рекомендации по определению экономической эффективности мероприятий, разрабатываемых в курсовых, дипломных проектах и выпускных работах для студентов специальностей 7.050201, 7.050204, 7.050206, 7.050108 всех форм обучения. – Харьков: РИО ХГЭУ, 1998. – 60 с.
25. Панов А. А. Обработка металлов резанием: Справочник технолога / А. А. Панов, В. В. Аникин, Н. Г. Бойм; [Под общ. ред. А. А. Панова. – М.: Машиностроение, 1988. – 736 с.
26. Подураев В. Н. Технология физико-химических методов обработки. – М.: Машиностроение, 1985. – 264 с.
27. Пономаренко В. С. Системи технологій: Навч. посібник / В. С. Пономаренко, М. А. Сіроштан, М. І. Белявцев, П. Д. Дудко, О. М. Тімонін. – Харків: Око, 2000. – 376 с.
28. Резников А. Н. Абразивная и алмазная обработка материалов: Справочник. – М.: Машиностроение. 1977. – 392 с.
29. Синтетические сверхтвердые материалы: В 3-х т. Т. 3. Применение синтетических сверхтвердых материалов / Отв. ред. Н. В. Новиков – К.: Наукова думка, 1986. – 280 с.
30. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 1 / Под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – 4-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 656 с.
31. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 2 / Под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 496 с.
32. Суслов А. Г. Качество машин: Справочник. В 2-х т. Т. 1 / А. Г. Суслов, Э. Д. Браун, Н. А. Виткевич. – М.: Машиностроение, 1995. – 256 с.
33. Суслов А. Г. Качество машин: Справочник. В 2-х т. Т.2 / А. Г. Суслов, Ю. В. Гуляев, А. М. Дальский – М.: Машиностроение, 1995. – 432 с.
34. Тимонин А. М. Маркетинг. – Харьков: Око, 1997. – 304 с.
35. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф. В. Новикова и А. В. Якимова. В десяти томах. Т. 1. Механика резания материалов. – Одесса: ОНПУ, 2002. – 580 с.

36. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф. В. Новикова и А. В. Якимова. В десяти томах. Т. 3. Резание материалов лезвийными инструментами – Одесса: ОНПУ, 2003. – 548 с.

37. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф. В. Новикова и А. В. Якимова. В десяти томах. Т. 4. Теория абразивной и алмазно-абразивной обработки материалов. – Одесса: ОНПУ, 2002. – 804 с.

38. Циганков О. С. Технологічна діяльність космонавта. Підр. для авіац. вищ. навч. закладів / О. С. Циганков, В. М. Кобрі. – Харків: ХАІ, 1995. – 300 с.

39. Челищев Б. Е. Автоматизация проектирования технологии в машиностроении / Б. Е. Челищев, И. В. Борова, А. Гонсалес-Сабатер; [Под ред. акад. Н. Г. Бруевича. – М.: Машиностроение, 1987. – 284 с.

40. Ченцов И. В. Основы технологии важнейших отраслей промышленности: В 2 ч. Ч. 1: Учеб. пособие для вузов / И. В. Ченцов, И. А. Мочальник, А. А. Мащенко. – Минск: Высшая школа, 1989. – 328 с.

41. Чистяк В. Г. Техника и технология производства курса “Системы технологий”: Конспект лекций. Ч. 1. – Харьков: Изд. ХГЭУ, 2003. – 108 с.

42. Энциклопедический словарь бизнесмена. Менеджмент. Маркетинг. Информатика / Под общ. ред. М. И. Молдованова. – К.: Техніка, 1993. – 856 с.

43. Якимов А. В. Качество и производительность абразивно-алмазной обработки: Учебное пособие / А. В. Якимов, Ф. В. Новиков, Г. В. Новиков, А. А. Якимов. – Одесса: ОГПУ, 1999. – 212 с.

44. Якимов А. В. Оптимизация процесса шлифования. – М.: Машиностроение, 1975. – 176 с.

45. Якимов А. В. Теоретические основы резания и шлифования материалов: Учебн. пособие / А. В. Якимов, Ф. В. Новиков, Г. В. Новиков, Б. С. Серов, А. А. Якимов. – Одесса: ОГПУ, 1999. – 452 с.

46. Якимов А. В. Теоретические основы технологии машиностроения: Учебник / А. В. Якимов, Ф. В. Новиков, А. А. Якимов, Г. В. Новиков, Н. И. Решетнев. – Одесса: ОНПУ, 2002. – 492 с.

47. Якимов О. В. Технологія автоматизованого машинобудування: Підручник / О. В. Якимов, В. С. Гусарев, О. О. Якимов, П. А. Лінчевський, Ф. В. Новіков, Г. В. Новіков, В. П. Ларшин. – Одеса: ОНПУ, 2005. – 412 с.

48. Якимов А. В. Технология машиностроения: Учебник / А. В. Якимов, В. Н. Царюк, А. А. Якимов, Г. А. Оборский, В. П. Ларшин, А. В. Самойленко. – Одесса: Астропринт, 2001. – 608 с.

49. Якимов А. В. Управление процессом шлифования / А. В. Якимов, В. И. Свирщев, А. Н. Паршаков, В. П. Ларшин. – К.: Техніка, 1983. – 184 с.

