



Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
ОДЕССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ СЕМЕНА КУЗНЕЦА
АССОЦИАЦИЯ ТЕХНОЛОГОВ-МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ
ИМЕНИ В. Н. БАКУЛЯ НАН УКРАИНЫ
ИНЖЕНЕРНАЯ АКАДЕМИЯ УКРАИНЫ
КАФЕДРА ЮНЕСКО «ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И
АДАПТАЦИЯ НЕТРАДИЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ К ПРОБЛЕМАМ
ПЕРСПЕКТИВНОГО ОБУЧЕНИЯ И ОБЩЕСТВЕННОГО ПРОГРЕССА»
ГВУЗ «ПРИАЗОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ЛУЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ООО ХК «МИКРОН»
ООО «ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР «ВАРИУС»
ПАО ОДЕССКИЙ КАБЕЛЬНЫЙ ЗАВОД «ОДЕСКАБЕЛЬ»

НОВЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИИ

*Материалы международной научно-технической
конференции*

16-18 мая 2019 года

Одесса – 2019

Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении: Материалы международной научно-технической конференции, 16–18 мая 2019 г., г. Одесса. – Одесса: ОНПУ, 2019. – 200 с.

ТЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦИИ

1. Перспективные технологии и производственные процессы будущего.
2. Современные ресурсосберегающие технологии.
3. Микро- и нанотехнологии в промышленности.
4. Высокопроизводительные инструменты и процессы в материалообработке.
5. Автоматизация технологических процессов в машиностроении и энергетике.
6. Метрологическое обеспечение новых и нетрадиционных технологий.
7. Экологоэнергетические нетрадиционные технологии и перспективные направления их развития.
8. Технологическая динамика.
9. Методологические вопросы высшего образования в области новых технологий.

Материалы представлены в авторской редакции.

Анділахай В. О.
ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»,
м. Маріуполь, Україна
Новіков Д. Ф., Новіков Ф. В.
Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця,
м. Харків, Україна
Анділахай О. О.
ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»,
м. Маріуполь, Україна

ОБРОБКА ВНУТРІШНЬОЇ ПОВЕРХНІ ЦИЛИНДРІВ

Шліфування робочих поверхонь циліндрів абразивними інструментами на м'якій основі потребує виконання особливих умов обробки, що забезпечують не тільки необхідну шорсткість поверхні але і напрямок оброблювальних рисок. Для цього проведений аналіз формування поверхні і визначені умови інтенсифікації процесу шліфування з урахуванням вимог по шорсткості обробленої поверхні. Попередньо проведемо спрощений аналіз, заснований на геометричному поданні шорсткого шару обробленої поверхні без урахування імовірнісного характеру участі абразивних зерен в різанні. Це дозволить більш повно і в системному вигляді розкрити закономірності утворення шорсткості поверхні при шліфуванні [1, 2].

Мета роботи - обґрунтування оптимальних умов шліфування м'якими абразивними інструментами з урахуванням отримання найкращої шорсткості поверхні та найкращих експлуатаційних характеристик зазначених виробів.

Традиційно остаточно обробка внутрішньої поверхні гідро- або пневмоциліндра здійснюється абразивним кругом з паралельними осями обертання абразивного круга і циліндра. В результаті чого оброблювальні риси не співпадають з напрямом поступального руху поршня уздовж твірної отвору, що приводить до інтенсивного зношування ущільнень поршня.

В той же час поширеним є спосіб фінішної обробки внутрішньої поверхні гідро- або пневмоциліндрів хонінгуванням.

Зазначений спосіб полягає в зворотньо-поступальному русі абразивних брусків уздовж твірної отвору, при одночасному обертанні і поступальному русі вздовж осі хонінгувальної головки або оброблюваного отвору, однак цей спосіб характеризується низькою продуктивністю, отже, високою трудомісткістю обробки отворів. Причиною низької продуктивності є зворотно-поступальний рух інструмента, який в кожен зворотній хід знижує швидкість до нуля, тобто проходить через "крайні мертві точки". Разом з тим в результаті складання зворотньо-поступального руху абразивних брусків уздовж твірної отвору і одночасного обертання хонінгувальної головки або оброблюваного отвору утворюються оброблювальні риси, спрямовані під кутом до осі отвору, що і в цьому випадку викликає підвищений знос ущільнень поршня.

Спосіб, що розглядається, є подальшим удосконаленням способу, в якому фінішна обробка внутрішньої поверхні гідро- і пневмоциліндрів здійснюється завдяки одночасному обертанню оброблюваного циліндра і абразивного круга, вісь якого розташовують перпендикулярно до осі обертання циліндра, при цьому вектор швидкості абразивного круга в зоні обробки спрямований уздовж твірної оброблюваного циліндра, при цьому здійснюється поступальний рух абразивного круга вздовж осі циліндра, завдяки чому здійснюється обробка по всій довжині циліндра (див. корисна модель патент України № 125568 МПК В23Q 15/02 (2006.01)).

Недоліком такого способу є те, що незважаючи на напрямок обертання абразивного круга в зоні обробки уздовж твірної циліндра, в процесі обробки оброблювальні риси, тобто сліди, які утворюються від впливу абразивного круга, спрямовані не вздовж утворюючої оброблюваного циліндра, а під деяким кутом по відношенню до утворюючої оброблюваного отвору. Це пояснюється тим, що напрямок оброблювальних рисок є результуючою складання двох векторів: вектора швидкості обертання оброблюваного циліндра і вектора швидкості абразивного круга вздовж осі циліндра.

Оскільки в процесі експлуатації (гідро-) пневмоциліндра поршень переміщується в осьовому напрямку, тобто вздовж утворюючої, а оброблювальні риси розташовані під деяким кутом, останні піддають ущільненню поршня підвищеному зносу, що негативно позначається на працездатності (гідро-) пневмоциліндра при його подальшій експлуатації.

У зазначеному способі фінішна обробка здійснюється після розточування на токарному або розточувальному верстатах. При подальшому внутрішньому шліфуванні через обертання циліндра оброблювальні риси не збігаються за напрямком з напрямком руху поршня. При цьому чим більше продуктивність обробки, тим більше кут між напрямком оброблювальних рисок і утворюючої циліндричної поверхні. Це пояснюється тим, що для збільшення продуктивності обробки необхідно збільшити частоту обертання оброблюваного циліндра, а це призведе до збільшення кута між напрямком оброблювальних рисок і утворюючої циліндра.

Таким чином, недосконалість згаданих способів полягає в тому, що і хонінгування, і внутрішнє шліфування не забезпечують збіг напрямку оброблювальних рисок і напрямку утворюючої циліндричної поверхні, а також обмежують продуктивність обробки.

У зв'язку з вищенаведеним виникла задача - удосконалити спосіб обробки внутрішніх поверхонь циліндрів, в якому за рахунок зміни умов шліфування досягається підвищення продуктивності обробки та якості оброблюваної поверхні.

Для вирішення поставленої задачі в способі обробки внутрішньої поверхні циліндрів, що містить розточування внутрішньої поверхні циліндра з подальшим шліфуванням абразивним кругом, при шліфуванні вісь абразивного круга розташовують під кутом α відносно вектора швидкості обертання циліндра (деталі), що визначається залежністю:

$$\alpha = \arccos\left(\frac{V_{дет}}{V_{абр.кр.}}\right),$$

де $V_{дет}$ – вектор швидкості оброблюваної деталі (циліндра) в зоні обробки, м/с;
 $V_{абр.кр.}$ – вектор швидкості периферії абразивного круга, м/с.

Суть моделі пояснюється рис. 1, де представлені абразивний круг 1 і оброблюваний циліндр 2.

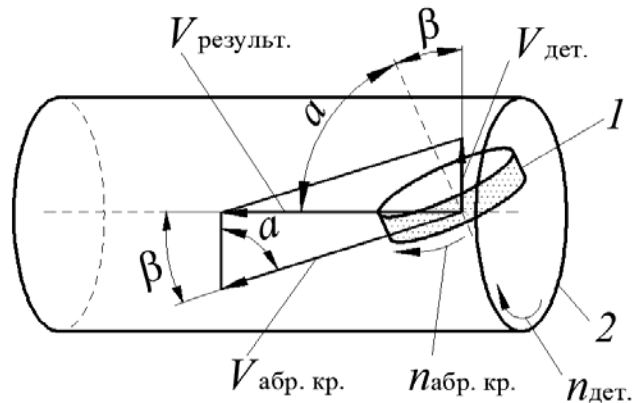


Рисунок 1 – Схема розташування векторів при шліфуванні отвору циліндра

Вектор швидкості оброблюваної деталі $V_{дет.}$ спрямований вгору, по дотичній до циліндричної поверхні, вектор швидкості абразивного круга $V_{абр.кр.}$ повернутий на кут β щодо утворюючої циліндра 2, завдяки чому результуючий вектор швидкості отримує напрямок уздовж утворюючої циліндричної поверхні. Таким чином, в результаті складання швидкостей оброблювальні риси одержують направлення уздовж осі циліндра.

Вектор швидкості подачі абразивного круга спрямований уздовж осі циліндра і на 5 порядків менше швидкості абразивного круга, тому не впливає на напрямок оброблювальних рисок.

Відповідно до розрахункової схеми, кут β нахилу осі абразивного круга відносно вертикалі забезпечує отримання результуючої двох векторів: вектора швидкості абразивного круга $V_{абр.кр.}$ і вектора швидкості обертання деталі (циліндра) $V_{дет.}$. Кут β визначається наступною залежністю:

$$\beta = \arcsin\left(\frac{V_{дет}}{V_{абр.кр.}}\right)$$

З розрахункової схеми впливає, що кути α , рівні, тому що мають сторони зі взаємно перпендикулярними сторонами, тоді кут α між віссю циліндра (результуючої паралелограма) і віссю абразивного круга визначається наступною залежністю:

$$\alpha = \arccos\left(\frac{V_{дет}}{V_{абр.кр.}}\right), \quad (1)$$

де $V_{дет}$ – вектор швидкості оброблюваної деталі (циліндра) в зоні обробки, м/с;
 рекомендована швидкість оброблюваної деталі (циліндра) – 10 м/с;

$V_{абр.кр.}$ – вектор швидкості периферії абразивного круга, м/с; рекомендована швидкість абразивного круга – 35 м/с.

Для забезпечення поздовжнього напрямку оброблювальних рисок напрямком обертання абразивного круга на вигляді зверху і оброблюваного циліндра (деталі) на вигляді зліва (в торець) має бути однаковим, тобто обидва за годинниковою стрілкою або обидва проти годинникової стрілки.

Приклад конкретного виконання.

При зазначених швидкостях абразивного круга 35 м/с і оброблюваного циліндра 10 м/с кут нахилу осі абразивного круга відносно осі циліндра, що забезпечує поздовжню орієнтацію оброблювальних рисок, складає:

$$\alpha = \arccos\left(\frac{10}{35}\right) = 75^\circ.$$

З іншого боку, при обробці шліфувальною головкою з іншим кутом нахилу, наприклад, при використанні шліфувального пристрою з кутом нахилу осі обертання шпинделя, рівним 60° , і частотою обертання шпинделя 2800 об./хв, що відповідає швидкості 35 м/с, необхідно для суміщення напрямку оброблювальних рисок з утворюючою циліндра визначити відповідно до запропонованої залежності (1) частоту обертання оброблюваного циліндра.

Після підстановки в формулу (1):

$$60^\circ = \arccos\left(\frac{V_{цил}}{35}\right),$$

отримаємо

$$\cos 60^\circ = \frac{1}{2} = \frac{V_{цил}}{35};$$

звідки

$$V_{цил} = \frac{35}{2} = 17,5 \text{ м / с}.$$

Наведений приклад показує, що при збереженні напрямку оброблювальних рисок уздовж осі циліндра зі зменшенням кута нахилу осі абразивного круга відносно осі циліндра швидкість обертання деталі (циліндра) збільшується, отже, збільшується і продуктивність обробки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Анділахай В. О. Підвищення ефективності шліфування наплавлених контактних поверхонь великогабаритних деталей металургійного призначення: автореф. дис. ... канд. техн. наук за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування / В. О. Анділахай. – Маріуполь: ДВНЗ “Приазовський державний технічний університет”, 2011. – 21 с.
2. Анділахай А. А. Высокоэффективные технологии абразивной обработки деталей затопленными струями // Современные технологии и техническое перевооружение предприятий : монография / Ф. В. Новиков, В. А. Жовтобрюх, А. А. Анділахай, Д. Ф. Новиков, В. И. Полянский. – Днепр : ЛИРА, 2018. – 400 с.; С. 182–266.

КРУТИЛЬНІ КОЛИВАННЯ СИЛОВИХ ПЕРЕДАЧ З КАРДАННИМ ВАЛОМ

Питання підвищення надійності, довговічності, зниження рівня вібрацій елементів і вузлів, новостворюваних пристроїв на стадіях їх проектування і доведення, як за рахунок конструкторських рішень, спрямованих на зниження динамічних навантажень, так і за рахунок розробки уточнених методик численних експериментів, були і залишаються одними з найважливіших. Карданна передача є одним з найбільш відповідальних агрегатів, і досі по довговічності поступається головній передачі, коробці передач і іншим агрегатам. З огляду на той факт, що карданна передача є одним з джерел підвищеної вібрації елементів і вузлів силових передач транспортних засобів, а також її досить високу вартість виготовлення, слід визнати, що задача розрахунку крутильних коливань силових передач з карданним валом є актуальною.

Точні рівняння руху системи з карданної передачею виявляються занадто складними для аналітичного дослідження, тому в ряді робіт використовуються наступні спрощення: карданна передача представляється у вигляді двомасової моделі, не враховуються моменти інерції карданних валів, лінеарізуються кінематичні рівняння зв'язків для карданних шарнірів. У ряді робіт при оцінці додаткових динамічних зусиль, викликаних нерівномірністю обертання карданного валу, використовуються лише кінематичні співвідношення. В роботі [1] були отримані точні і наближені рівняння руху системи з карданним валом і обрана модель, розрахунки по якій вимагають найменшого часу, а результати досить близькі до точних. За допомогою цієї математичної моделі можна розраховувати довільні ланцюгові моделі силових передач транспортних машин, які не містять, крім карданного валу, інших нелінійних елементів. Перевага наближеною математичної моделі полягає в значно меншому (приблизно в 60 разів) обсязі обчислень в порівнянні з точною моделлю, тому вона може бути використана для розрахунку силових передач з багатьма ступенями свободи.

На рис. 1 представлена механічна модель силової передачі землерийної гусеничної машини.

Моменти інерції вилок карданного валу $I' = 0,06 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, кут зламу $\gamma = 16^\circ$, середній момент, що передається карданним валом, $M = 3,12 \cdot 10^3 \text{ Н}\cdot\text{м}$; маса 19 включає редуктор з передавальним відношенням $k = 1,42$, маси 1-6 представляють наведені циліндрові маси двигуна.

Розрахунок даної силової передачі проводився з метою оцінки рівня виявлених в системі високочастотних крутильних коливань і вироблення рекомендацій щодо зниження динамічних навантажень. Експериментальне дослідження силової передачі проводилося в умовах експлуатації машини. Пружні моме-

нти в окремих з'єднаннях записувалися в діапазоні робочих оборотів при кутовій швидкості вала двигуна $\omega \in (190; 213)$ рад/с. Результати експериментів показали, що у всьому частотному діапазоні рівень крутильних коливань в значній мірі визначається нерівномірністю обертання карданного валу.

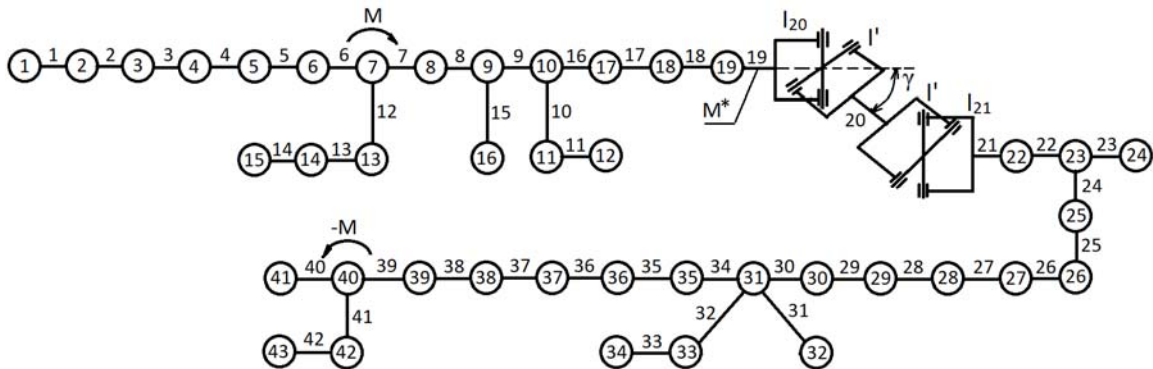


Рисунок 1 – Модель силової передачі землерийної гусеничної машини

На рис. 2 зображені розрахункова крива для амплітуди моменту M_{17} та її значення, що отримані експериментально.