Додатки

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;
 $d_{\text{ф}}$ – діаметр фрези, мм;
 F_{Σ} – сумарна площа оброблюваної поверхні, мм;
 f – коефіцієнт, що враховує кількість проходів без поперечної подачі;
 h – припуск на обробку, мм;
 i – кількість проходів;
 i_1, i_2, i_3 – кількість проходів – чорнових, напівчистових, чистових;
 K – коефіцієнт, що характеризує найвірогідніші умови обробки;
 l – довжина заготовки, довжина ходу протяжки, мм;
 $l_{\text{обр}}$ – довжина робочого ходу під час обробки, мм;
 m – модуль зубчатого колеса, мм;
 n – частота обертів, кількість подвійних ходів на хвилину;
 $n_{\text{ш}}$ – частота обертів шевера на хвилину;
 p – кількість проходів без поперечної подачі;
 S – поздовжня подача, мм/об.; під час стругання, мм/подв. хід;
 S_1, S_2, S_3 – подачі під час чорнового, напівчистового і чистового шліфування, мм/подв. хід;
 S_z – подача на зуб фрези, мм;
 $S_{\text{хв}}$ – хвилинна подача, мм/хв;
 $S_{\text{тан}}$ – тангенціальна подача, мм/об.;
 S_p – радіальна подача, мм/подв. хід;
 $S_{\text{хв.зв.х.}}$ – хвилинна подача зворотного ходу, мм/хв;
 $S_{\text{кр}}$ – 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;
 $V_{\text{ст}}$ – швидкість переміщення столу, м/хв;
 $V_{\text{р.х.}}$ – швидкість робочого ходу, м/хв;
 ω – кількість одночасно оброблюваних заготовок;
 z – кількість зубів зубчатого колеса, шліцьового валу, зірочки.