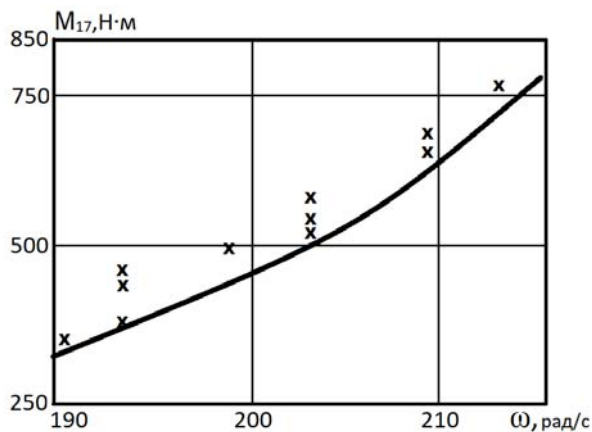


Рисунок 2 – Розрахункові і експериментальні значення пружного моменту

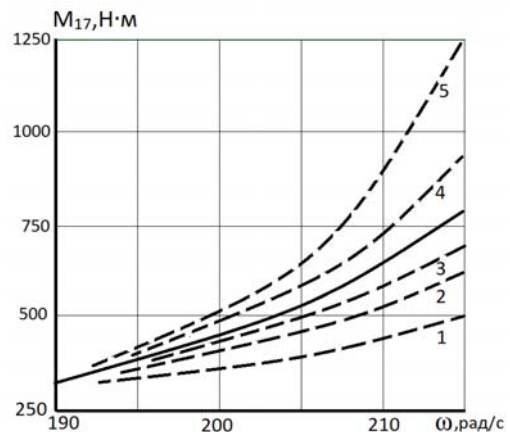


Рисунок 3 – Зміна жорсткості карданного валу

Як видно з рис. 2, розглянутий частотний діапазон лежить у дорезонансній зоні. Тому одним із шляхів зниження динамічної завантаженості, є зміна параметрів, що впливають на розташування резонансних зон системи. Дослідження функцій чутливості системи, виконане за методикою роботи [2], показало, що параметром, що впливає на розташування резонансної зони, найближчої до розглянутого частотного діапазону, є жорсткість карданного валу C_{20} . Результати розрахунків моменту M_{17} при різних конструктивно допустимих значеннях C_{20} наведені на рис. 3.

На рис. 3 суцільною лінією показана розрахункова крива для вихідної системи, пунктиром – розрахункові криві, відповідні системі зі зміненими параметрами. Крива 1 відповідає $C_{20}=2 \cdot 10^5$ Н·м; 2 – $C_{20}=1,25 \cdot 10^5$ Н·м; 3 – $C_{20}=1,1 \cdot 10^5$ Н·м; 4 – $C_{20}=9 \cdot 10^4$ Н·м; 5 – $C_{20}=8 \cdot 10^4$ Н·м.

Варіація кута зламу осей з'єднувальних валів, істотно змінює величину пружного моменту (рис. 4, крива 1 – $\gamma=4^\circ$, 2 – $\gamma=8^\circ$, 3 – $\gamma=12^\circ$).

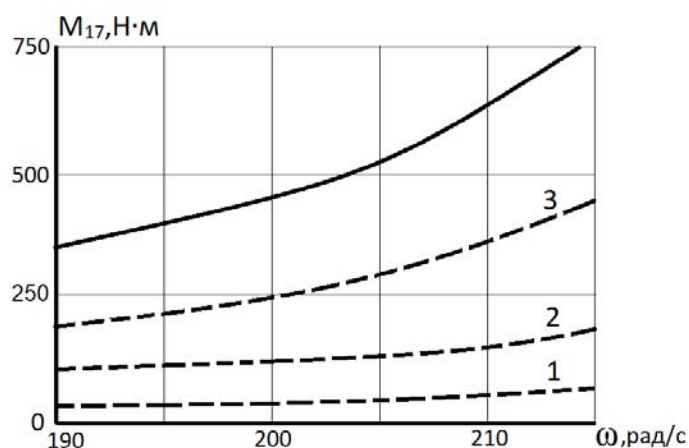


Рисунок 4 – Зміна кута зламу γ

З проведених розрахунково-експериментальних досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Основну роль у формуванні високочастотних коливань силової передачі грає параметричне збудження, пов'язане з нерівномірністю обертання карданного валу.

2. Знизити рівень крутильних коливань силової передачі можливо без введення в систему спеціальних пристроїв. Ефективним засобом зменшення динамічних навантажень є варіювання жорсткості карданного валу, яка є параметром, що впливає на розташування резонансної зони системи: збільшення C_{20} на 25% призводить до зниження максимальних динамічних навантажень найбільш навантажених елементів системи в робочому діапазоні оборотів двигуна на 21%, а збільшення C_{20} в два рази дозволяє знизити навантаження на 43%. Зниження динамічних навантажень можливо і за рахунок зменшення моментів інерції вилок карданного валу. Так зменшення I' на 17% дозволяє знизити навантаження на 19%.

3. Найбільш ефективним заходом щодо усунення небезпечних динамічних явищ слід визнати зменшення кута зламу осей з'єднувальних валів: зменшення кута γ з 16° до 12° веде до зниження динамічних навантажень на 44%, а при $\gamma = 8^\circ$ навантаження зменшуються в чотири рази.

ЛІТЕРАТУРА

1. Карабан В. Н. Крутильные колебания силовых передач с карданным валом / В. Н. Карабан, А. С. Беломытцев // Известия вузов. Машиностроение. – 1986. – № 2. – С. 98–102.
2. Андреев Ю. М. Синтез нелинейных вибрационных систем по скелетным кривым с использованием теории чувствительности / Ю. М. Андреев, Л. И. Штейнвольф // Динамика и прочность машин. – Харьков, 1984. – № 40. – С. 50-56.

АНАЛІЗ ВИМОГ МІЖНАРОДНИХ НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТІВ З МЕТОЮ СТВОРЕННЯ СТРАТЕГІЇ БЕЗПЕРЕРВНОСТІ ВІТЧИЗНЯНОГО ЗВАРЮВАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЙОГО ДІЄЗДАТНОСТІ І КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ

Перелік стандартів ISO періодично переглядається, враховуючи зміни й нові знання в тій або іншій галузі зварювального виробництва, для вдосконалення та компетентності. Настала черга стандарту ISO 31000 «Керування ризиками. Керівні вказівки» - його нову версію опублікувала Міжнародна організація стандартизації в лютому 2018 р.

Ризик є завжди, але очевидно, що прийняття рішень щодо його мінімізації та усунення в зварювальному виробництві потребує структурованого і системного підходу. Керівникам вищої, середньої та лінійної ланок належить постійно аналізувати ризики, пов'язані з небезпеками, які виникають у дуже складних ситуаціях на зварювальному виробництві. Керування ризиками є обов'язковою частиною управлінського процесу, тому що воно має фундаментальне значення для управління підприємством на всіх рівнях і в усіх сферах: якості робіт, екології, безпеки праці, енергозбереження та інших відповідно до стандартів ISO.

Стандарт ISO 31000 допомагає підприємствам при виготовленні зварних конструкцій запроваджувати та використовувати принципи, структуру та процес керування ризиками для поліпшення планування і прийняття більш результативних та ефективних рішень. Основні зміни (у порівнянні з версією 2009 року) у стандарті ISO 31000 редакції 2018 року:

1. Проаналізовано принципи керування ризиками, які є найголовнішими критеріями результативності та ефективності зварювального виробництва;

2. Увагу зосереджено на лідерстві керівників вищої ланки, які мають забезпечити інтеграцію менеджменту ризиків, поширити її на всі організаційні процеси та заходи, починаючи з керування підприємством при виготовленні зварних конструкцій;

3. Більше уваги приділено багаторазовій повторюваності в природі менеджменту ризиків;

4. Більше уваги приділено застосуванню нового досвіду, знань та аналізу під час перегляду елементів процесу, дій і контролю на кожному етапі процесу виготовлення зварних конструкцій;

5. Впорядковано зміст з фокусуванням на збереженні підтримки моделі відкритих систем, які регулярно взаємодіють із зовнішнім середовищем для задоволення мінливих потреб замовників зварних конструкцій.

Джейсон Браун (Jason Brow), який є головою технічного комітету ISO/TC 262 «Менеджмент ризику» та супроводжує розробку стандартів ISO з

керування ризиком, заявляє: «У переглянутій версії ISO 31000 основну увагу приділено інтеграції в організацію, а також ролі лідерів і сфері їхньої відповідальності. Діяльності фахівців з керування ризиками часто приділяють недостатньо уваги в системі організаційного управління. Цей акцент допомагає продемонструвати, що керування ризиками є невід'ємною частиною бізнесу».

Аналіз показав, що основною для створення і експлуатації підприємств для різних сфер сертифікації є Європейські норми серії ISO EN 17000 (рис.1).

EN 17065 – Загальні критерії для органів, які сертифікують продукцію
ISO 17021 – Загальні критерії для органів, які сертифікують системи якісного менеджменту
ISO 17024 – Загальні критерії для органів, які сертифікують персонал зварювання, НК і ТД
ISO 17020 – Загальні критерії для органів, які сертифікують інспекторів

Рисунок 1 – Європейські норми по загальним вимогам до відділів сертифікації для підприємств

В цих нормах (НД) встановлено мінімальні вимоги, які одночасно є також основою для акредитації.

В умовах високої конкуренції підприємства зварювального виробництва сучасного ринку, що випускають продукцію й надають технічні послуги, якість і безпека має першорядне значення. У зв'язку із цим значні зміни перетерпіли вимоги до діяльності різних контролюючих органів, що здійснюють інспекцію з метою підтвердження якості продукції, що випускається, або надання технічних послуг. Стратегічний напрямок розвитку сучасного менеджменту для організацій контролюючого профілю представлено впровадженням систем менеджменту якості, побудовано відповідно до вимог міжнародного стандарту ISO 9001:2015 і ISO/IEC 17020. Стандарти визначають вимоги до органів інспекційного контролю.

У стандарті ISO/IEC 17020 контроль розглядається як сукупність послідовних операцій: візуальний огляд фізичного об'єкта; його вимір або випробування; вивчення специфікацій, документів, таких як проектні креслення; порівняння результатів з вимогами нормативних документів або із загальноприйнятою практикою в цій сфері; складання звіту про результати перевірки. Контроль також охоплює дуже широкий спектр характеристик, що зазнають перевірки: контроль різноманітних конструкцій, операційних систем, прийнятності проектів. Контролем також можуть бути також охоплені рейтингові системи, використовувані для класифікації при наданні послуг з виготовлення та ремонту зварних конструкцій (ДСТУ EN 13068-2:2008).

В Україні іноді спостерігається безсистемні, непереконлива діяльність органів, що інспектують, викликає недовіру до їхньої методології підтвердження відповідності, що вказує на актуальність досліджуваної теми.

Проаналізовано особливості практичного застосування міжнародного стандарту до ISO/IEC 17020 у діяльності органів, що інспектують, при викорис-

танні методу інспектування зварювального виробництва. Використано методи досліджень: системний підхід з використанням теоретичних методів: аналізу, синтезу, порівняння, узагальнення.

В економічному полі держави контроль і якість, безпека продукції й послуг забезпечується взаємодією двох гармонійно взаємодіючі систем – системи стандартизації й системи оцінки відповідності. При цьому перша встановлює норму, а друга покликано забезпечити вірогідність даних про її досягнення.

Оцінка відповідності встановленим вимогам припускає проведення процедури контролю, яка здійснюється органами, що інспектують, часто називають контролюючими. Ці органи використовуються як уповноважені для виконання регламентованих схем підтвердження відповідності при обов'язковій оцінці безпеки продукції або послуг методом прямої оцінки, на відміну від сертифікації по ІСО/МЭК 65, що є непрямой (комбінованої). Для уніфікації термінології під словом «продукція» розуміють проектування продукції, послугу, технологічний процес і виробництво. Під «контролем» – дослідження проекту продукції, продукції, послуги, технологічного процесу або встаткування: визначення їх відповідності конкретним вимогам НД або, на підставі професійної оцінки, загальним вимогам. Контроль процесів включає наявність таких складових: персонал, технічні засоби, технологію й методологію.

В умовах високої конкуренції сучасного ринку якість продукції, що випускається і послуг, що надаються має першорядне значення. У зв'язку з цим значних змін в останній час зазнали вимоги до діяльності різних контролюючих органів, які здійснюють інспекцію з метою підтвердження якості продукції, що випускається або послуг, що надаються.

Стратегічний напрямок розвитку сучасного менеджменту для організацій контролюючого профілю представлено впровадженням систем менеджменту якості, побудованих відповідно до вимог міжнародного стандарту ISO 9001:2015 і ISO / ІЕС 17020, що визначає вимоги до органів інспекційного контролю.

У спробах зберегти ресурси на підприємстві стикаються з безліччю практичних перешкод, які активно не дають персоналу вибрати найкращі елементи конструкції. До перешкод відносяться:

1. Традиційна освіта майже всіх, хто має справу з природними ресурсами, і часто непереборні витрати на заміну звичайного персоналу тими, хто знає більше. Цей «людський фактор» може дійсно виявитися найсерйознішою перешкодою і скласти більшу частину того, що економісти називають «операційними витратами», тобто затратами на подолання інерції і зміну звичного становища з компетенцією;

2. Витрати, пов'язані з величезною зацікавленістю деяких власників капіталу і підприємств в збереженні існуючих систем, а також інерція споживачів, які можуть просто не знати про ту ресурсоефективність, яку варто було б вимагати від виробника;

3. Дискримінаційні фінансові критерії, які часто ставлять перед ефективністю набагато вищий бар'єр, ніж перед виробництвом ресурсів (наприклад, ве-

льми поширена вимога, згідно з якою енергозберігаючий захід має окупити інвестиції за рік або два, тоді як електростанціям дається на це 10 - 20 років) ;

4. Різниця стимулів у персоналу, яка могла б купити ефективність, і у того, хто потім скористався б її плодами (наприклад, власники будівель і орендарі цехів або будівельники будівель і устаткування і їх покупці);

5. Ціни, які недостатньо або невірно відображають фактичні витрати для ринку, не кажучи вже про витрати на охорону навколишнього середовища і витратах для майбутніх поколінь спеціалістів (ДСТУ ISO 15012-2:2009);

6. Велика легкість і зручність в організації та фінансуванні одного великого проекту замість безлічі дрібних;

7. Застарілі правила, які заважають впровадженню ефективності або ставлять її поза законом - від заборони водіям замовних вантажних авто підвозити що-небудь на зворотному шляху до дозволу вантажівкам виробників перевозити тільки свої власні конструкції, обмеження площі вікон в цехах навіть тоді, коли їх збільшена площа економить енергію, пільгових тарифів на перевезення, що дають сировинним матеріалам переваги перед матеріалами конструкцій, повернутими в оборот.

8. Загальна практика регулювання діяльності комунальних служб постачання електроенергією, газом, водою і т.д., коли вони заохочуються за збільшення споживання, а іноді навіть штрафуються за підвищення ефективності використання ресурсів (гідний жалю побічний ефект реструктуризації заводської енергетичної системи).

Бондаренко Ю. Ю., Андриенко В. А., Бондаренко М. А.

Черкасский государственный технологический университет, г. Черкассы, Украина

ОСОБЕННОСТИ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫМ ДИСЦИПЛИНАМ В ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ

Накопленный международный опыт свидетельствует о высокой эффективности использования дистанционных форм учебного процесса при изучении гуманитарных дисциплин. Сложнее складывается ситуация с дистанционным обучением студентов физике, электротехнике, электронике и другим естественнонаучным и техническим дисциплинам, которые тесно связаны с использованием реального научно-технического оборудования.

Специфика инженерного образования такова, что чтение литературы, выполнение письменных работ и даже использование компьютерных учебных пособий являются недостаточными для формирования необходимых специалисту знаний. По этой причине учебный процесс в технических ВУЗах при дистанционном обучении имеет комбинированный характер.

Что же касается новаций в организации учебного процесса, то они связаны, прежде всего, с использованием информационно-коммуникационных тех-

нологий (ИКТ) и допускают четко спланированную работу студентов с локальными и сетевыми цифровыми образовательными ресурсами.

Цель данной работы – на основе обобщения существующего опыта, предложить концепцию становления и развития системы дистанционного обучения инженерным дисциплинам на примере внедрения такой системы в Черкасском государственном технологическом университете (ЧГТУ).

Задания, которые решаются в работе:

1. Исследование основных свойств и характеристик платформ разработки и поддержки курсов дистанционного обучения.
2. Анализ модельного подхода к дистанционному обучению инженерной дисциплине.

На сегодняшний день существует множество разнообразных платформ для разработки и поддержки курсов дистанционного обучения [1-4]. Основой системы дистанционного обучения в ЧГТУ является оболочка MOODLE (<http://moodle.org>) – открытая, бесплатная, сертифицированная и регулярно обновляемая разработка, предоставляющая широкие возможности для организации учебного процесса. Так, например, для слушателя обеспечивается:

- использование для сайта дистанционного обучения внутренних и внешних информационных ресурсов (текстово-графических и программных);
- участие в online- и offline-семинарах и консультациях (средствами телеконференций, текстовых и мультимедийных чатов, форумов и т.п.);
- участие в опросах, получение индивидуальных заданий и отправление результатов их выполнения преподавателю, обратная связь (получение результатов проверки заданий и рекомендаций);
- прохождение тематических и заключительных тестов;
- доступ к сопровождающей курс информации (программам, списку вопросов к экзамену, правилам работы в системе, методическим рекомендациям, электронной доске объявлений и т.д).