464

Рис. Б.1. Види заготовок

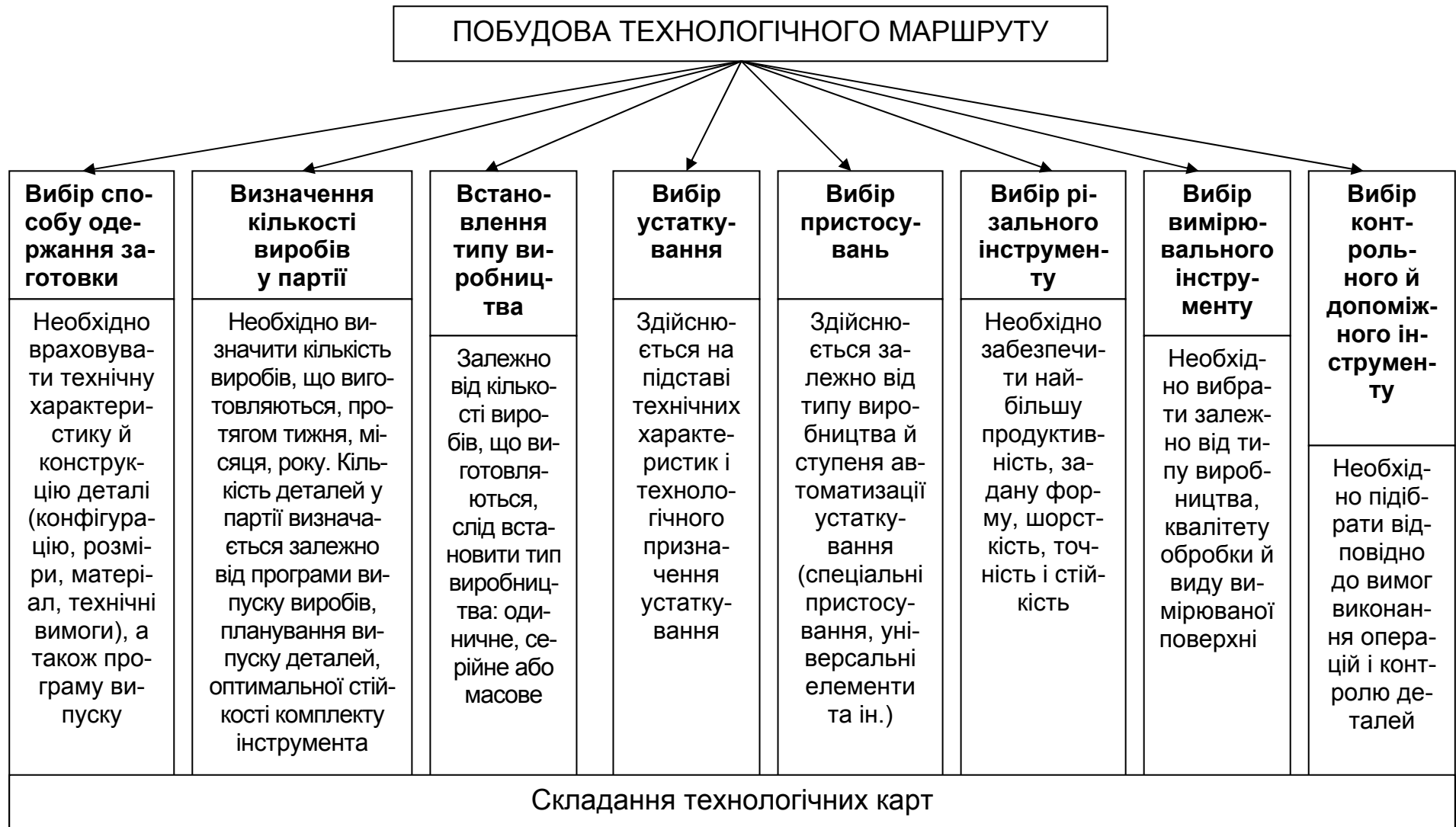


Рис. Б.2. Проектування технологічного маршруту

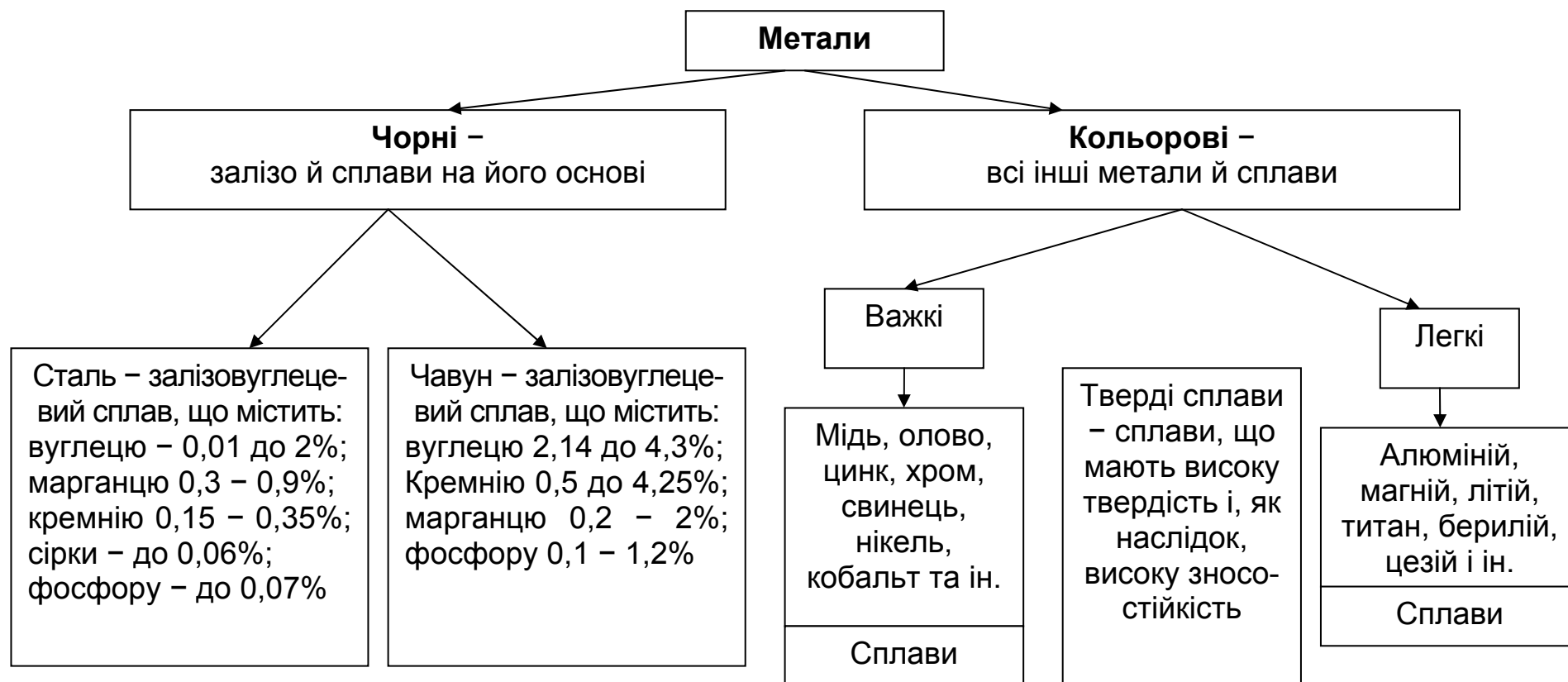


Рис. В.1. Загальна класифікація металів

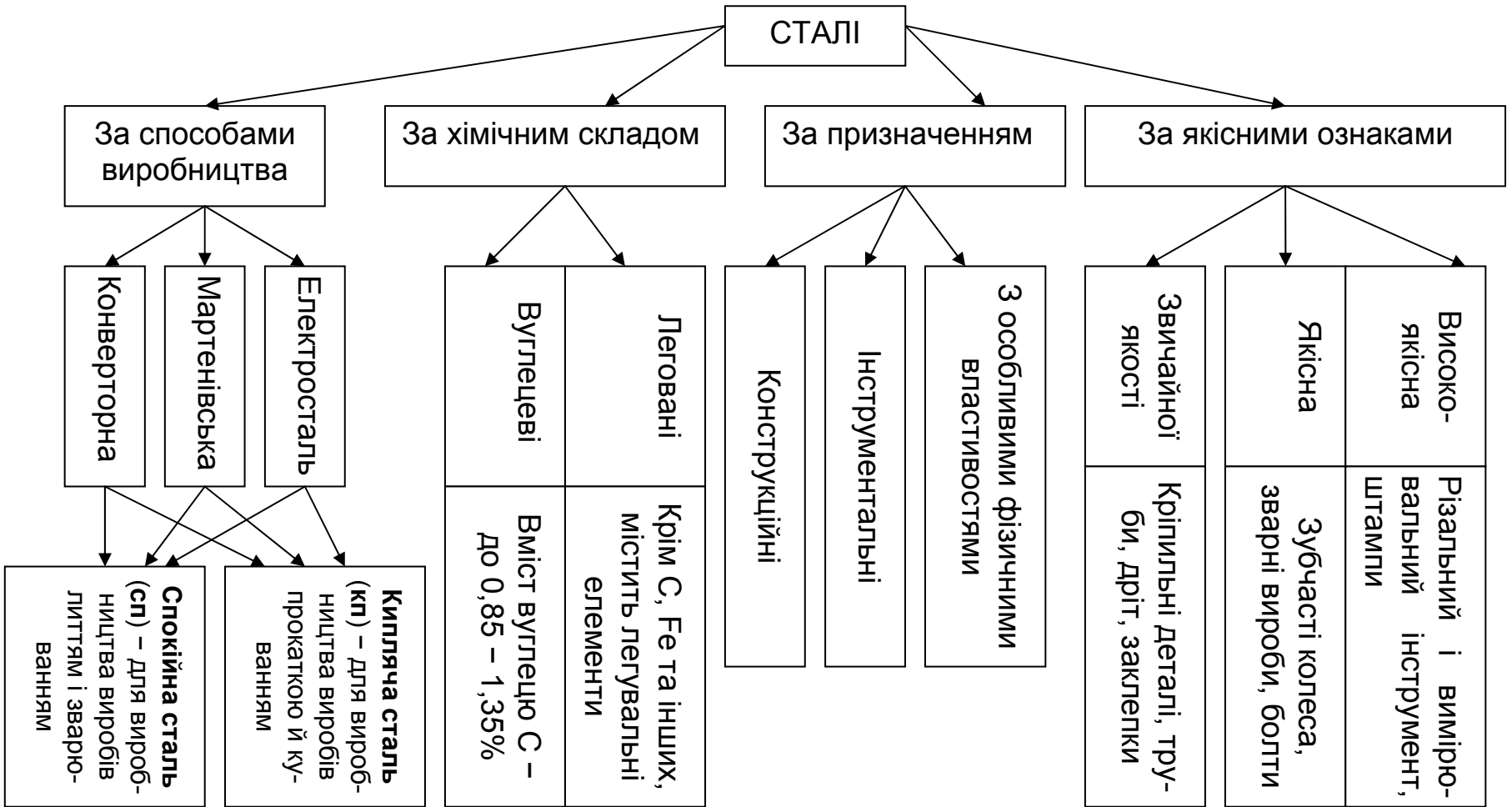


Рис. В.2. Загальна класифікація сталей