Оболочка дистанционного образования предоставляет пользователям статистику работы как отдельных студентов, так и учебных групп, обеспечивая тьюторов и сотрудников деканата как интегрированной информацией, так и данными об уровне обученности каждого студента.

Непосредственно система дистанционного обучения MOODLE не приспособлена к высокоинтерактивным режимам учебной деятельности студента и к работе с интерактивными моделями, интерактивными заданиями и тренажерами, однако она может служить средством доставки на локальные компьютеры соответствующих учебных модулей. В качестве среды разработки этих модулей по курсу инженерных дисциплин выступает инструментальная система визуального проектирования и математического моделирования. Этим обеспечивается, в частности, выполнение студентами виртуальных лабораторных работ и прохождения практикума по решению заданий.

Интерактивные задания и тренажеры, представленные на сайте дистанционного обучения ЧГТУ, обеспечивают практикум по решению заданий, предусматривают всевозможные перемещения и трансформации объектов, содержат

инструментарий для разного рода построений, в том числе графиков, картин векторов, а также включают серьезные экспертные системы для диагностики и оценки действий пользователя. Это позволяет ставить не только относительно простые задания на установление соответствия между текстовыми (графическими) объектами и на составление фраз (определений, формулировок законов) из предложенных фрагментов, но и более сложные – на проведение геометрических построений, аналитических превращений и т.п.

Например, появляется возможность строить картины действующих на тела сил (как на качественном – "какие силы и как они направлены", так и на количественном – "каковы значения этих сил" – уровнях), записывать уравнение движения в векторной форме и в форме проекций для некоторой заданной или выбранной пользователем системы координат, строить графики зависимости характеристик, изображать распределения физических (механических, электрических, магнитных полей, – например, расчет их на основе принципа суперпозиции) и так далее.

Благодаря использованию в интерактивных заданиях модельного подхода (ядро задания – математическая модель процесса, явления) удастся достичь многовариантности. Задания, в целях обеспечения их разнообразия и содержательности, оказываются многовариантными за счет случайных факторов: загадка неизвестно, решается прямое или обратное задание, сколько в системе тел, как они расположены, каковы их характеристики, в какой системе координат предлагается записать уравнение, как направлены внешние силы и поля и так далее. Наконец, может быть поставлено задание исследования того или иного эффекта на управляемой модели (типа лабораторного стенда) с дальнейшим представлением результата экспертной системе в виде числа, графика, фразы и т.п.

Таким образом, модельный подход дает новое качество дистанционного обучения, обеспечивает эффективное формирование профессиональных компетенций.

Подготовка студентов к работе на лабораторных и практических занятиях имеет также обучающий сценарий "Обработка результатов измерений", который содержит теоретический материал (цель измерений и смысл результатов эксперимента, информацию о распределениях Гаусса и Стюдента, порядок обработки результатов и так далее), тренажеры по использованию основных измерительных приборов, правила округления и записи результатов эксперимента.

Вопросам технологий разработки и методик реализации контента дистанционных курсов посвящено значительное число публикаций, например [5-6]. При этом дискуссии об эффективности ИКТ при обучении техническим наукам (хотя правильнее говорить об условиях их эффективного использования) является вопросом многих научно-методических дискуссий.

Для обеспечения достойного качества имитации лабораторного эксперимента модель должна генерировать (выбирать из массивов реальных данных) различные наборы параметров, характеризующие условия проведения эксперимента, и, соответственно, наборы значений "измеряемых" величин (с включе-

нием, при необходимости, "шума", имитирующего экспериментальную погрешность), а также должна иметь высокую меру интерактивности, которая обеспечит адекватные реакции системы на действия пользователя.

Компьютерный учебный модуль, сопровождающий работу реального лабораторного практикума содержит, кроме собственной интерактивной модели установки, ряд блоков (интерактивного выведения рабочих формул, уравнений; проектирование экспериментальной установки и проверки усвоения методики измерений; решение заданий, тематически связанных с содержанием работы и методом измерений, а также итогового контроля). Практика показывает, что использование интерактивных заданий по теме работы (по принципу "не понял эксперимент – не смог решить задания") существенно усиливает обучающее действие учебного модуля.

Все перечисленные блоки модуля ориентированы на подготовку к выполнению реального эксперимента, благодаря чему планируется сэкономить время на аудиторных занятиях.

Таким образом, дистанционная форма обучения инженерным дисциплинам в техническом университете на современном этапе своего развития имеет как преимущества, так и недостатки. Препятствием к полному внедрению выше упомянутой формы обучения, в частности в Украине, является недостаточное материально-техническое обеспечение. В то же время, опыт западной системы образования доказывает, что внедрение дистанционного образования в нашей стране является процессом неотвратимым.

ЛИТЕРАТУРА

1. Средства дистанционного обучения. Методика, технология, инструментарий. Серия "Мастер решений" / С. В. Агапонов и др. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 336 с.
2. Солдаткин В. И. Преподавание в сети Интернет: Учеб. пособие / В. И. Солдаткин и др. – М.: Высшая школа, 2003. – 792 с.
3. Интернет обучение: технологии педагогического дизайна / Под ред. М. В. Моисеевой. – М.: Издательский дом "Камерон", 2004. – 216 с.
4. Thach E.C Competencies for distance education professionals / E. C. Thach, K. L. Murphy // Educational Technology Research & Development. – Vol. 43, No.1. – 1995. – P.57-79.
5. Методологические аспекты проведения нанометрических исследований в дистанционной системе образования / Ю. Ю. Бондаренко, В. А. Андриенко, М. А. Бондаренко [и др.] // Методологические аспекты сканирующей зондовой микроскопии: матер. докл. X междунар. конф., 13-16 ноября 2012 г. – Минск: Институт тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2012. – С. 115-120.
6. Прибылов Н. Н. Лабораторный практикум по физике для дистанционного обучения / Н. Н. Прибылов, Е. И. Прибылова, С. А. Прицепова // Физическое образование в вузах. – Т.9, №2. – 2003. – С.108-112.

НАНОТЕХНОЛОГІЇ У ВИРОБНИЦТВІ ВУГЛЕЦЕВОВМІСНИХ ВОГНЕТРИВІВ

Розвиток металургійної галузі призвів до зростання вимог щодо випуску високоякісних вогнетривких матеріалів, які експлуатуються в жорстких умовах. До таких матеріалів відносяться вуглецевовмісні вогнетриви, які мають високу експлуатаційну надійність. В Україні випускається недостатня кількість таких вогнетривів, що пов'язано, в першу чергу, з відсутністю власної сировини, що закуповується за кордоном.

При виробництві вуглецевовмісних вогнетривів зв'язка є одним з основних компонентів, яка визначає надійність, термічну стійкість, метало- та шлакостійкість. При підборі зв'язуючого враховують дві головні його функції: утворення міцного коксового залишку під час термообробки, а також надання масі, що формують, достатньої пластичності. Кам'яновугільні пеки при термообробці виділяють канцерогенні сполуки: фенол, бензапирен, аміак та інші, норми викидів яких в навколишнє середовище різко обмежені. Високі вимоги до охорони навколишнього середовища призвели до використання в якості зв'язок синтетичних смол, що містять менше зазначених шкідливих речовин і в той же час не поступаються за властивостями пеку. Зниження концентрації шкідливих викидів досягають застосуванням синтетичних малофенольних смол. Фенолформальдегідні смоли мають високу ступінь полімеризації, утворюють тривимірну структуру вуглецевого каркаса, забезпечуючи тим самим високу термостійкість і більший вихід коксового залишку. Їх можна використовувати в твердому і рідкому вигляді. Отже, в основі новітніх розробок лежать зв'язки з термореактивних смол в поєднанні з термообробкою з метою видалення залишкового фенолу і полімеризації смоли, що гарантує різке зниження канцерогенних речовин в процесі служби та забезпечення вуглецевовмісним виробам достатніх фізико-механічних характеристик.

Для захисту вуглецю від окиснення до складу вуглецевовмісних матеріалів вводять антиоксиданти: метали, карбіди, бориди та інші. Антиоксиданти не тільки перешкоджають окисненню графіту, але і мають позитивний вплив на багато властивостей вогнетривів: окиснювальні, термомеханічні, корозійні, фазовий склад матеріалу та інші. Серед добавок – антиоксидантів, які використовують для захисту вуглецевовмісних інгредієнтів від окиснення, найкращими є метали, їх сплави з високою спорідненістю до кисню. Добавки уповільнюють окиснення вуглецевого компонента, так як самі окиснюються раніше і осідають в порах вогнетривкого матеріалу, знижуючи ступінь проникнення кисню всередину матеріалу. Наявність антиоксидантів підвищує термін служби вогнетривів. Застосування того чи іншого антиоксиданту обумовлюється ділянкою футеров-

ки, де використовуються вогнетривкі матеріали. Однак єдиної думки про ефективність того чи іншого антиоксиданту у дослідників не склалося. Отже, підбір антиоксиданту і термодинамічна оцінка його дії є питанням затребуваним.

Все частіше у виробництві вогнетривів використовують нанотехнології, що на сучасному етапі виробництва вуглецевовмісних матеріалів є затребуваним і може дати непередбачений позитивний результат. Присутність нанорозмірних елементів структури забезпечує можливість отримання більш високого рівня властивостей. Навіть незначна модифікуюча добавка наноматеріала істотно впливає на властивості кінцевого продукту. Вуглецеві нановолокна відрізняються високим ступенем графітизації і великою питомою поверхнею. Ставки робляться на вуглецеві нановолокна, вуглецеві нанотрубки та інші наноматеріали.

Одним з відомих способів підвищення термостійкості виробів є метод армування вогнетривких виробів волокнистими матеріалами. Такі включення, з одного боку, є «корисними» дефектами, які загальмовують і навіть зупиняють поширення тріщин, а з іншого боку, вони мають підвищену міцність порівняно з матричним матеріалом, зберігають міцність матеріалу, запобігаючи катастрофічному руйнуванню виробів.

Вуглецевовмісні вироби мають комплекс цінних властивостей, таких, як термостійкість, висока корозійна стійкість, механічна міцність. Дослідження щодо зниження енерговитрат при збереженні високих експлуатаційних характеристик вуглецевовмісних вогнетривів під час використання різних видів сировини та шляхом зміцнення вуглецевої зв'язки нанорозмірними новоутвореннями становлять значний не тільки практичний, але і науковий інтерес.

Бурлаков В. И.

ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет»,
г. Мариуполь, Україна

ПРОЦЕС ВІБРОМАГНІТНОАБРАЗИВНОЇ ОБРОБКИ ТА ЙОГО ЗАЛЕЖНІСТЬ ВІД ДЕЯКИХ ПАРАМЕТРІВ

Задача підвищення якості та продуктивності обробки надтвердої кераміки є дуже актуальною, тому, що надтверда кераміка є складовою прогресивного різального інструменту, а якість виробів залежить від якості різального інструменту. Вирішити таку проблему можна за допомогою об'єднання вібраційної та магнітної обробки.

Суть обробки полягає в тому, що на оброблювальне середовище і заготовки, поміщені в робочу камеру вібраційного верстата, впливає постійне магнітне поле, спрямоване перпендикулярно площини циркуляційного руху робочого середовища (рис. 1). Робоче середовище переміщується під дією вібрації, а оброблювальний ферромагнітний абразив, гранули Al_2O_3 і штучні алмази орієнтуються уздовж магнітних силових ліній. Магнітні силові лінії проходять через робочу

камеру у напрямі від одного полюса до іншого. Заготовки не співударяються при обробці завдяки щільному розташуванню абразиву. Відстань між внутрішніми площинами протилежних стінок робочої камери в напрямі від електромагніту дозволяє обробляти деталі більш великої конфігурації ніж ріжучи пластина інструменту, але таке завдання не ставилося в процесі дослідження. Заготовки, поміщені в простір робочої камери, займають вільне положення.

Заготівки переміщуються вздовж власної осі і за рахунок енергії вібраційної сили, що сприяє рівномірному зніманню металу, в напрямі перпендикулярному силовим лініям магнітного поля із швидкістю рівної швидкості дії на них вібрації. Це забезпечує рівномірне знімання металу, оскільки деталі переміщуються послідовно по усіх зонах робочої камери з різною інтенсивністю обробки. Електромагніти постійні і поле, викликане ними, не дає розпастися силовим лініям, отже, "інструмент" залишається постійно орієнтований в просторі. Переміщення ж заготовок уздовж ліній здійснює обробку у вигляді притирання.

На процес ВіМАО впливають декілька факторів і деякі з них хотілося б розглянути в цій статті. Порція магнітно- абразивного порошку при включеному магнітному полі утримується магнітними силами обумовленими величиною магнітного поля в робочому просторі. Зразки виявляються притиснутими до абразивного матеріалу та при русі заготівки вгору чи вниз здійснюється обробка надтвердої кераміки. При цьому видаляється припуск і формується поверхня з новим мікрорельєфом. Сили тертя між зернами і поверхнею полюса допомагають магнітному полю утримувати порошок усередині робочого зазору. Не зв'язані між собою зерна порошку переміщуються усередині робочої камери.

На кожна поверхня зразку, що оброблюється, знаходиться у контакті з зерном, діють сили різання P_z (якщо зерно упровадилося в поверхню і здійснює мікрорізання або притирається до поверхні зразка) та сили тертя. Ці сили прагнуть захопити контактуюче зерно разом з поверхнею, що рухається, і повернути його щодо власного центру інерції. Руху зерен разом з поверхнею заготівки і їх поворотам перешкоджають навколишні зерна, які під дією сил магнітного поля ущільнюються и створюють стовпчики з феромагнітного порошку та доданих до них штучних алмазів.

Безперервний вступ до роботи нових ріжучих кромок із-за переміщень зерен усередині робочих камер, їх поворотів і переходів з однієї площини на іншу в порошкової масі ні на мить не припиняє обробку. Поза сумнівом, в процесі обробці відбувається поступове руйнування зерен шляхом відривання з м'якшої феромагнітної основи зерна (матриці) вкраплених в неї ріжучих центрів або шляхом стирання матриці. При цьому теж виходить оголення нових ріжучих кромок.

Попередні дослідження показали, що при обробці таким порошком як Феромап 630/400 мкм, Феромап 400/315 мкм, Феромап 315/200 мкм, Феромап 200/100 мкм була отримана найкраща якість поверхні ніж від вистосування порошоків типу ДЧК 630/400 мкм, ДЧК 630/400 мкм, порошки округлої форми, такі як Полімам-М 400/315 мкм та ПР Р6М5 300/250 мкм. Тому для досліджень були прийняті саме порошки типу Феромап різної дисперсності.

Одна з відомих схем магнітно-абразивного оброблення має такий смисл - магнітне поле формує з порошкової феромагнітної абразивної маси різальний інструмент з керованою жорсткістю и створює сили різання.

Отже, якщо магнітне поле управляє жорсткістю порошку (інструменту), то на обробку поле матиме безпосередній вплив. Але не тільки за жорсткість відповідає магнітне поле. Воно впливає також і на силу з якою заготівка буде прижиматися стовпчиків абразиву (інструменту). З цього випливає залежність сили прижиму заготівки до інструменту від напруженості магнітного поля.

Аналізуючи залежність приходимо до висновку, що найбільша допустима величина сили прижиму – 175 Н/м^2 яка буде відповідати напруженості магнітного поля у 1,2 Тл. При якій і здійснювалася найбільш продуктивна та якісна обробка. Таким чином поєднання вібраційної сили та магнітного впливу на інструмент призводить до появи нового виду обробки. Вібромагнітноабразивна обробка (ВіМАО) дозволяє оброблювати надтверду кераміку з поліпшеною продуктивністю. Сила прижиму зразка від якої залежить знімання матеріалу залежить від величини магнітного поля і становить 1,2Тл.

Бурыкин В. В.

Институт сверхтвердых материалов имени В. Н. Бакуля НАН Украины,
г. Киев, Украина

ПОВЫШЕНИЕ ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ ВОССТАНОВЛЕННЫХ НАПЛАВКОЙ

Наплавка прокатных валков для их ремонта в настоящее время широко применяется, практически на всех металлургических предприятиях. Современные методы механизированной наплавки позволяют получить валок с достаточно вязкой и прочной сердцевиной, хорошо сопротивляющейся поломкам и износостойкой поверхностью. Наиболее эффективным методом повышения стойкости стальных валков горячей прокатки является дуговая наплавка под флюсом сплошной или порошковой проволокой, холоднокатаной или электродной лентой. В большинстве случаев, для износостойкой электродуговой наплавки применяют проволоку марок: Нп-30ХГСА, ПП-3Х2В8, ПП-25Х5ФМС, ПП-АН147 и др. В меньших количествах используют также ленты марок Нл-65Г, 18Х6МФС и др. Электрошлаковая наплавка дробью является наиболее перспективным методом восстановления и упрочнения чугуновых валков.