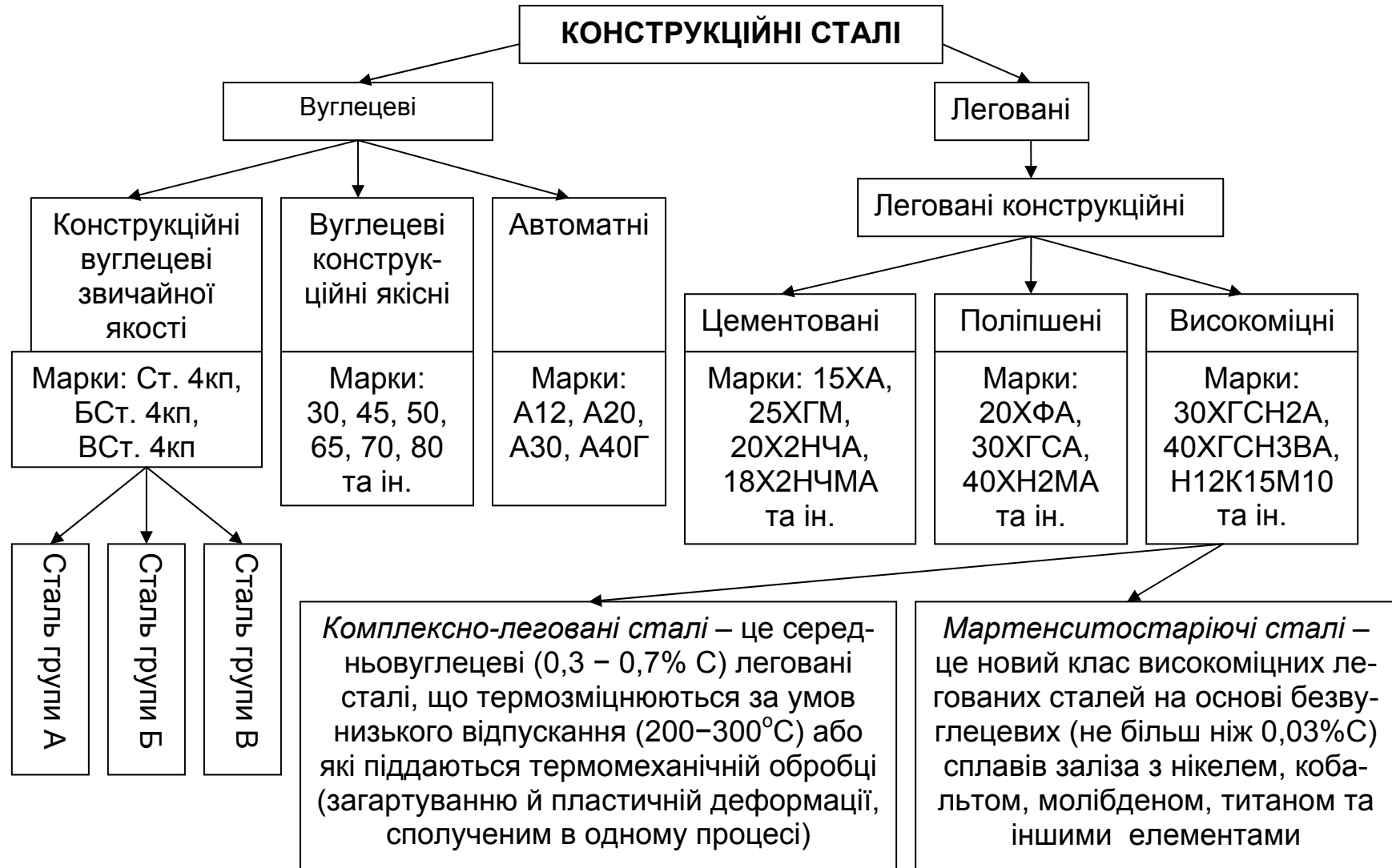
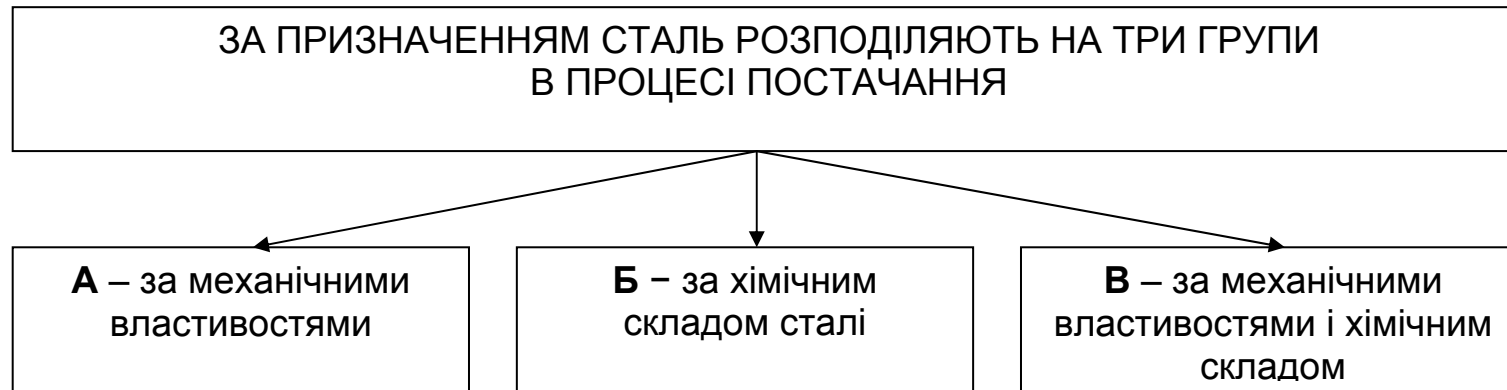
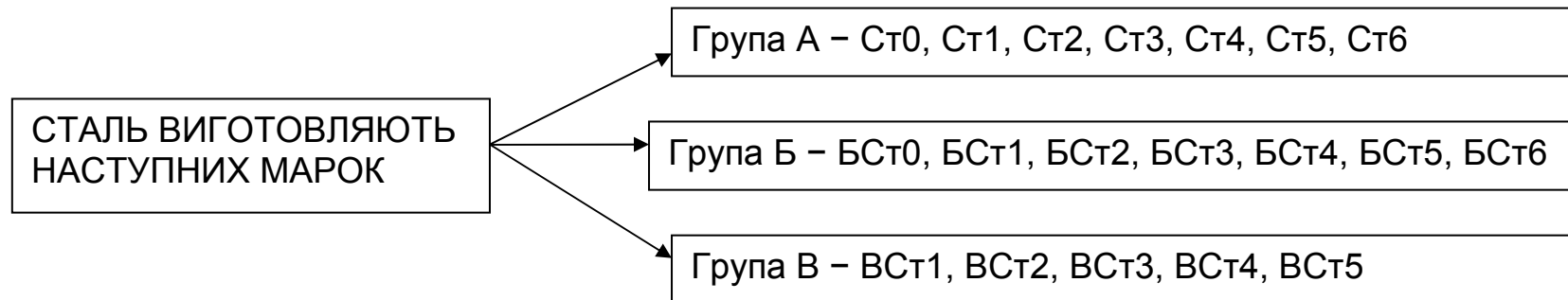


Рис. В.3. Класифікація конструкційних сталей



469



Сталь всіх груп з номерами марок 1, 2, 3 і 4 виготовляють киплячою (кп), напівспокійною (нс) і спокійною (сп); з номерами 5 і 6 – напівспокійною (нс) і спокійною (сп).

Залежно від нормованих показників сталь кожної групи розподіляється на категорії: сталь групи А – 1; 2; 3; сталь групи Б – 1; 2; сталь групи В – 1; 2; 3; 4; 5; 6. Літера А в позначенні марки сталі не вказується.

Рис. В.4. Класифікація конструкційних вуглецевих сталей звичайної якості

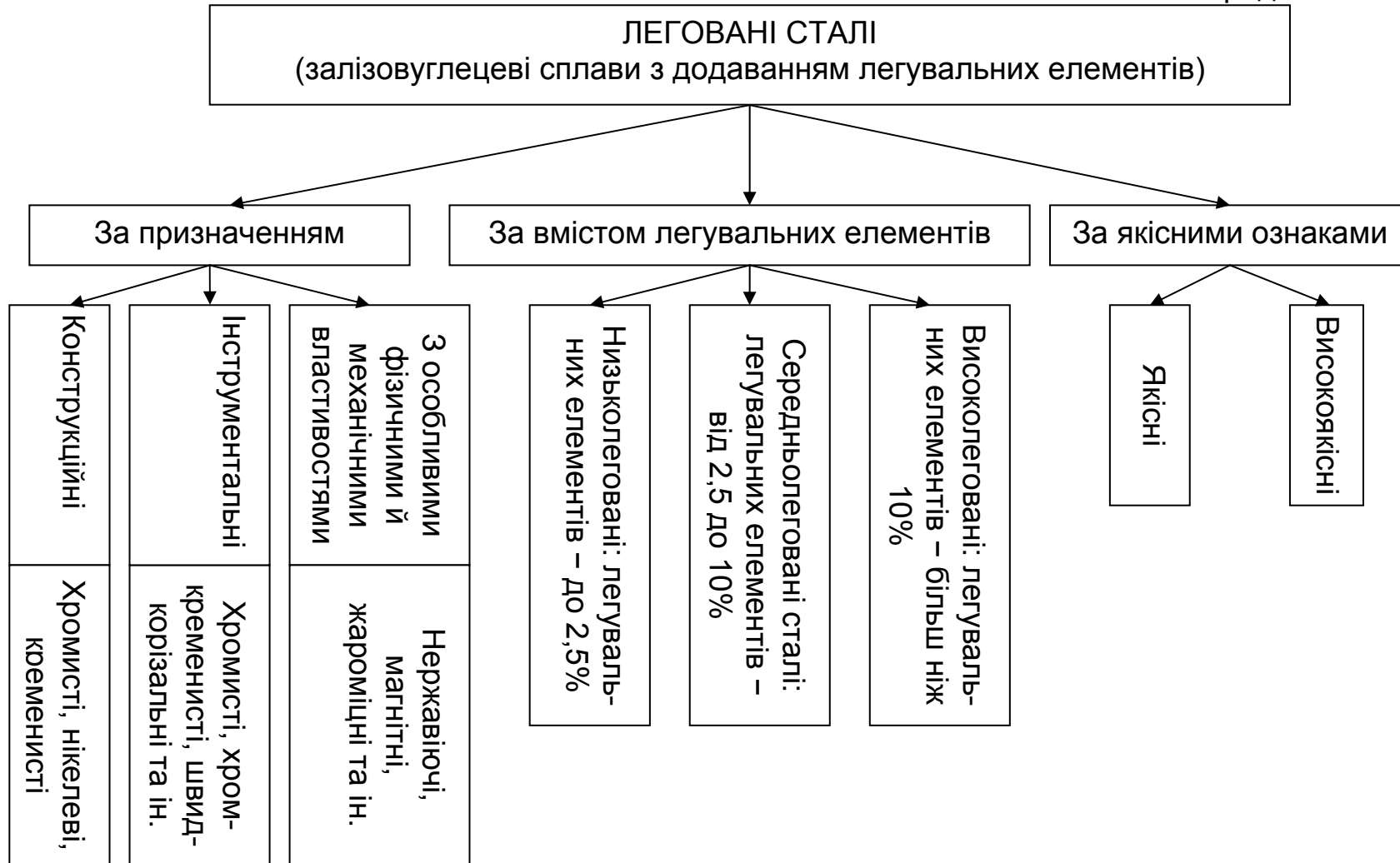


Рис. В.5. Класифікація легованих сталей

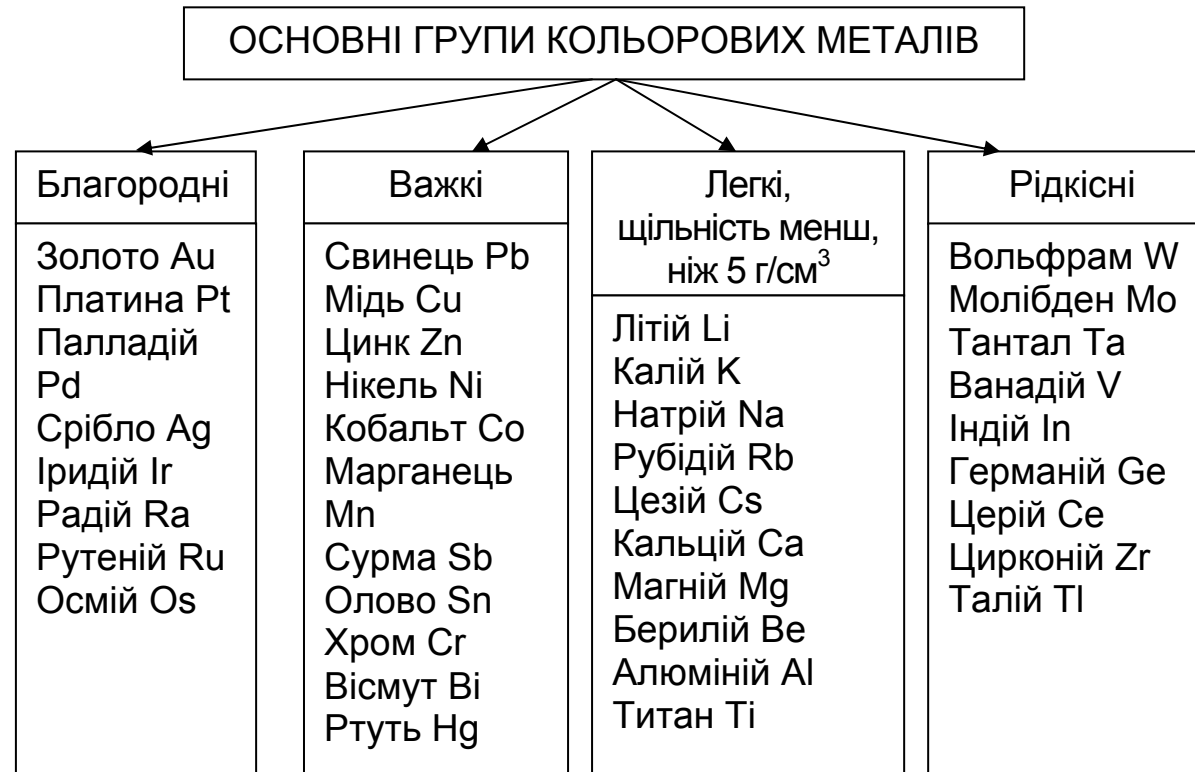


Рис. В.6. Класифікація кольорових металів

Відпал	Нормалізація	Гартування	Відпускання	Старіння	Обробка холодом	Термомеханічна обробка (ТМО)
Процес термічної обробки, що полягає в нагріванні сплаву до певної температури з наступним повільним охолодженням	Аналогічна відпалюванню й відрізняється від нього лише швидкістю охолодження	Процес термічної обробки, за якої сталь нагрівають до температури вище критичної лінії на 30 – 50°C, і швидко охолоджують	Є заключною операцією термічної обробки, за якої загартований сплав нагрівають до певної температури, витримують і проохолоджують	У процесі низькотемпературного відпускання більша частина внутрішніх напружень у загартованій сталі залишається. З часом вони зникають і настає повна структурна рівновага. Цей процес називається старінням	Холодом (-60°C і нижче) обробляють сталі, що вміщують понад 0,5% вуглецю, а також спеціальні сталі	Метод зміцнення сплавів, що полягає в спільному пластичному деформуванні й термічній обробці
Мета відпалу – підготовка структури сталі до обробки різанням, загартовування й відпускання	Мета нормалізації – часткова втрата зміцнення сплавів і зняття залишкових внутрішніх напружень	Мета гартування – підвищення твердості й зниження пластичності сплаву	Мета відпускання – підвищення пластичності, зниження або усунення внутрішніх напружень	Мета старіння – зменшення внутрішніх напружень	Мета обробки холодом – підвищення твердості, зносостійкості, особливо цементованих деталей, посилення магнітних властивостей	Мета ТМО – одержання особливого структурного стану, що забезпечує підвищення міцності сплаву

Рис. Д.1. Основні види термічної обробки

Примітка: Крім зазначених видів обробки, також застосовується хіміко-термічна обробка (ХТО)