Для наплавки валков созданы вальцenaплавочные станки, которые обеспечивают качественную наплавку валков с различной формой рабочей поверхности, сводя к минимуму припуска на механическую обработку. Повышение надежности и долговечности металлургических машин и агрегатов требует использования технологий упрочнения, обеспечивающих не только высокую износостойкость рабочей поверхности, но и необходимую сопротивляемость зарождению и развитию трещин механическую обработку.

Процесс разрушения деталей машин начинается с образования на их поверхностях микроскопических трещин. Роль таких микротрещин могут выполнять неровности обработанной поверхности. Для сохранения работоспособности восстановленных наплавкой валков в течение всего срока службы необходимо стремиться к повышению качества их рабочих поверхностей. Для деталей, работающих в условиях знакопеременной нагрузки, наличие растягивающих остаточных напряжений в поверхностных слоях созданных механической обработкой, оказывает отрицательное влияние на их износостойкость.

Процесс механической обработки подразделяется на подготовку вала к наплавке и его обработку после нее. При подготовке вала к восстановлению на вальцетокарном станке с рабочей поверхности удаляют полностью дефектный слой (сетку разгара, трещины и др.).

Значительные трудности финишной механической обработки наплавки, связаны с их высокой твердостью, пористостью, хрупкостью. Наплавленный слой твердостью ($< \text{HRC } 40$) удовлетворительно обрабатывается резцами, оснащенными твердосплавными режущими пластинами. Механическую обработку, во избежание появления трещин в наплавленном металле, следует производить после отпуска вала резцами с напаянной пластинкой твердого сплава марок ВК-8, ВК-6 и ВК-4, с отрицательным передним углом, равным $5\text{--}10^\circ$, в зависимости от твердости восстановленного покрытия. Предпочтительными являются резцы с напайкой ВК-6, обладающие довольно высокой твердостью и достаточной вязкостью, предохраняющей их от выкрашивания. Поскольку на металлургических предприятиях нет единой технологии обработки наплавленных валков, каждый завод применяет свою технологию. На Мариупольском металлургическом комбинате механическая обработка валков, наплавленных порошковой проволокой ПП-3Х2В8 ведется при скорости $0,17\text{--}0,25$ м/с, причем твердые валки предварительно обрабатывают на вальцешлифовальном станке. Более прогрессивная технология обработки валков принята на Днепровском металлургическом комбинате, где валки, наплавленные той же проволокой, обрабатывают резцами с напайкой твердосплавных пластин ВК-6 на высоких скоростях резания, достигающих $0,50\text{--}0,65$ м/с [1]. Для поверхности наплавленного покрытия характерно наличие выступов и впадин в местах перекрытия наплавленных валиков, поэтому в работе [2] деталь в процессе наплавки обрабатывалась торцевой фрезой диаметром 100 мм с восьмью зубьями, оснащенными твердосплавными пластинами Т15К6. Нанесенный металл обрабатывался на глубину $0,5\text{--}0,9$ мм. Фрезерование производилось при скорости 220 м/мин, шероховатость поверхности составляла $Rz = 10\text{--}20$ мкм.

Некоторые наплавки твердостью ($> \text{HRC } 40\text{--}55$), на отдельных операциях практически не поддаются обработке резанием лезвийными инструментами из твердых сплавов. В этих случаях следует искать решение проблемы обрабатываемости в использовании качественно новых инструментальных материалов. Одновременное обеспечение производительности процесса финишной обработки и требуемых параметров состояния поверхностного слоя прокатных валков во многом связано и с применением режущих инструментов, имеющих оптимальную для каждого конкретного случая конструкцию.

В зависимости от высокой твердости наплавленного металла и величины припуска обработку поверхности прокатных валков восстановленных наплавкой выполняют точением или шлифованием. Сначала при пониженных режимах резания проводят черновую обработку, а затем финишную. Учитывая пониженную теплопроводность наплавки и возможность перегрева покрытия, вызывающего изменение его свойств, обработка валков шлифованием затруднена, и может привести к снижению микротвердости покрытия и возникновению шлифовочных трещин не только в покрытии, но и в основном металле, что приводит к скалыванию наплавленного слоя. Шлифовочные трещины особенно опасны, так как они являются концентраторами напряжений и снижают усталостную прочность восстановленных валков, а развитие поверхностных трещин вглубь изделий приводит к непрогнозируемым разрушениям, остановкам металлургических агрегатов, потерям производства, ухудшению экологической обстановки [3]. Поэтому, для таких материалов применяют технологию обработки лезвийными инструментами из поликристаллических сверхтвердых материалов (ПСТМ).

В настоящее время накоплен богатый производственный опыт использования лезвийных инструментов из ПСТМ для финишной обработки деталей с покрытиями. Наиболее широкое применение в промышленности нашли композиты на основе кубического нитрида бора (ПКНБ). Инструменты из ПКНБ делятся на три группы: 1) ВН – с концентрацией КНБ > 70 %; 2) ВЛ – с концентрацией КНБ 40–65 % и 3) ВС – с покрытием. Первая группа ПКНБ предназначена для использования в инструментах для обработки в условиях высоких нагрузок. Вторая группа эффективна в инструментах для окончательной безударной обработки с высокой скоростью резания. Наличие покрытия на режущем инструменте третьей группы повышает его стойкость и производительность механической обработки [4].

Цель работы – повышение эффективности финишной технологии лезвийной обработки прокатных валков восстановленных наплавкой за счет усовершенствования конструкций инструментов с механическим креплением режущих пластин из ПКНБ и обеспечение качества обработанной поверхности.

Учитывая, специфические структуру и свойства наплавки, а также особенности макрогеометрии прокатных валков, особое место при проектировании лезвийного инструмента приобретают его конструктивные мероприятия по креплению режущих пластин из ПКНБ. Если конструкция инструмента с паяным креплением пластин технически неосуществима, то применяют их механическое крепление. Наличие твердосплавной подложки позволяет повысить прочность режущих элементов, уменьшить толщину слоя ПКНБ. Финишная обработка наплавки прокатных валков проводилась при скорости резания 1,5–2,0 м/с: подаче 0,12–0,16 мм/об; глубине 0,50–1,0 мм, обеспечивая шероховатость обработанной поверхности (Ra) от 1,25 до 0,63 мкм.

Максимально возможное использование материала режущей пластины, постоянство положения вершины резца на линии центров токарного станка и высокая надежность крепления режущей пластины в инструменте при финишном точении прокатных валков восстановленных наплавкой, достигается с применением технологичной сборной конструкции резца или кассетной фрезы.

Благодаря рифленным сопряжениям вставки с державкой и прихватом, резец обладает возможностью регулируемого выдвижения вставки после многократной переточки режущей пластины. Надежность ее крепления способствует повышению ресурса инструмента из ПКНБ и качества поверхностного слоя обработанной поверхности прокатного валка восстановленного наплавкой. Конструкция торцевой фрезы при обработке наплавленных валков и проведения работ по исследованию процесса фрезерования, за счет применения кассетной формы крепления режущих элементов, обеспечивает расширение технологических возможностей инструмента, сокращение времени на замену кассет с режущими элементами, увеличение жесткости инструмента и ресурса сменных многогранных режущих пластин. При ее использовании более чем в 1,5–1,7 раза увеличивается ресурс торцевой фрезы, и обеспечивается необходимое качество обработанной поверхности (Ra от 2,5 до 1,25 мкм).

Контактное взаимодействие инструментального и обрабатываемого материалов в процессе резания сопровождается комплексом силовых, тепловых, химических и других явлений. При этом на поверхности изделия формируется определенная совокупность макро- и микронеровностей, а в поверхностных слоях обрабатываемого материала происходят процессы упрочнения-разупрочнения, структурно-фазовые превращения и другие явления, приобретающие особое значение при обеспечении долговечности и работоспособности валков, работающих в условиях контактного нагружения.

Высота микронеровностей, сформированная в результате финишной обработки лезвийным инструментом из ПКНБ покрытий прокатных валков восстановленных наплавкой, определяется с учетом отклонения фактической высоты неровностей от расчетной (случайная составляющая), отражающая изменение высоты неровностей в результате упругого восстановления поверхности среза, пластической деформации в зоне стружкообразования, среза вершин неровностей сходящей стружки, трения на задней поверхности инструмента, износа режущей кромки инструмента, вибраций в технологической системе, наличия дефектов, в частности, пористости в обрабатываемом материале и др.

В результате проведенных исследований финишной технологии обработки прокатных валков восстановленных наплавкой разработана сборная конструкция токарных резцов со сменным блоком и фрезы с кассетным креплением режущих пластин из ПКНБ, обеспечивающих высокое качество обработанной поверхности. Использование надежного крепления инструментов с рифлеными поверхностями вставки и сменных кассет при обработке валков позволяет устранить недостатки поверхности, связанные с вредным влиянием наследуемых технологических факторов покрытия. Развитие механической технологии обработки инструментом из ПКНБ прокатных валов гарантирует резкое увеличение производительности и снижение себестоимости их восстановления наплавкой.

Ресурс крупногабаритных валков определяется наряду с износостойкостью рабочей поверхности, способностью активного слоя сопротивляться зарождению трещин и распространению вглубь деталей. Основную роль в установлении ресурса наплавленного слоя и изделия в целом играет сопротивляемость

распространению трещин при механической обработке. Показаны пути увеличения работоспособности наплавленных прокатных валков за счет управления конструктивными свойствами режущего инструмента из ПКНБ при чистовой обработке. Учитывая зависимость вязкости разрушения от структурной микро- и макронеоднородности, намечены пути торможения разрушения в наплавках за счет применения при точении и фрезеровании новых конструкций инструментов из сверхтвердых материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технология восстановления прокатных валков наплавкой / Т. С. Скобло, А. И. Сидашенко, И. Н. Рыбалко, А. К. Автухов // Промышленность в фокусе. – 2017. – № 9. – С. 55–58.
2. Бойко Н. И. Формирование шероховатости поверхности цилиндрических деталей при механической обработке наплавленного металла / Н. И. Бойко, Г. В. Санамян // Вестник РГУПС, 2012. – №1. – С. 49–54.
3. Иванов В. П. Совершенствование технологии наплавки габаритных валков горячей прокатки с гетерогенным рабочим слоем / В. П. Иванов, Ю. А. Степнова // Вісник ПДТУ, 2015. – №. 31. – С. 98–105.
4. Клименко С. А. Перспективные лезвийные инструменты с композитами на основе КНБ / С. А. Клименко // Современные вопросы производства и ремонта в промышленности и на транспорте: Материалы науч.-техн. сем. 18–22 сентября 2019. г. Кошице. – Киев: АТМ України, 2019. – С. 76–79.

Буюклі І. М., Колеснік В. М., Шпак Л. В.

Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса, Україна

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ХОНІНГУВАННЯ ОТВОРІВ

Однією з найважливіших задач в галузі машинобудування є підвищення ефективності та точності абразивної обробки отворів.

З метою захисту від корозії та підвищення зносостійкості на робочі поверхні наносять зносостійкі і антикорозійні покриття, або ці поверхні піддають гарту на досить високу твердість до 60 – 65 од. по НРС. При цьому змінюється вихідна геометрична форма і шорсткість поверхні, що обумовлює необхідність подальшої механічної обробки, яка, у зв'язку з високою твердістю поверхні, може оброблюватися в основному – із застосуванням алмазного інструменту.

З відомих способів обробки алмазним інструментом найбільш ефективним для даного переліку деталей є хонінгування.

Однак, при хонінгуванні отворів відсутня можливість організації циклу обробки з оптимальною величиною перебігів відносно отвору, що оброблюють, що обумовлює неминучість генерування похибки конусоподібної форми.

Для зменшення величини цієї похибки розроблено ряд способів суть яких полягає в тому, що має місце:

– вимушене збільшення числа технологічних переходів і числа періодичних правок ріжучих елементів, з метою відновлення відповідної форми робочої частини інструменту;

– керування циклами обробки таким чином, що спочатку здійснюють довго-ходове хонінгування за всією довжиною отвору, а в кінці в зоні дна отвору, що оброблюють – коротко-ходове; або, варіювання швидкістю зворотно-поступального переміщення зі зменшенням останньої в зоні дна отвору і т. д.;

– введення компенсаційної розмірної підналадки, наприклад, здійснюваної у вигляді додаткового повороту ріжучих елементів, який реалізується синхронно з радіальною подачею останніх та ін.;

– використання спеціальних ріжучих елементів з перемінною зносостійкістю за їх довжиною і т. д.

Ці способи, поряд з їх перевагами, володіють істотними недоліками щодо ефективності обробки. У зв'язку з цим, подальше вдосконалення існуючих та створення нових, більш ефективних, способів хонінгування отворів є актуальною задачею. Розглянемо найбільш характерні конструкторські і технологічні рішення, спрямовані на підвищення точності хонінгування наскрізних отворів.

Відоме технічне рішення, яке полягає в тому, що при обробці поверхні отвори доцільно застосування такої форми хонінгувальних брусків, при якій забезпечується розташування найбільшої кількості ріжучих зерен можливо ближче до того торця отвору де формується похибка у вигляді конусоподібності.

В результаті досліджень, проведених в [1, 2, 3, 4], встановлено, що має місце не часткове підвищення точності, а повне виправлення конусоподібності, і більш того, отримання навіть зворотного конусоподібності при обробці глухих отворів хонінгуванням. Огляд технічної літератури і патентних матеріалів вказав, що розроблено ряд спеціальних способів технологічного оснащення для підвищення точності отворів, що хонінгують.

На основі проведеного аналізу характерних особливостей відомих способів і конструкцій для хонінгування отворів можна сформулювати напрямки, за якими здійснювалися дослідження і які підлягають розвитку з метою подальшого підвищення ефективності операцій хонінгування наскрізних отворів, це:

– варіювання інтенсивністю і часом зняття припуску по довжині оброблюваного отвору;

– формування змінної розмірної зносостійкості по довжині ріжучих елементів;

– введення компенсаційних переміщень ріжучих елементів відповідно до нерівномірності їх розмірного зносу по довжині.

У зв'язку з цим метою дослідження є підвищення точності обробки отворів за допомогою створення нових способів хонінгування і технологічного оснащення. В результаті проведеного аналізу встановлено, що з безлічі причин основними причинами формування похибки профілю в поздовжньому перетині при хонінгуванні отворів є нерівномірність зносу по довжині ріжучих елементів і змінна контактна жорсткість по довжині робочої частини інструменту. При цьому встановлено, що з цих двох основних причин домінуючою причиною

формування похибки профілю в поздовжньому перетині при хонінгуванні отворів є нерівномірність зносу по довжині ріжучих елементів.

При обробці наскрізних отворів з дозованим безперервною подачею і подачею за тиском відсутня можливість забезпечення оптимальної величини перебігаючи в зоні дна оброблюваного отвору (асиметрія перебігаючи), а при обробці з дозованим дискретної подачею-асиметрія перебігів плюс асиметрія величин припусків, що видаляють при поступальному і зворотному переміщеннях інструменту. Це призводить до того, що має місце накопичувальна нерівномірність зносу ріжучих елементів по їх довжині. Тобто на робочій частині інструменту формується накопичувальна геометрична похибка у вигляді конусності, яка обумовлює генерування аналогічної накопичувальної похибки на отворі, що хонінгують.

Відомо, що існує спосіб хонінгування наскрізних отворів в якому реалізація дозованої дискретної радіальної подачі під час одного подвійного переміщення здійснюється двічі: в момент реверсування зворотного переміщення на поступальне та в момент реверсування поступального переміщення на зворотне [5]. Це забезпечує ідентичну інтенсивність видалення припуску при поступальному і зворотному переміщеннях ріжучих елементів інструменту відносно отвору. Це істотно підвищує продуктивність обробки і одночасно зменшує знос ріжучих елементів.

Недоліком відомого способу є наступне. У моменти реверсу ріжучі елементи знаходяться в крайніх положеннях по відношенню до отвору, що хонінгують. В ці моменти частина робочої поверхні ріжучих елементів контактує з поверхнею, що хонінгують, а інша частина знаходиться поза зоною обробки (зона перебігу, де відсутня реактивна сила). Реалізація в ці моменти дозованої дискретної радіальної подачі обумовлює пікове нерівномірне зростання нормального навантаження на ріжучі зерна і, відповідно, зростання інтенсивності і нерівномірності пружно-пластичних деформацій по довжині миттєвого контакту ріжучих елементів з поверхнею, що оброблюють. У частині зони контактування, що примикає до торця отвору, навантаження зростає істотно більшою мірою, ніж в решті частини. Це обумовлює виникнення в ці моменти перекосів ріжучих елементів по відношенню до отвору. Це призводить до виникнення похибки форми отвору в поздовжньому перетині у виді корсетності. Крім того, перерозподіл нормального навантаження по довжині миттєвого контакту ріжучих елементів з поверхнею, що оброблюють зумовлює підвищений знос переваженої частини ріжучих елементів. Метою винаходу є підвищення ефективності процесу хонінгування високоточних отворів.

Досягається зазначена мета тим, що при хонінгуванні високоточних отворів, яке включає обертальний рух, дозовану (дискретну) радіальну подачу і зворотно-поступальне переміщення з перебігом ріжучих елементів інструменту щодо отвору, що хонінгують, дозовану радіальну подачу за час одного подвійного переміщення інструменту здійснюють в моменти часу, що відповідають збігу в поздовжньому напрямку середин ріжучих елементів з серединою отвору, що хонінгують [6].

Симетричне розташування робочої частини ріжучих елементів по відношенню до отвору в поздовжньому напрямку в моменти реалізації дозованої дискретної радіальної подачі забезпечує рівномірність розподілу питомого нормального навантаження на ріжучі зерна по всій довжині їх контактування з поверхнею, що хонінгують. Це виключає виникнення в ці моменти перекосів ріжучих елементів по відношенню до отвору. Крім того, в ці моменти часу інтенсивність видалення припуску максимальна, а в міру подальшого переміщення ріжучих елементів інтенсивність видалення припуску зменшується. Відповідно знижується і величина питомого навантаження в зоні контакту. Таким чином, під час перебігу і, особливо, в моменти реверсування зворотно-поступального переміщення питоме навантаження в зоні контактування істотно менше, ніж в моменти реалізації дозованої дискретної радіальної подачі. Відповідно, величина перекосів ріжучих елементів при хонінгуванні за пропонуванним способом істотно менше в порівнянні з перекосами, що виникають при хонінгуванні за відомим способом. Пропонуваний спосіб можна реалізувати на відомих верстатах, за рахунок відповідної незначної модернізації системи управління верстата. Наприклад, досить в існуючій системі управління приводом радіальної подачі, що забезпечує команду на дозовану подачу ріжучих елементів в моменти реверсу зворотно-поступального переміщення вбудувати реле часу. Це дозволить здійснити необхідну затримку команди на дозовану подачу ріжучих елементів (рівну половині часу поступального, або зворотного переміщення інструменту) і таким чином здійснити дозовану радіальну подачу ріжучих елементів не в моменти реверсу, а в моменти часу, що відповідають збігу середин ріжучих елементів з серединою отвору, що хонінгують.

Альтернативним варіантом може бути використання автономних датчиків відомих конструкцій для управління моментами реалізації дозованої подачі по шляху переміщення інструменту. Таким чином, реалізація дозованої дискретної радіальної подачі, віднесеної до часу одного подвійного ходу на дві частини, які реалізуються в моменти часу, що відповідають моментам збігу середин ріжучих елементів з серединою отвору підвищує точність обробки отворів в поздовжньому перетині і одночасно зменшує знос ріжучих елементів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Алмазно-абразивная обработка: Науч. тр. // Пермский политехнический институт. – 1974. – №149. – С. 138.
2. Алмазно-абразивная обработка. Межвуз. сб. науч. трудов. // Пермский государственный университет. – 1976. – №184. – С. 162.
3. Вопросы расчета конструирования оснастки, обеспечивающей повышение точности при хонинговании: Науч. тр. // Уфимский авиационный институт. – 1973. – №44. – С. 159. Пермский государственный университет. – 1976. – №184. – С. 162.
4. Муратов Р. А. Траектория движения инструмента при хонинговании / Р. А. Муратов // Повышение качества деталей при окончательных методах обработки: Межвузовский сб. научн. трудов. – Пермь: ПЛИ, 1977. – С. 83–87.

5. Патент 122627 на корисну модель Україна, МПК (2017.01) B24B 33/00, B24H/5/00. Спосіб хонінгування отворів / І. М. Буюклі, В. М. Колеснік, Г. В. Соколюк; – № u2017 03828; заявл. 18.04.2017; Дата з якої є чинними права на корисну модель 25.01.2018, Бюл. №2; публ. відомостей про видачу патенту 25.01.2018, Бюл. №2.
6. Патент 122931 на корисну модель Україна, МПК B24B 33/02 (2006.01). Спосіб хонінгування отворів / І. М. Буюклі, В. М. Колеснік, Л. В. Шпак; – № u201709808; заявл. 09.10.2017; Дата з якої є чинними права на корисну модель 25.01.2018, Бюл. №2; публ. відомостей про видачу патенту 25.01.2018, Бюл. №2.

Вакуленко І. А., Сагер Л. Ю.
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

ОКРЕМІ ПИТАННЯ ПЛАНОВОГО РОЗГОРТАННЯ «РОЗУМНИХ» ЕНЕРГЕТИЧНИХ МЕРЕЖ ЯК ІННОВАЦІЙНОЇ СКЛАДОВОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ПОЛІТИКИ УКРАЇНИ¹

Розгортання розумних енергетичних мереж є одним з пріоритетних напрямків модернізації енергетичної системи Європейського Союзу, що підкріплено низкою нормативно-правових актів Ради Європи. Енергетична політика Європейського Союзу спрямована на забезпечення комплексного підходу при системній трансформації енергетичної мережі із застосуванням енергоощадних технологій та інноваційних рішень, що спрямовані на: 1) зниження споживання енергетичних ресурсів шляхом використання обладнання з покращеними експлуатаційними показниками споживання енергетичних ресурсів; 2) генерації енергії з альтернативних джерел, що сприяє зниженню екодеструктивного впливу на довкілля; 3) повсюдного впровадження технологій регулювання споживання енергії та зниження рівня пікового навантаження на систему.

Регулювання діяльності за даними напрямками відбувається зокрема через використання системи індикаторів, що відображені у 2030 Energy Strategy [1], Energy roadmap 2050 [2], Directive for the Promotion of the Use of Energy from Renewable Sources, RES [3], Directive 2012/27/EU [4], 2012/148/EU Commission Recommendation of 9 March 2012 on preparations for the roll-out of smart metering systems [5], Strategic Energy Technology Plan [6] та інших нормативних документах Європейського Союзу.

В Україні розвиток енергетичного сектору регулюється: 1) шляхом імплементації енергетичних пакетів, тобто адаптації європейського законодавства та принципів, що ним закріплюються, до вітчизняних умов, 2) розробленням та

Виконано в рамках науково-дослідної теми № 0119U100766 «Оптимізаційна модель розбудови розумних та безпечних енергетичних мереж: інноваційні технології екологізації підприємств та регіонів»

реалізацією стратегії розвитку енергетичного сектору України, зокрема, «Енергетичної стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». Зазначена стратегія ґрунтується на поетапному послідовному здійсненні перетворень в енергетичному секторі. Відтак передбачено три етапи, дедлайнами по яких є 2020, 2025 та 2035 рр. Етап 1: створення енергетичного ринку та впровадження регуляторів його функціонування (механізму саморегуляції). Етап 2: оптимізація та інноваційний розвиток енергетичної інфраструктури. Саме на цьому етапі планується розгортання «розумних» енергетичних мереж та розвиток розподіленої енергогенерації за інтенсифікації інвестиційної активності у сфері відновлюваної енергетики. Етап 3 передбачає забезпечення сталого розвитку шляхом будівництва нових об'єктів енергогенерації на основі інноваційних технологій, що мають високий ККД та мінімізують екодеструктивний вплив на довкілля.

Таким чином у зазначеній енергетичній стратегії наявна логіка процесу розбудови енергетики України. Однак, у той же час, спостерігається наявність невідповідності у механізмі реалізації стратегічних цілей уже діючим процесам, що відбуваються у сфері модернізації енергетичної системи та закріплені відповідними нормативно-правовими актами. Зокрема, останніми роками зросла активність щодо розробки регіональних та місцевих програм енергоефективності, що зумовлено необхідністю скорочення споживання енергетичних ресурсів та підвищення показників діяльності систем генерації та розподілу енергії при одночасному зростанні фінансово-інвестиційної спроможності громад унаслідок здійснення політики фінансової децентралізації. Однак принципи, закладені у зазначеній вище стратегії, не завжди знаходять відображення у регіональних та місцевих програмах енергоефективності. Окрім того, розробка та впровадження подібних програм має узгоджуватися з схемами теплопостачання населених пунктів, що мають бути першочергово розробленими відносно програм енергоефективності, що не завжди відбувається на практиці. Іншим аспектом, на який потрібно звернути увагу, є змістовне наповнення схем теплопостачання населених пунктів, а також регіональних та місцевих програм енергоефективності, де передбачається заміна тепломереж та об'єктів теплогенерації, тобто робіт, що передбачені другим та третім етапами «Енергетичної стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». Таким чином, доцільно змінити підхід до реалізації дій за напрямками підвищення енергоефективності, передбаченими Стратегією, з програмно-цільового до проектного з відображенням необхідних для цього змін у відповідних нормативно-правових актах шляхом їх коригування та доповнення методичними матеріалами, що містять алгоритми планування та здійснення модернізації типових об'єктів, створюючи додатковий управлінський інструмент для органів місцевої влади у вигляді алгоритму побудови дорожньої карти енергетичних реформ (з чітким пріоритетом на досягнення цілей Стратегії, особливо у питанні розгортання «розумних» енергетичних мереж), що має бути обов'язковим елементом розробки інвестиційних програм модернізації енергетичної інфраструктури. Це забезпечить паралельне виконання етапів Стратегії

та нівелює логічні невідповідності між стратегічним плануванням та механізмом реалізації енергетичної стратегії. Однак для практичної реалізації даного підходу необхідне здійснення ряду досліджень, що матимуть практичне застосування, зокрема, оптимізаційне багатофакторне моделювання розгортання «розумних» енергетичних мереж.

ЛІТЕРАТУРА

1. 2030 Energy Strategy <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-strategy-and-energy-union/2030-energy-strategy>
2. Energy roadmap 2050 https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2012_energy_roadmap_2050_en_0.pdf
3. Directive for the Promotion of the Use of Energy from Renewable Sources, RES [Ел. ресурс]. – Режим доступу : <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2009/28/oj>
4. Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2012/27/oj>
5. 2012/148/EU Commission Recommendation of 9 March 2012 on preparations for the roll-out of smart metering systems [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://eur-lex.europa.eu/eli/reco/2012/148/oj>
6. Strategic Energy Technology Plan [Ел. ресурс]. – Режим доступу: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/technology-and-innovation/strategic-energy-technology-plan>
7. Енергетична стратегія України на період до 2035 року [Ел. ресурс]. Режим доступу: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/doccatalog/list?currDir=50358>

Виговський Г. М., Громовий О. А., Головня В. Д.
Житомирський державний технологічний університет,
м. Житомир, Україна

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ОБРОБКИ ПЛОСКИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ

Прогрес машинобудування пов'язаний із вдосконаленням технології виробництва деталей, збільшенням потужності, швидкохідності, продуктивності, точності машин, збільшенням вимог до їх основних параметрів. Цей процес закономірний і тому проблеми підвищення якості та надійності машинобудівної продукції мають першочергове значення. З вдосконаленням машин об'єм механічної обробки буде збільшуватися, а центр ваги переміщується в область фінішних методів обробки. Основним напрямом подальшого розвитку машинобудівного виробництва є розвиток нових технологій та обладнання для підвищення точності обробки, створення оптимальних властивостей поверхневих шарів деталей. Значна частина поверхонь деталей, які підлягають фінішній обробці, є плоскі поверхні, доля яких у ряді випадків складає до 50% (у насособуду-

ванні) від загальної кількості фінішних операцій. Тому, підвищення продуктивності і якості обробки плоских поверхонь деталей є актуальною задачею.

Останнім часом широкого поширення знайшли методи чистового торцевого фрезерування плоских поверхонь, фрезами, оснащеними надтвердими матеріалами. Перевагами методів є значне підвищення продуктивності по відношенню до абразивної обробки, створення раціонального мікропрофілю оброблених поверхонь та зменшення дефектів поверхневого шару (припиків, залишкових напруг розтягу, тощо).

Спроектвані у Житомирському державному технологічному університеті та запроваджені у виробництво косокутні торцеві фрези зі спіральноступінчастим розташуванням різальних ножів, оснащені надтвердими матеріалами, дозволили різко підвищити продуктивність обробки, зменшити шорсткість оброблених поверхонь. Зазначені фрези дозволяють виконувати:

- чорнову обробку деталей з величиною припуску до 6 мм;
- напівчистову обробку з величиною припуску 0,8 – 2 мм;
- чистову обробку з припуском 0,5 – 0,8 мм.

Разом з тим, ознакою процесу всіх процесів торцевого фрезерування є нестационарність процесу різання. Кінематика торцевого фрезерування призводить до того, що у процесі різання різальні ножі рухаються по колу і за відомими розрахунковими залежностями, висота мікронерівностей обробленої поверхні неоднакова за шириною деталі (мінімальна на ділянках врізання та виходу ножей із різання). Крім цього, у зоні врізання у деталь та у зоні виходу площі перерізу зрізуваного шару мінімальні, а у перерізі, який проходить через вісь фрези, вона є максимальною.

Змінність параметрів зрізуваного шару за шириною деталі веде до того, що змінними є і сили різання, які викликають змінні деформації технологічної системи. Це також впливає на неоднакові умови формування профілю мікронерівностей. Тому утворений поверхневий шар має неоднорідні фізико-механічні властивості за шириною деталі та різну висоту мікронерівностей, що негативно впливає на жорсткісні характеристики та різні умови тертя з'єднань отриманих деталей.

Подальшим шляхом удосконалення кінематики торцевого фрезерування є використання розробленої комбінованої схеми різання з регулюванням положення профілюючого різального ножа. Обробка спроектованою торцевою фрезою відбувається шляхом зняття припуску різальними ножами, де найбільшу частину припуску видаляють різальними ножами, які нерухомо закріплені відносно корпусу фрези та рухаються за коловою траєкторією, а чистовий припуск видаляють різальними ножами, які розташовані в радіальному напрямку на найменшій відстані від осі фрези з найбільшим вильотом відносно нерухомо закріплених різальних ножів і рухаються за прямолінійною траєкторією перпендикулярною до вектора повздовжньої подачі заготовки. Прямолінійний рух формоутворюючих ножів у напрямі перпендикулярному до руху подачі здійснюється додатковим переміщенням ножів відносно нерухомо закріпленого на корпусі верстата копіра.

Проведене теоретичне дослідження аспектів чистового торцевого фрезерування дозволило розробити спосіб плоского фрезерування та конструкцію чистової косокутної торцевої фрези з комбінованою схемою різання, оснащених надтвердими матеріалами, для чистової обробки плоских поверхонь чавунних та сталевих загартованих деталей і тим самим підвищити якість обробки, порівняно із фрезами стандартних конструкцій. Встановлено, що використання комбінованої схеми різання призводить до вирівнювання середньоарифметичної висоти мікронерівностей за шириною фрезерування, формування прямолінійних штрихів обробки у напрямку перпендикулярному до повздовжньої подачі, що забезпечує більш високу якість обробки та зносостійкість.

Внукова Н. М.
НДІПрЗІР НАПрНУ, м. Харків, Україна

ФІНАНСОВЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОЗВИТКУ ІННОВАЦІЙНОГО ПІДПРИЄМСТВА

За глобальним інноваційним індексом Україна має середній результат серед інших країн [4], що вимагає пошуку нових інструментів як технологічного розвитку, так і фінансового забезпечення цього процесу.

В умовах глобалізації постає необхідність активізації інноваційної діяльності при загальному стані погіршення впровадження інновацій, що, зокрема, обумовлено обмеженістю обсягів фінансових ресурсів. Отже, питання фінансового забезпечення розвитку інноваційних підприємств є актуальним, враховуючи дефіцит власних фінансових та високу вартість інвестиційних ресурсів.

Неодмінними складовими інноваційної діяльності є проведення науково-дослідницьких і дослідно-конструкторських робіт; створення інновацій та їх комерціалізація. Для розвитку інноваційного підприємства застосовується ресурсний підхід, в якому фінансове забезпечення відіграє пріоритетну роль.

Суттєвим гальмом зацікавленості в інноваціях є їх ризиковий характер, певний термін очікування одержання фінансового ефекту, тому при експертному оцінюванню перспектив впровадження інновацій відсутні гарантії, що знижує зацікавленість інвесторів.

А. Б. Почтовюком побудована система фінансового забезпечення інноваційної діяльності підприємства [2]. Виділені науковцем складові відображають основні напрями організації процесу фінансування інноваційної діяльності на підприємствах. Виокремлено такі форми фінансового забезпечення підприємств: самофінансування, бюджетне фінансування, кредитування, інвестування. Можливе використання і інших форм, наприклад, фінансового лізингу.

Але здебільшого використовуються поєднані форми, які бажано сполучити з інструментами державної підтримки інноваційного підприємництва через створення привабливих механізмів упровадження нововведень шляхом удоско-

налення правового регулювання і стимулювання інноваційного розвитку всіх сфер економіки, а також захисту інтересів учасників інноваційної діяльності.

Для реалізації результативної інноваційної діяльності підприємства варто визначити резерви зростання інноваційної активності і посилити їх використання. Реалізація резервів потребує поступового запровадження нових технологій, зокрема, у сферах ресурсозбереження.

Проведений аналіз динаміки та структури джерел фінансування [1] довів, що вітчизняні підприємства для вирішення питань інноваційного розвитку здебільшого використовують власні кошти, основу яких становить прибуток. Фінансова криза, зниження кредитного рейтингу України, військовими дії негативно впливають на формування обсягів фінансування розвитку інноваційних підприємств. Також іноземні інвестори не зацікавлені за таких умов розвивати венчурний бізнес в Україні. Власні кошти підприємств продовжують займати більше 60 % обсягів фінансування інноваційної діяльності.