473

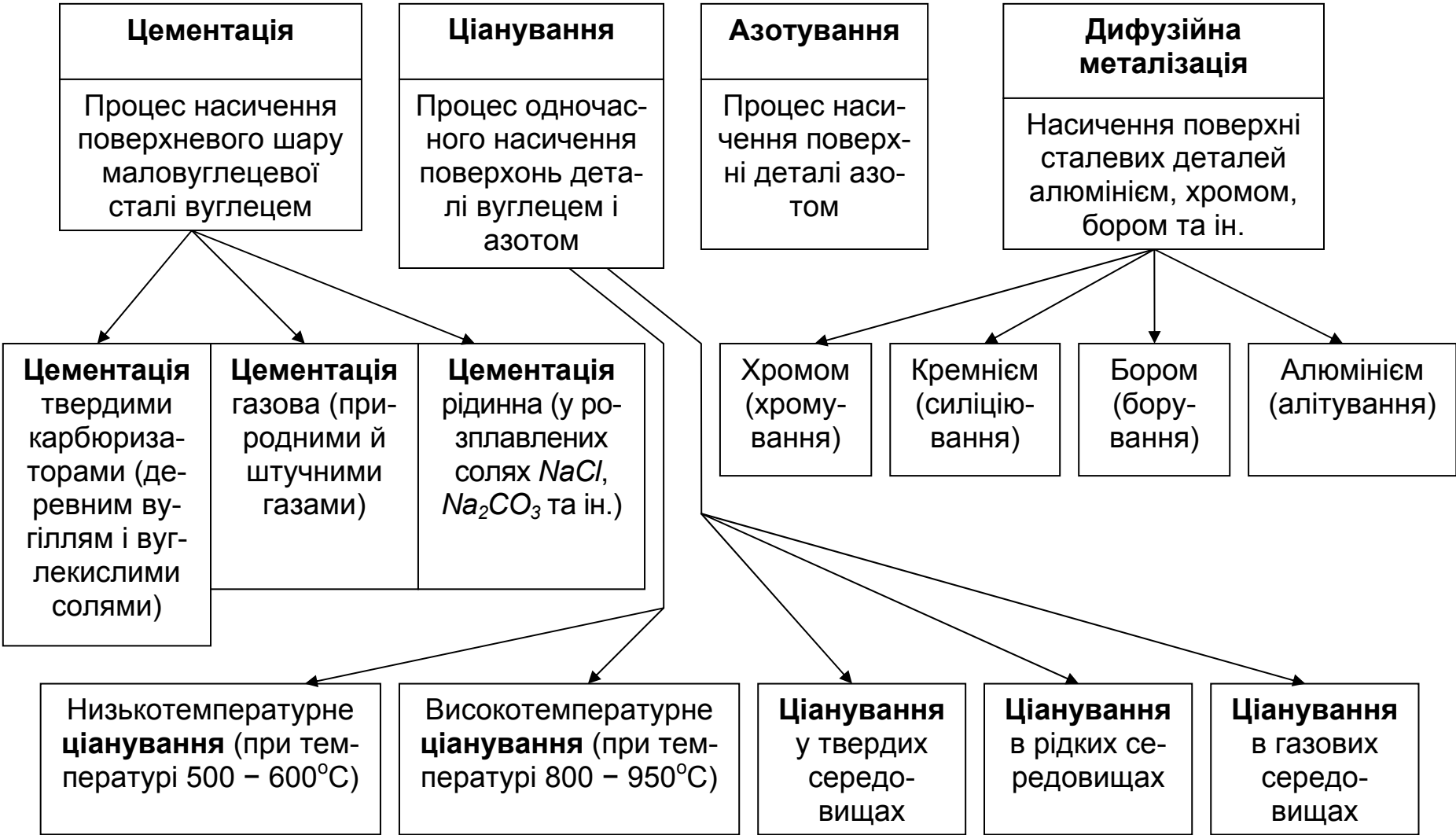


Рис. Д.2. Види хіміко-термічної обробки сталі



474

Рис. Ж.1. Класифікація основних операцій, які застосовуються в процесі кування й штампування

Примітка: У холодноштамповому виробництві застосовується також комбінування операцій штампування, що становить сполучення в одному процесі двох і більше технологічно різних операцій, наприклад, відрізання і вигину, вирубування й витягування, вирубування й рельєфного штампування тощо.

Електрокорунд нормальний	Електрокорунд білий	Монокорунд	Карбід кремнію	Карбід бору	Борсилікокарбід
Одержують у процесі виплавлення бокситу в суміші з антрацитом або коксом у дугових електропечах. Після виплавлення піддається подрібненню за розмірами зерен	Одержують у процесі плавлення технічного глинозему в електропечах; містить 97 – 99% корунду	Одержують сплавлюванням бокситу із сірчистим залізом, антрацитом і коксом в електропечах	Одержують у результаті взаємодії кремнезему й вуглецю в електропечах. Випускається різних марок	Одержують у процесі плавлення борної кислоти з вуглецевим матеріалом	Становить сполуку бору, кремнію й вуглецю
ВЛАСТИВОСТІ					
Висока твердість. Температура плавлення 1950 – 2000 ⁰ С, густина – 3,8 – 3,9 г/см ³	Завдяки високій твердості й гострим крайкам зерна білого електрокорунду легко вводяться у тверді метали	Має високу твердість і підвищені механічні властивості. Містить не менш ніж 96,5% оксиду алюмінію	Має високу твердість і крихкість	Має високу твердість	Має високу твердість
ЗАСТОСУВАННЯ					
Для заточення твердосплавних інструментів і матеріалів	У процесі виготовлення корундових кругів для заточення різальних інструментів і шліфування металів	Для заточення твердосплавного інструменту	Використовується в порошках і пастах для доведення виробів із твердих сплавів	Для доведення деталей із твердих і важкооброблюваних сплавів із неметалевих матеріалів високої твердості	