У теперішній час приватний сектор ще недостатньо вкладає коштів у дослідження для розробки нових технологій та ринкове освоєння інновацій. Перспективним є використання можливостей наукових центрів за умов державної підтримки, але діюче нормативне регулювання суттєво обмежує можливості розвитку цього напрямку. Але в епоху економіки знань та кризи компетентності потрібні технологічні, інфраструктурні, та інституційні зміни для посилення інноваційної діяльності, зокрема, інвестування приватних капіталів у науково-технічну сферу.

Серед основних проблем, які стримують інноваційну діяльність в Україні, також виділяють недосконале нормативно-методологічне забезпечення. Тривалий період інноваційному законодавству України була властива певна фрагментарність та непослідовність, і незважаючи на те, що 2011 року був розроблений проект Інноваційного кодексу України [3], його розгляд гальмується, отже, потрібні спільні зусилля зацікавлених осіб у прийнятті цього кодексу, який би сприяв систематизації процесів у інноваційній сфері.

У результаті дослідження виділено ряд факторів, що сповільнюють розвиток інноваційної діяльності підприємств, для їх нівелювання необхідно удосконалити і систематизувати нормативне регулювання процесів інноваційної сфери та розробити дієві механізми саме стимулювання фінансового забезпечення розвитку інноваційних підприємств.

ЛІТЕРАТУРА

1. Офіційний сайт Державної служби статистики України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua/>.
2. Почтовюк А. Б. Фінансове забезпечення інноваційної діяльності підприємств у сучасних умовах / А. Б. Почтовюк // Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі. 2016. № 3 (75) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : file:///E:/5ypc/pfp/Nvpushk_2016_3_19.pdf.
3. Проект Інноваційного кодексу України. – Х.: Право, 2011. – 136 с.
4. National Association of Manufacturers [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.nam.org>.

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ РАЗРЯДНОИМПУЛЬСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ, СПЛАВОВ И ИХ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

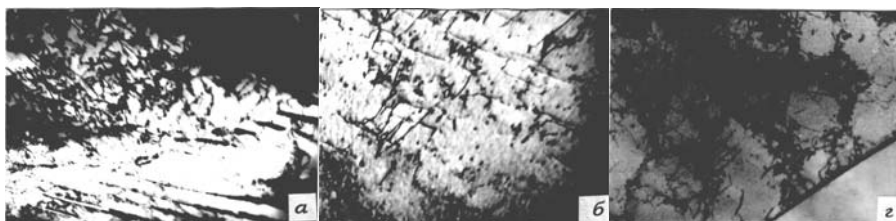
За более чем 50-летнюю историю работы Института импульсных процессов и технологий (ИИПТ) НАН Украины предложено и разработано более 300 различных разрядноимпульсных технологий (РИТ) обработки материалов, конструкций и сред. Их основой является процесс импульсного воздействия на обрабатываемый объект. Большинство этих технологий (очистка отливок, штамповка, запрессовка труб в теплообменных аппаратах, разрушение неметаллических материалов, воздействие на структуру металлов в жидком состоянии и др.) используются более чем на 1000 предприятиях, в том числе и дальнего зарубежья. Кроме того имеется ряд РИТ, пока не нашедших такого широкого применения, но они, по мнению авторов, являются перспективными и конкурентоспособными на мировом рынке. Условно эти РИТ можно назвать нетрадиционными. К таким технологиям в полной мере могут быть отнесены технологии по воздействию различных мощных импульсных нагрузок (давления, тока, высокоскоростных струй жидкости и т.п.) на изменение тонкой структуры металлов и сплавов в твердом состоянии, их сварных соединений при различных параметрах импульсного нагружения, а также при их комплексном использовании. Наряду с высокой производительностью и простотой реализации эти технологии характеризуются экологической чистотой, существенно меньшими энергозатратами по сравнению с традиционно применяемыми технологиями обработки материалов.

Проведенными ранее исследованиями доказано, что изменяя параметры высокоинтенсивного импульсного нагружения на материалы, в результате активации широкого спектра дислокационных преобразований, можно влиять на твердость, пластичность, прочность и напряженно-деформированное состояние металлов и сплавов, а также их сварных соединений. Это явилось научной базой для создания и дальнейшего развития в ИИПТ НАН Украины различных технологий: электрогидроимпульсной обработки (ЭГИО) металлоконструкций с технологическими напряжениями, сварки разнородных металлов в твердом состоянии с использованием электроимпульсного воздействия, в том числе прессовотермической электрогидроимпульсной (ПТЭГ) сварки и др.

Техпроцесс ЭГИО, заключающийся в обработке напряженных участков конструкций многократными импульсами давления, генерируемыми высоковольтными электрическими разрядами в жидкости, в результате активации возбуждаемыми в металле волнами напряжений естественных дислокационно-сдвиговых релаксационных процессов, обеспечивает снижение макронапряжений в объеме металла в среднем на 50-70%, а в некоторых местах и до 90% (по

глубине – 100 мм). Показано, что импульс давления оказывает определяющее влияние на величину релаксации остаточных напряжений (ОН), а их количество – на зону распространения релаксационных процессов. На этой основе разработана инженерная методика расчета технологических режимов ЭГИО сварных металлоконструкций из низкоуглеродистых сталей, которая позволяет определить с точностью до 20% энергетические параметры режима обработки, обеспечивающего снижение остаточных напряжений в сварных соединениях до необходимого уровня. Опытно-промышленная проверка техпроцесса ЭГИО на различных натуральных сварных и литых изделиях, подтвердила на практике, что по эффективности полезного воздействия на сварные конструкции и отливки этот вид обработки конкурентоспособен с термообработкой (высоким отпуском). Разработаны рекомендации по промышленному освоению технологии ЭГИО.

Перспективным направлением дальнейшего использования ЭГИО является ее применение для повышения служебных характеристик металлоконструкций с технологическими напряжениями. Современными методами исследований дислокационной структуры сварных соединений показано, что в результате ЭГИО происходит перестройка дислокационной структуры напряженного металла в направлении стабилизации, которая сопровождается уменьшением дислокационных сегментов, образованием ячеистой структуры, приводящей к созданию внутренних границ в зернах, что наиболее характерно для места приложения разрядов (рис. 1).



а – до ЭГИО; б, в – после ЭГИО ($\times 2 \cdot 10^4$)

Рисунок 1 – Дислокационная структура зоны термического влияния сварного соединения из стали 20

Показано, что ЭГИО, подобно механотермической обработке имеет энергосиловую природу воздействия, с ее помощью можно достичь значительного объемного упрочнения, причем имеется возможность регулирования его степени путем изменения параметров режима ЭГИО. При этом форма и размеры обрабатываемых конструкций не изменяются.

Таким образом, на основании выше изложенного, можно сделать вывод о том, что способность ЭГИО оказывать существенное объемное воздействие одновременно на остаточные макронапряжения и дислокационную структуру металла сварных конструкций характеризует ее как универсальный и эффективный метод повышения служебных свойств металлоизделий с технологическими напряжениями. Приведены примеры, подтверждающие повышение в результа-

те ЭГИО коррозионной стойкости, длительной и усталостной прочности сварных металлоконструкций.

ПТЭГ сварка осесимметричных изделий – разновидность сварки в твердом состоянии с подогревом, заключается в определенном сочетании электрогидроимпульсной запрессовки и термообработки. Суть этого способа сварки труб с трубными решетками теплообменных аппаратов состоит в том, что при этом реализуется процесс, подобный процессу диффузионной сварки, но без приложения внешнего давления и защиты от окружающей среды. Последнее возможно благодаря образованию прессового соединения, что препятствует проникновению при нагреве между ними воздуха, т.е. создаются условия, предотвращающие окисление свариваемых поверхностей. В результате обеспечивается образование соединения с металлической связью сопрягаемых элементов на большей части контактной поверхности (60-90%), что обеспечивает высокую релаксационную стойкость сварных соединений в процессе эксплуатации, долговечность сварных соединений в условиях термоциклирования при этом повышается многократно (в 3 – 5) раз. Эффективность ПТЭГ сварки подтверждена на целом ряде соединений труб с трубными решетками из низкоуглеродистых, теплоустойчивых и жаропрочных, а также высоколегированных сталей. Важным преимуществом ПТЭГ сварки является возможность встраивания техпроцесса в уже работающие производственные линии по изготовлению ответственного теплообменного оборудования, в том числе компактных теплообменных аппаратов (степень перфорации трубных решеток $\varphi \leq 1,3$).

Техпроцесс сварки разнородных металлов в твердом состоянии с использованием электроимпульсного воздействия также может быть реализован на основе импульсов тока большой плотности ($\sim 10^9 \text{ А/м}^2$). Суть его в том, что сжатие и пластическое деформирование приконтактных объемов свариваемых металлов осуществляется при температуре окружающей среды. Для интенсификации процессов микропластического деформирования на стадии образования физического контакта через зону деформации пропускают импульсы тока плотностью $\sim 10^9 \text{ А/м}^2$ и длительностью порядка 10^{-4} с . В результате интенсивного смятия приконтактных объемов металла обеспечивается самогерметизация межконтактной зоны, а при последующем нагреве образуется автовакуум, приводящий к самоочистке поверхностей и образованию сварного соединения по типу диффузионного при более низких усилиях и температурах сварки в воздушной среде без применения защитных сред или вакуума. Экспериментально определены рациональная схема пропускания тока и наиболее предпочтительный диапазон изменения параметров импульсного тока: по амплитуде плотности тока в пределах $(1 - 2,2) \cdot 10^9 \text{ А/м}^2$ и по удельной суммарной энергии обработки – в пределах $(0,6 - 1,0) \cdot 10^9 \cdot \text{Дж/м}^3$, в котором можно эффективно управлять процессами пластического деформирования и активацией поверхностей, а значит формированием сварного соединения.

Все рассмотренные технологии защищены патентами Украины, приоритет принадлежит ИИПТ НАН Украины.

ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ В ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Великий технолог профессор Балакшин Б. С. В середине 20 века в терминах того времени так объяснял задачи технологии: «Природа предоставляет в распоряжение человека ничтожно малое количество предметов, которые можно использовать непосредственно, без приложения труда. Поэтому человеку приходится почти всегда затрачивать труд ...

Качественное изменение предметов природы, осуществляемое человеком, получило название технологического процесса. Осуществляя технологический процесс, человек ставит перед собой две задачи: получить изделие, которое удовлетворяло бы его потребность; затратить на его изготовление меньше труда.

Каждое производимое изделие должно обладать качеством, которое определяется его назначением. Без надлежащего качества изделие становится ненужным человеку, и затраченные на его получение труд и предметы природы расходуются бесполезно.

Количество затраченного труда измеряется его интенсивностью и продолжительностью. Интенсивность труда сверх нормальной вызывает переутомление человека и преждевременный износ его организма, поэтому вполне естественным является желание человека работать с нормальной интенсивностью

Продолжительность труда с нормальной интенсивностью измеряется затратой рабочего времени. Сокращение затрат рабочего времени на изготовление изделия позволяет увеличить выпуск изделий за определенный промежуток времени, т.е. полнее удовлетворить потребности человека. Следовательно, непрерывное увеличение производительности труда нормальной интенсивности является основным источником наиболее полного удовлетворения потребностей человека и повышения его жизненного уровня.

Для выполнения каждого технологического процесса человек создавал, создает и использует различные средства труда, среди которых орудиям производства принадлежит решающая роль».

Рассмотрим положения профессора Б. С. Балакшина в терминах физики.

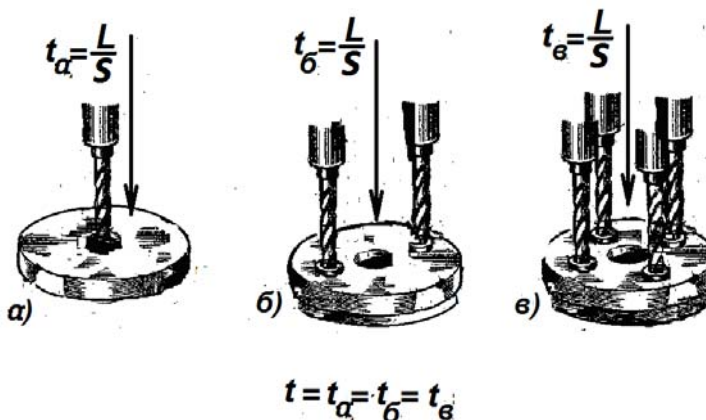
– Для преобразования природного вещества в изделие необходимо затрачивать труд, иначе в физических категориях, – это **работа**, для выполнения которой необходима затрата **энергии**, и, естественно, должен реализоваться **принцип минимума энергии**.

– Только то изделие имеет для человека ценность, которое имеет качество и соответствует целевой функции, – это определенно **принцип соответствия**.

– Количество затраченного труда измеряется продолжительностью и интенсивностью. Это ведь в чистом виде физический **принцип дополнительности**. Этот принцип использует для характеристики многих физических процессов

одновременно две величины. Например, при оценке движения материальной точки – координата точки (L) и ее скорость (S). Одна величина как бы дополняет другую. В технологии это продолжительность процесса – координата движения (L) и его интенсивность (скорость перемещения рабочего органа S). Принцип дополнительности характерен для любых движущихся материальных объектов.

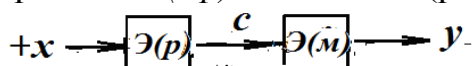
– **Принцип неопределенности** продемонстрируем примером технологической операции – сверления, которая выполняется с разной степенью концентрации инструмента. Время обработки (t) во всех трех случаях одинаково.



Пример хорошо иллюстрирует принцип неопределенности, т.к. по одной характеристике – времени процесса (t) – невозможно определить величину концентрации инструментов в операции. Здесь требуется обращение к принципу дополнительности, чтобы устранить неопределенность.

Принцип суперпозиции (наложения) в технологии – это многоинструментальная обработка или наложение на основной процесс другой вспомогательный процесс, например, точение с наложением ультразвуковых колебаний. Еще более простой пример – шлифование с применением СОЖ.

Продолжая физическую аналогию, рассмотрим технологическую операцию, как систему «человек–машина», которая состоит из двух частей-блоков. В этой системе действия (труд) рабочего (\mathcal{E}_p) и действия (работа) машины (\mathcal{E}_m):



Естественно, необходимо дать оценку работы системы «человек–машина» в физических категориях время – энергия. Энергетические затраты человека на различные виды деятельности изучал известный украинский хирург-кардиолог проф. Н. М. Амосов. Он в своих работах указывал, что труд нормальной интенсивности должен измеряться затратой энергии в единицу времени. В медицине такой единицей является Ккал/мин, а в технике – кДж/мин. Таким образом можно определить баланс затрат энергии при выполнении технологической операции пользуясь формулой: $\mathcal{E}(on) = \mathcal{E}(p) + \mathcal{E}(m)$, где $\mathcal{E}(on)$ – энергосодержание технологической операции; $\mathcal{E}(p)$ – затраты энергии рабочего на операцию; $\mathcal{E}(m) = av + pt$ – затраты энергии на непосредственную обработку (av) и на работу механизмов станка (pt).

Если принять, что технологическая операция – обточка вала – производится на токарно-винторезном станке модели 1А620ПР, а (по Н. М.Амосову) трудозатраты энергии станочника–токаря будут $\mathcal{E}(p) = (10,5 \dots 19,3)$ кДж/мин;

удельная работа – точение $a = (1,7 \dots 2,5) \cdot 10^3$ кДж/см³; объем припуска $v = 10^3$ см³; мощность станка $p = 10,0$ кВт; КПД = 0,8; время работы токаря и станка $t = 1,0$ мин. Таким образом, при общей длительности операции 2 минуты энергия операции составит: $\mathcal{E}(on) = 2,2 \cdot 10^3$ кДж.

В результате можно представить, какова величина затрат энергии на программу выпуска. Это позволяет произвести расчет необходимого для выпуска продукции энергетического ресурса. Ответить на ряд вопросов и задач, вытекающих из знания затрат энергии на разные составляющие компоненты как технологической операции, так и технологического процесса в целом. Это влияет на принятие проектных решений не только технологических, но также и конструкторских. Среди таких задач могут выступать следующие:

- технологичность конструкций, и **соответствие** требованиям не только качеству, но наименьшей энергоемкости;
- требованием к выбору исходного материала и вида заготовки, которые учитывают сопутствующие затраты энергии;
- использования конкурентных методов обработки, которые должны обеспечивать не только сокращение продолжительности технологических операций, но и их наименьшую энергоемкость;
- выбор необходимого технологического оборудования и оснащения с учетом изложенных ранее требований минимизации энергозатрат на обеспечение процесса;
- подготовить решение о замене использования труда человека и замену его работой промышленного робота.

Энергоориентация в процессах проектирования современной техники позволит существенно увеличить применение и использование в полной мере принципов современной физики, приближая технологию машиностроения к современным и научным представлениям прикладной механики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балакшин Б. С. Основы технологии машиностроения / Б. С. Балакшин. кн. 2, / Введение. – М.: Машиностроение, 1982. – 367 с.
2. Jay Ogear. Fundamental physics. John Wiley. – New York. 1967.
3. Новиков Ф. В. Основы математического моделирования технологических процессов механической обработки : монография / Ф. В. Новиков. – Д. : ЛИРА, 2018. – 400 с.
4. Оптимизация расхода энергии в процессах деформации / А. Хензель, Т. Шпиттель, М. Шпиттель и др.; под ред. Т. Шпиттеля и А. Хензеля: пер. с нем. – М.: Металлургия, 1985. – 184 с.
5. Гусарев В. С. Технологическая энергоэкономика / В. С. Гусарев // Вестник инженерной академии Украины. – Киев, 2001. – №2. – С. 302–306.
6. Гусарев В. С. Энергетические критерии в технологии машиностроения / В. С. Гусарев // Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении: материалы междунар. научн.-техн. конф., Одесса, 26–29 сентября 2018. – Одесса: ОНПУ, 2018. – С. 31–37.

МОРФОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКРИТТІВ АЛЮМІНІЄВОГО СПЛАВУ АК6 ПІСЛЯ МІКРОДУГОВОГО ОКСИДУВАННЯ

Представлене дослідження виконувалось за планом вивчення дослідно-експериментального втілення технічної ідеї покриттів по методу мікродугового оксидування (МДО) в якості електроізоляційних на алюмінієвих корпусах інструментів алмазно-іскрового шліфування з прямим струмопідводом до їх робочої частини на універсальних верстатах без додаткових засобів струмозахисту верстатних шпindelьних вузлів.

Дослідження морфології проводили на поверхні МДО-шарів, сформованих на сплаві АК6 при тривалості процесу МДО 1 і 2 год. в режимі довільно падаючої потужності (ДПП), який за нашим попереднім досвідом рекомендований до поширеної практики завдяки забезпеченню найвищих електрофізичних показників бар'єрності електричному струму. Досліджували реалізації процесу МДО у 3-х типах розчинів – 1-й – власне силікатний, 12 г/л РС (РС – технічний розчин натрієвого рідкого скла, з густиною 1,4 г/л), в згадуваннях надалі також скорочуємо – електроліт 0:12; 2-й – лужно-силікатний – 2 г/л КОН + 12 г/л РС, надалі – електроліт 2:12; 3-й – більш розбавлений лужно-силікатний – 1 г/л КОН + 6 г/л РС (надалі – електроліт 1:6).

Якісну оцінку морфологічного стану поверхневого шару проводили шляхом оптичної мікроскопії з використанням *USB-мікроскопа Supereyes B008* (Китай) та скануючої електронної мікроскопії (*СЕМ*, режим зображень у вторинних електронах) – за допомогою мікроскопа *JEOLJSM-840* (Японія).

Попередні дослідження з використанням панорамних оптичних мікроскопів оптичної мікроскопії (збільшення 15...50) дозволили визначити загальні морфологічні особливості поверхневого шару покривів та проаналізувати ступінь однорідності структури за загальною площею поверхні зразків, у тому числі наявність та відносну кількість пор. Особливості кольорового ефекту дали можливість якісно оцінити присутність різних фазових складових.

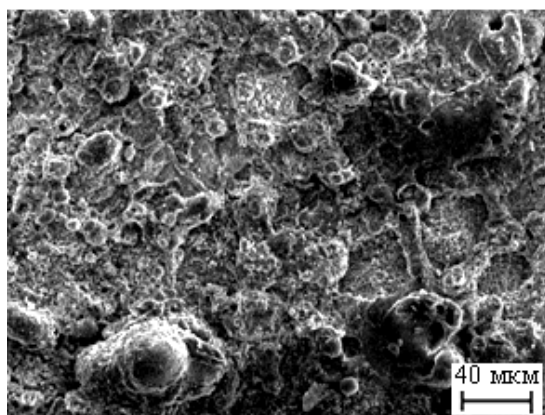
Аналіз за допомогою електронної скануючої мікроскопії (за умов збільшення 100...1000, значно більшої глибини різкості та виконання кутової зйомки $\alpha = 45^\circ$) дав можливість якісно оцінити характер мікрорельєфу, зокрема, висотну неоднорідність та форму фрагментів структури покривів, особливості характеру, стадії розвитку пор, їх розмір та глибину.

Дослідження проводились у локальних, технологічно сталих, заздалегідь визначених ділянках покривів.

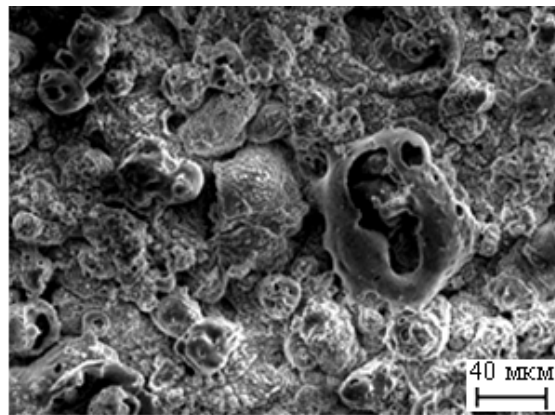
Аналіз результатів досліджень морфології МДО-покриттів на сплаві АК6 за допомогою скануючої мікроскопії (рис. 1) дозволяє зробити деякі узагальнення.

Зокрема, можна стверджувати, що всі поверхні МДО-покривів, сформованих в режимі ДПП на змінному струмі, мають досить розвинений характерний рельєф із чергуванням підйомів та упадин, утворених окремими конгломератами сполук зовнішнього (технологічного) шару.

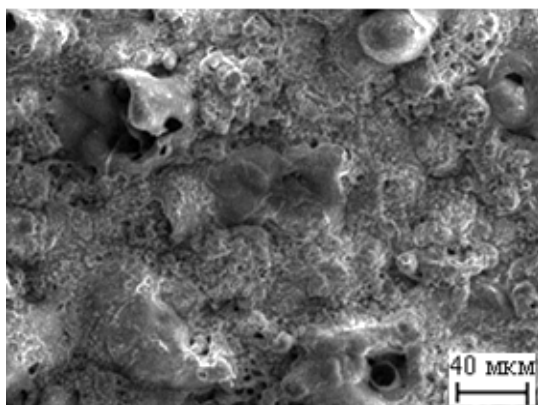
На всіх зразках в найбільшому полі зору (1,2 мм при збільшенні x100) спостерігаються пори – відкриті та в різній стадії зарощування. Розмір, відносна кількість та глибина пор залежать від режиму МДО (складу електроліту, часу електролізу).



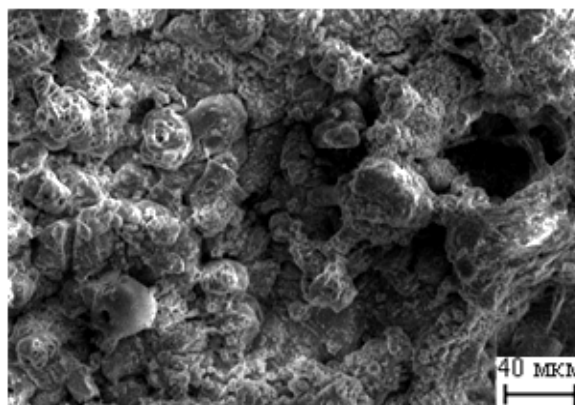
a



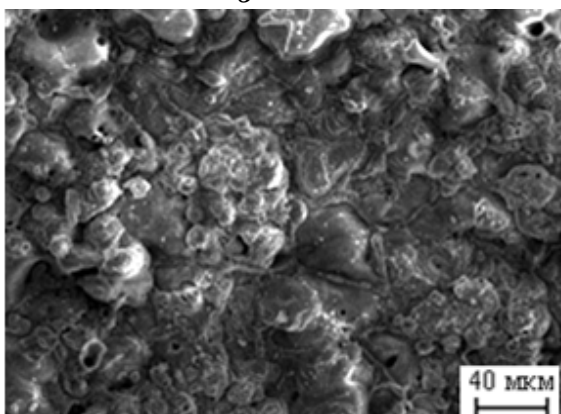
б



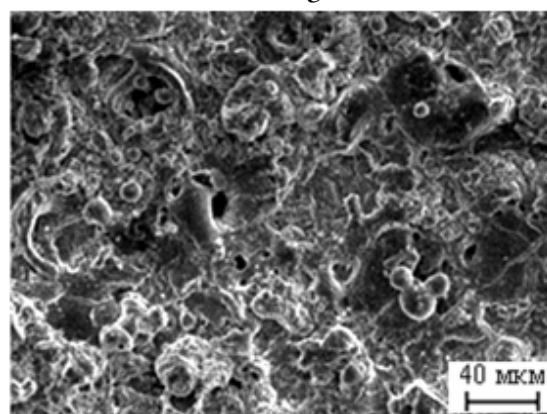
в



г



д



е

Рисунок 1 – Морфологія поверхні МДО-покривів на сплаві АК6, сформованих в режимі ДПП в різних електролітах: а, б – 0:12; в, г – 2:12; д, е – 1:6; а, в, д – 1 год.; б, г, е – 2 год.

Окрім частинок-конгломератів різного розміру (до 50...60 мкм) неправильної форми на поверхні зразків присутня крапельна фаза (розмір $\sim 2...10$ мкм) неідентифікованих речовин, які утворюються в результаті розплавлення окремих субстанцій, що характерно для процесу МДО.

Порівнюючи морфологію поверхні зразків, окисдованих в одному електроліті за різного часу електролізу (див. рис. 1,а і 1,б, 1,в і 1,г, 1,д, і 1,е), можна помітити, що з ростом часу вона стає більше розвиненою і рельєфнішою, з чіткими контурами частинок в усіх вимірах. Це якісно корелює з результатами аналізу шорсткості покриттів R_a , яка збільшується за аналогічних обставин.

Якщо порівнювати морфологію поверхні МДО-покриттів, сформованих в різних електролітах, можна зробити висновок, що найбільш виразно вона відрізняється для розчину 2:12 (див. рис. 1,в і 1,г). Порівняно із окисдованою поверхнею в розчинах 0:12 і 1:6 її характеризує більша «згладженість», тобто менша різновисотність та опуклість поверхневих частинок конгломератів матеріалу покриттів.

Іншою помітною особливістю морфології є відносно збільшена відкрита пористість такого покриття. Розмір пор складає від 2 до 50 мкм, при цьому деякі з них (переважно, більші за розміром) мають досить велику глибину поширення. Саме ці обставини можуть погіршувати показник шорсткості R_a , що і спостерігалось в попередніх дослідженнях.

З іншого боку, підвищена пористість, зокрема відкрита, може призводити до погіршення основних функціональних (ізоляційних) властивостей, що теж було підтверджено результатами наших попередніх досліджень.

Відповідальним чинником за формування характерної морфології поверхні в розчині 2:12, скоріше за все, є лужна складова розчину (КОН) та її травильна дія, яка зростає зі збільшенням концентрації лугу. Непрямим підтвердженням цього може бути «середній» рельєф поверхні, окисдованої в розчині 1:6, в якому концентрація КОН відповідно вдвічі менше (див. 1,д і 1,е).

На такій поверхні фіксується незначна відносна кількість пор (менша, ніж у поверхні із розчину 2:12), їх розміри теж зменшуються до 1...6 мкм. Збільшення часу електролізу до 2 год призводить до подальшого зменшення як кількості, так і розміру відкритих пор.

В даній роботі результати досліджень *SEM* розглянуті як допоміжні. В той же час вони дають змогу інтерпретувати результати, отримані за іншими методиками, що характеризують властивості покриттів. Зокрема, це відноситься до нашого визначення параметрів шорсткості та показників діелектричних властивостей, з представленням останніх увазі та опублікованих у матеріалах попередньої конференції, присвяченої 100-річчю ОНПУ.

Можна стверджувати, що за результатами морфологічних досліджень найбільш придатним електролітом з точки зору формування МДО-покриттів з мінімальною шорсткістю та пористістю є лужно-силікатний розчин складом 1 г/л КОН + 6 г/л РС. Важливо, що саме в цьому розчині були досягнуті найкращі показники діелектричних властивостей покриттів, отриманих на змінному струмі в режимі ДПП, який вибрано базовим для технологічного процесу.

ПИТАННЯ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ АВТОМАТИЗОВАНОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ СТРУКТУР МАТЕРІАЛІВ

Вірний вибір типів матеріалів при створенні тих чи інших деталей, вузлів, машин є одним з важливих завдань енергозбереження у сучасній промисловості. Він базується на використанні ряду методів досліджень, у тому числі – металографічного аналізу. Традиційний аналіз структур матеріалів з використанням звичайних металографічних мікроскопів поступово змінюється автоматизованим аналізом з використанням автоматизованих та інтелектуальних систем. Цьому напрямку присвячена низка робіт вітчизняних та зарубіжних дослідників.

У ОНПУ розробляється інтелектуальна система класифікації структур матеріалів, що орієнтована на використанні в учбовому процесі кафедри МТМ. Реєстрація зображень інформативних зон мікрошліфів матеріалів виконується на модернізованому мікроскопі МІМ – 7, оснащеному системою технічного зору. Для забезпечення якості автоматизованої класифікації компонентів структур (КС) матеріалів треба вирішити низки питань. Перша з них пов'язана з забезпеченням отримання високоякісних зображень мікроструктур. На рис. 1 приведено приклад виникнення похибок при виділенні контурів КС матеріалів внаслідок невисокої якості вихідного зображення мікроструктури. Тут μ – відображення процесу бінаризації початкового зображення КС, η – відображення процесу виділення контурів КС.

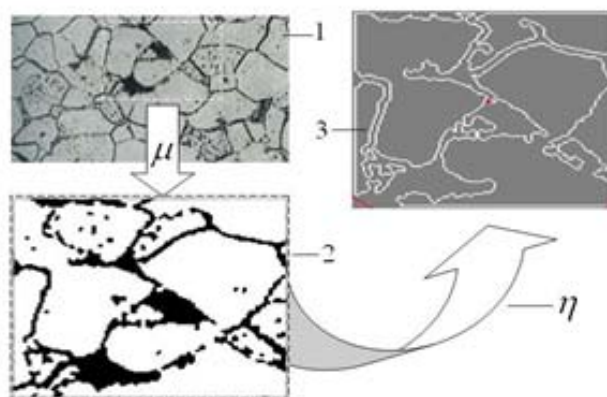


Рисунок 1 – Схематичне представлення процесу виникнення похибок при виділенні контурів КС матеріалів внаслідок невисокої якості вихідного зображення мікроструктури

Друга низка питань пов'язана з забезпеченням якості визначення первинних та вторинних геометричних ознак контурів КС. Загальна схема процесів попередньої обробки зображень структур, виділення контурів КС та визначення їх первинних ознак приведена на рис. 2.

Третя низка питань пов'язана з забезпеченням якості класифікації КС матеріалів по наборам ознак, первинними з яких є геометричні ознаки КС.

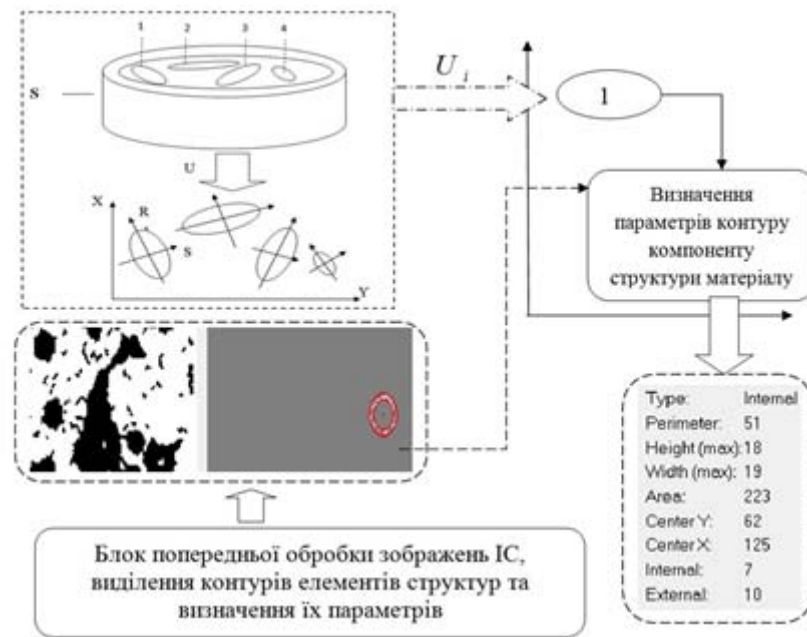


Рисунок 2 – Загальна схема процесів попередньої обробки зображень структур, виділення контурів КС та визначення їх первинних ознак

На рис. 3 приведено зображення результатів початкового етапу класифікації – для набору з 4 – х класів КС матеріалів ($\Omega_1 - \Omega_4$) у просторі двох ознак КС (№№ 1, 2). Клас Ω_1 позначений як (+), клас Ω_2 – (0), клас Ω_3 – трикутник, клас Ω_4 - квадрат. Класифікація виконувалась для двох пар класів.