Рис. 3.1. Штучні абразивні матеріали та їх застосування

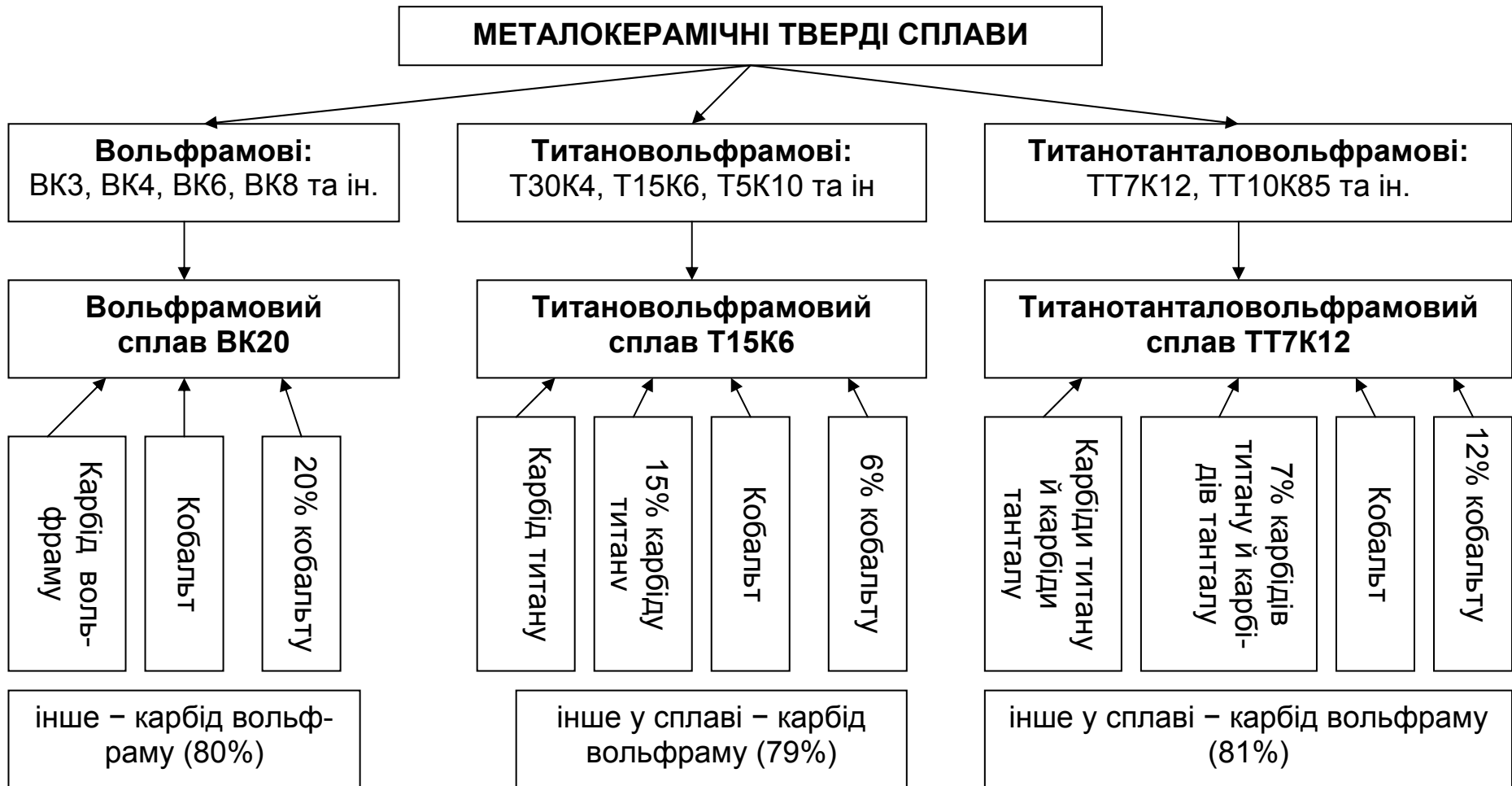


Рис. 3.2. Класифікація металокерамічних твердих сплавів

Примітка: Застосування: виготовлення пластинок для різців, фрез, свердлів і розгортки

ЗМІСТ

Вступ	3
Модуль 2. Технологічні системи в галузях виробництва	5
Тема 5. Економічне оцінювання технологій	5
5.1. Чинники, які формують технологічну ефективність виробництва	5
5.2. Вплив технології на якість продукції	21
5.3. Техніко-економічні показники виробничих процесів	50
Тема 6. Оцінювання та вибір технологічних рішень на підприємстві	61
6.1. Проектування технологічних процесів виготовлення деталей	61
6.2. Визначення оптимальних параметрів технологічного процесу	82
6.3. Основи стандартизації та її вплив на ухвалення рішень ...	108
6.4. Особливості технологічного менеджменту	121
Тема 7. Галузеві особливості технологічного розвитку України	128
7.1. Фактори мікро- і макросередовища	128
7.2. Технологічні процеси видобутку сировини й енергії	131
7.3. Основні металургійні процеси	142
7.3.1. Технологічні процеси підготовки сировини	142
7.3.2. Виробництво чорних і кольорових металів	147
7.3.3. Будова і властивості металів та сплавів	170
7.4. Технології машинобудівного виробництва	183
7.4.1. Технологічні процеси виготовлення заготовок	183
7.4.2. Технологічні операції обробки деталей	235
7.4.3. Технологічні операції складання	312
7.5. Розвиток нанотехнологій у техніці	345
7.6. Застосування біологічних процесів у технологічних системах промислових виробництв	357
7.7. Основні процеси хімічної промисловості	378
7.8. Основні технології виробництва будівельних матеріалів та житлового будівництва	420
7.9. Екологічні аспекти технологій	455
Використана література	462
Додатки	461

Додаток А	463
Додаток Б	464
Додаток В	466
Додаток Д	472
Додаток Ж	474
Додаток З	475

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

Шкурупій Валентин Григорович

Новіков Федір Васильович

Шкурупій Юрій Валентинович

СИСТЕМИ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчальний посібник

Відповідальний за випуск **Крюк А. Г.**

Відповідальний редактор **Сєдова Л. М.**

Редактор **Новицька О. С.**

Коректор **Новицька Л. М.**

План 2008 р. Поз. №153-П.

Підписано до друку 30.12.2008. Формат 60x90. Папір Multi Copy. Друк Riso.

Ум.-др. арк. 30,0. Обл.-вид. арк. 37,5. Тираж 400 прим. Зам. № 923.

Видавець і виготівник – видавництво ХНЕУ, 61001, м. Харків, пр. Леніна, 9-а

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів видавничої справи

ДК № 481 від 13.06.2001 р.