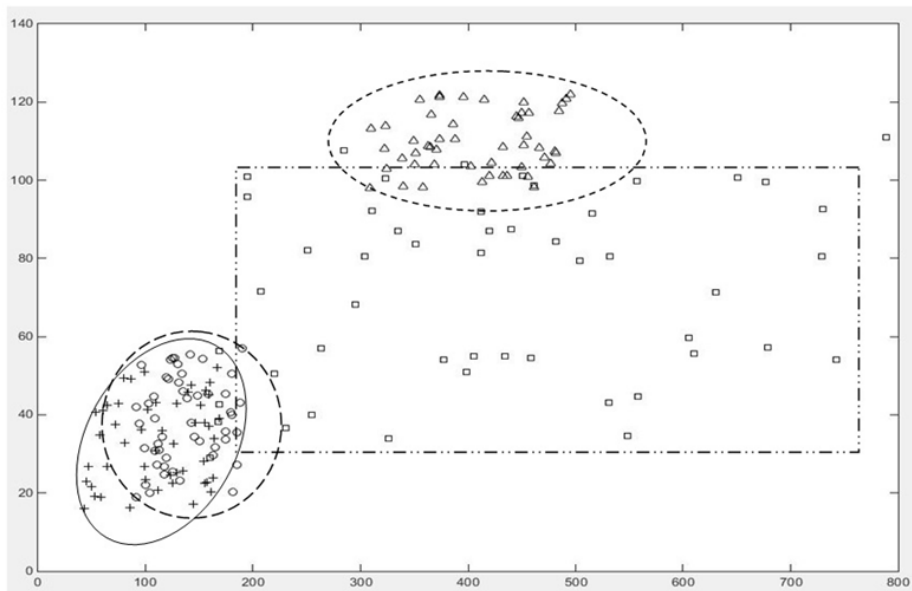


Рисунок 3 – Зображення результатів початкового етапу класифікації 4-х класів КС матеріалів

Використано наступні параметри якості класифікації КС матеріалів: PVR – процент вірної класифікації, P_1 – похибка першого роду, P_2 – похибка другого

роду. Тут отримано такі значення параметрів якості класифікації; $PVR = 88\%$, $P_1 = 0$; $P_2 = 24$. Звісно, що така якість не може бути достатньою. На рис. 4 приведено зображення результатів заключного етапу класифікації чотирьох класів КС матеріалів у просторі двох інформативних ознак КС (№№ 2, 7). Тут отримана висока якість класифікації КС: $PVR = 98,5\%$, $P_1 = 0$; $P_2 = 7$.

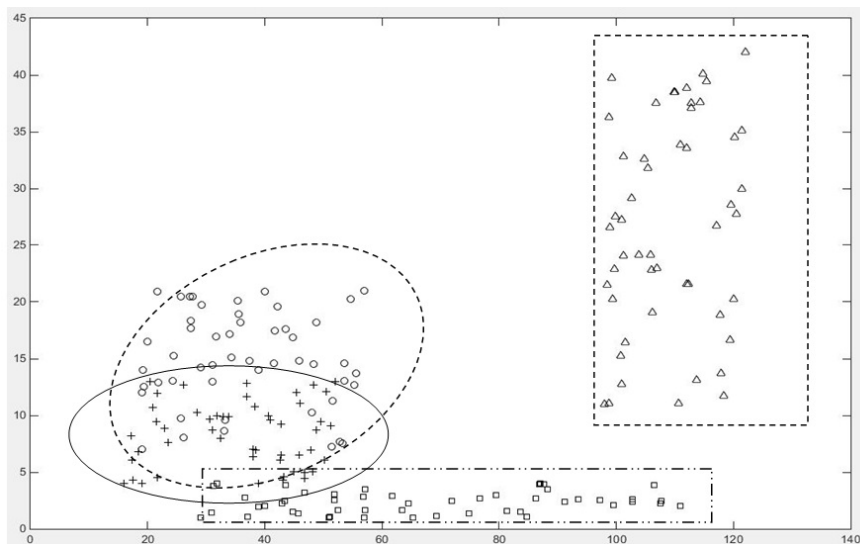


Рисунок 4 – Зображення результатів заключного етапу класифікації 4-х класів КС матеріалів

Отже, проведені дослідження показали, що для підвищення якості класифікації КС матеріалів необхідно:

- 1) забезпечення високої якості зображень мікроструктур;
- 2) забезпечення якості визначення первинних та вторинних геометричних ознак контурів КС;
- 3) пошук найбільш інформативних ознак класів КС матеріалів.

Дик С. К., Хейфец И. М.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Беларусь,*

Алексеева Т. А.

Полоцкий государственный университет, г. Новополоцк, Беларусь

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ МНОГОФАКТОРНЫМИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Привлечение методов искусственного интеллекта предполагает использование интеллектуальных систем управления (ИСУ). В их основе лежит идея построения высокоорганизованных систем автоматического управления, базирующихся на использовании моделей переменной сложности и неопределенно-

сти, с выполнением таких интеллектуальных функций, присущих человеку, как принятие решений, планирование поведения, обучение и самообучение в условиях изменяющейся внешней среды.

Обучение – способность системы улучшать свое поведение в будущем, основываясь на прошлой экспериментальной информации о результатах взаимодействия с окружающей средой. Тогда самообучение – обучение системы без внешней корректировки, т.е. без указаний «учителя». В результате интеллектуальная система управления – такая система, в которой знания о неизвестных характеристиках управляемого объекта и окружающей среды формируются в процессе обучения и адаптации, а полученная при этом информация используется в процессе автоматического принятия решений для улучшения качества управления.

Экспертные системы имеют дело с задачами искусственного интеллекта на верхнем уровне, работая с символической информацией для получения выводов об окружающей среде и формирования соответствующих управленческих решений с учетом сложившейся или прогнозируемой ситуации. Они накапливают эвристические знания и, манипулируя ими, пытаются имитировать поведение эксперта.

Выполнение функций построения динамической модели объекта и его среды, а также поддержания контакта с внешним миром (датчиками, системами управления базами данных, регулятором) позволяет относить экспертную систему к классу динамических (активных), или экспертных систем реального времени.

Основу технологий автоматизированного проектирования и производства, контроля и управления составляет метод аналитического синтеза замкнутых систем управления, и полученные с его помощью алгоритмы управления, позволяют обеспечить на этапе синтеза заданные характеристики процессов управления, а на этапе моделирования заданные, либо достижимые показатели качества.

Технологии автоматизированного проектирования и управления по составу, структуре, форматам входных данных и представленных результатов в определенной степени могут рассматриваться как разновидность SADT-технологии (SADT - *Structured Analysis and Design Technique*). В наиболее детальной формулировке назначением SADT-технологии являются проектирование и управление процессами, состоящими из последовательности многофакторных воздействий и операций, характеризующих совокупностью оптимизируемых параметров качества.

SADT-диаграмма начального «нулевого» уровня (A0), сформированная на основании традиционного подхода к проектированию процессов, предполагает наличие четырех основных функций (блоков): управление проектированием (A1), разработка варианта технологического процесса (A2), оценка его себестоимости (A3) и оценка его качества (A4). Наиболее сложной для детализации является функция (A2) по разработке технологического процесса. Результатом декомпозиции этого блока является SADT-диаграмма уровня A2, в которой

представлены как процессы формирования совокупности математических моделей, моделирующего программного комплекса, так и собственно процесс моделирования. При разработке технологии проектирования подробному анализу подвергаются соответствующие функции A21, A22 и A23, а результатом их структуризации являются SADT-диаграммы соответствующего уровня.

В SADT-диаграмму уровня A23 входят: ввод краевых условий; моделирование программным комплексом; корректировка условий процесса и оптимизация моделирования; управление параметрами качества. Моделирование управления параметрами качества технологического процесса (блок A234) рассмотрим на примере операции комбинированной обработки детали.

Для контроля, анализа и управления существенно нелинейными многофакторными производственными процессами, зачастую не достаточно рекомендуемых традиционных методов контроля, вследствие особой сложности взаимосвязей технологических факторов и эксплуатационных параметров в процессах, совмещающих в одном методе обработки различные технологические операции, а в рамках операции комбинацию разнообразных технологических воздействий. Управлять операцией целесообразно с помощью наиболее влиятельных и наименее коррелированных с другими факторов. Согласно полученным из статистической модели данным, при структурном синтезе процесса комбинированной обработки, для детализации на SADT-диаграмме технологической операции целесообразно разделять группы наиболее значимых параметров качества.

Необходимо отметить, что изменение условий проведения технологической операции в связи с выпуском других деталей, выбором новых обрабатываемых материалов, прогрессивных инструментов и других причин, потребует проведения новых экспериментов и накопления экспериментальных данных для построения статистических моделей. Поэтому для управления процессами в динамических системах в реальном времени требуются методы искусственного интеллекта.

Наибольшее распространение при проектировании ИСУ получили методы интеллектуального управления (ИУ), которые относятся: экспертные и нечеткие системы; нейронные сети и генетические алгоритмы.

Нейронные сети (НС) – раздел искусственного интеллекта, для обработки сигналов в котором используются явления, а н а л о г и ч н ы е я в л е н и я м, происходящим в нейронах живых организмов. Их важнейшей особенностью является возможность параллельной обработки информации в семи звеньями. Громадное количество межнейронных связей позволяет значительно ускорить процесс обработки информации и сделать возможным преобразование сигналов в реальном времени. Большое число межнейронных связей обеспечивает устойчивость НС к ошибкам: в этом случае функции поврежденных связей берут на себя исправные линии и деятельность сети не претерпевает существенных возмущений.

Генетические алгоритмы (ГА) – большая группа методов адаптивного поиска и многопараметрической оптимизации, связанная принципами естествен-

ного отбора и генетики. Генетические алгоритмы – это методы случайного глобального поиска, копирующие механизмы естественной биологической эволюции. ГА оперируют с популяцией оценок потенциальных решений (индивидуумов), генерируя по принципу «выживает наиболее приспособленный» все более близкие к оптимальному решения. Процесс такой последовательной генерации приводит к эволюции популяций индивидуумов, которые лучше соответствуют окружающей среде по сравнению с предыдущими.

Таким образом, системный подход позволяет моделировать и управлять производственным технологическим процессом, представленным в виде отдельных блоков, что существенно упрощает описание сложных явлений, не упуская из вида пространственно-временную структуру моделируемой системы, характер связи между отдельными уровнями и подсистемами. При исследовании и разработке технических систем, включая сложные производственно-технологические системы, следует обеспечить на этапе синтеза заданные характеристики устойчивости и качества процессов управления, на этапе моделирования заданные либо достижимые показатели точности управляемых параметров.

В результате, рекомендовано при структурном анализе процесса комбинированной обработки, для детализации на SADT– диаграмме технологической операции, разделять группы наиболее значимых параметров качества, а по результатам статистического анализа моделей, полученных многофакторным планированием экспериментов, выделять для управления параметрами наиболее влиятельные и наименее коррелированные с другими технологические факторы.

Дитиненко С. А., Новиков Ф. В.

Харьковский национальный экономический университет
имени Семена Кузнеця, г. Харьков, Украина

МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ ПРИ АЛМАЗНОМ ШЛИФОВАНИИ

Опыт применения алмазного шлифования труднообрабатываемых материалов на основе карбида вольфрама свидетельствует о том, что алмазный круг претерпевает достаточно быстрый износ и потерю режущих свойств. Первоначально достаточно высокая производительность процесса к концу периода стойкости инструмента резко понижается из-за интенсивного засаливания круга. Стойкость круга составляет 6 ... 15 минут. Для восстановления режущих свойств алмазного круга возникает необходимость в его правке. Такой интенсивный износ круга в основном объясняется высокой твердостью обрабатываемого материала: микротвердость WC составляет 15850 – 17300 Н/мм².

Основной эксплуатационной характеристикой качества рабочих поверхностей алмазных инструментов является их режущая способность. Сохранение этих свойств в течение длительного периода времени находится в прямой зависимости от применяемого метода шлифования, позволяющего в той или иной степени поддерживать высокую развитость рельефа алмазного круга, исключать его засаливание в процессе работы и обеспечивать необходимое выступание режущих зерен над связкой алмазного круга.

Опыты многих исследователей [1] показывают, что алмазные круги после электроэрозионной правки обладают высокими режущими свойствами, которые существенно превышают режущие свойства, получаемые после других видов правки – абразивной, катодной и пр. Они довольно долго сохраняют режущую способность, хотя в начальный период приработки наблюдается некоторое снижение производительности. При этом имеет место повышенный расход алмазов вследствие вырывания наиболее выступающих слабо закрепленных зерен. Если работа производится в режиме алмазно-искрового шлифования, то режущая способность круга стабильно сохраняется в течение длительного времени (несколько часов). В результате электроискрового воздействия существенно повышается режущая способность кругов, что приводит к снижению напряженного состояния обрабатываемой поверхности. Так, в результате шлифования сплавов ВК8 алмазными кругами одинаковой зернистости, но с различным способом правки круга (абразивная, электроэрозионная), наблюдается формирование в карбидной фазе сжимающих остаточных напряжений, обнаружена тенденция к их возрастанию в 2 раза при шлифовании кругами, правленными электроэрозионным способом (режим механической обработки образцов – $V_{кр} = 30$ м/с, $S = 1$ м/мин, режим электроэрозионной правки кругов при помощи генератора импульсов – $f = 8$ кГц, $W = 0,009$ Дж) [2].

Сжимающий характер остаточных напряжений указывает на существенное значение силового фактора в формировании напряженного состояния обрабатываемой поверхности в обоих случаях правки и меньшим тепловыделением вследствие лучшей микрогеометрии алмазных зерен и большего выступления их над связкой в случае шлифования кругами, подвергнутыми правке электроэрозионным способом. Процесс алмазно-искрового шлифования (АИШ) основан на совмещении в зоне обработки механического резания и электроискрового воздействия.

Исследование качества поверхности труднообрабатываемых сплавов после АИШ представляет практический интерес. Твердые сплавы на основе WC имеют относительно низкую прочность на изгиб. Как известно, твердость карбида вольфрама очень высокая, но в то же время он очень хрупкий. При АИШ высокотемпературный и высокоскоростной локальный нагрев приводит к существенным изменениям в условиях работы алмазных зерен и, следовательно, может влиять на фазовый состав, микроструктуру и напряженное состояние обработанной поверхности. Одновременно с этим происходит электроискровое воздействие на материал инструмента и его правка, что в свою очередь отражается на параметрах состояния поверхностного слоя.

На процесс формирования обработанной поверхности при АИШ оказывают влияние в основном электрические параметры обработки: сила тока, напряжение. С увеличением силы тока (от 10 до 60 А) высота микронеровностей несколько уменьшается. Это объясняется тем, что с увеличением силы тока повышается интенсивность электрохимических процессов, что уменьшает долю механического съема.

Некоторое уменьшение микротвердости при электрохимическом алмазном шлифовании можно объяснить меньшими силовыми воздействиями на обрабатываемую деталь вследствие преимущественного растворения кобальтовой связи [2]. В связи с этим важно оценить параметры качества обработки крупнозернистых и мелкозернистых твердых сплавов на основе карбида вольфрама после алмазно-искрового и обычного алмазного шлифования кругами формы 12А1 и 1А1 на металлической связке М1-01 [3].

Первоначально проводились исследования процесса алмазного шлифования кругом 12А1 45° 150×10×3×32 АС6 125/100 М1-01 4 (с применением электроэрозионной правки) торца кольца, выполненного из композиции "твердый сплав "Релит" – медь". Твердый сплав релит – это зерна литого карбида вольфрама размером 0,18 ... 0,28 мм, твердостью 21000 ... 28000 Н/мм². Композиция "твердый сплав "Релит" – медь" получена методом прессования с удельным давлением 3 ... 4 т/см² и последующим спеканием в вакуумной печи при температуре 1150 ... 1200 °С.

Структура сплава "Релит" представляет собой вольфрамовый каркас, поры которого заполнены медью (рис. 1,а). Медь и вольфрам практически не растворяются один в другом ни в жидком, ни в твердом состоянии. Твердые сплавы на основе WC имеют простую кристаллическую решетку, которая не распадается при нагреве и отличается высокой прочностью. Особенностью данного сплава является то, что размер зерна WC составляет 0,2 мм и выше, что затрудняет процесс шлифования.

Шлифование торца вращающегося кольца торцом алмазного круга производилось на внутришлифовальном станке. Кольцо устанавливалось в патроне. Круг устанавливался на шпинделе станка и прижимался к торцу кольца. Скорость подачи круга в радиальном направлении составляла 1,5 мм/мин, скорость вращения круга – 30 м/сек, скорость вращения кольца – 60 м/мин, СОЖ – 3 %-й раствор Na₂NO₃. Электроэрозионная правка алмазного круга производилась с использованием источника постоянного тока мощностью до 2-х кВт.

Для определения фазового состава проводились рентгеновские съемки поверхностного и предповерхностного слоя (около 5 мкм от поверхности) прошлифованного образца на дифрактометре Дрон-2,0 в излучении хромового анода. Дифрактограммы записывались автоматически при непрерывном вращении образца и счетчика. На дифрактограммах поверхностного и предповерхностного слоя выявляются линии только WC и Cu. Линии достаточно сильные и идентифицируются уверенно. Интенсивность дифракционных линий поверхностного слоя меньше, чем предповерхностного, что объясняется различной чистотой поверхности.

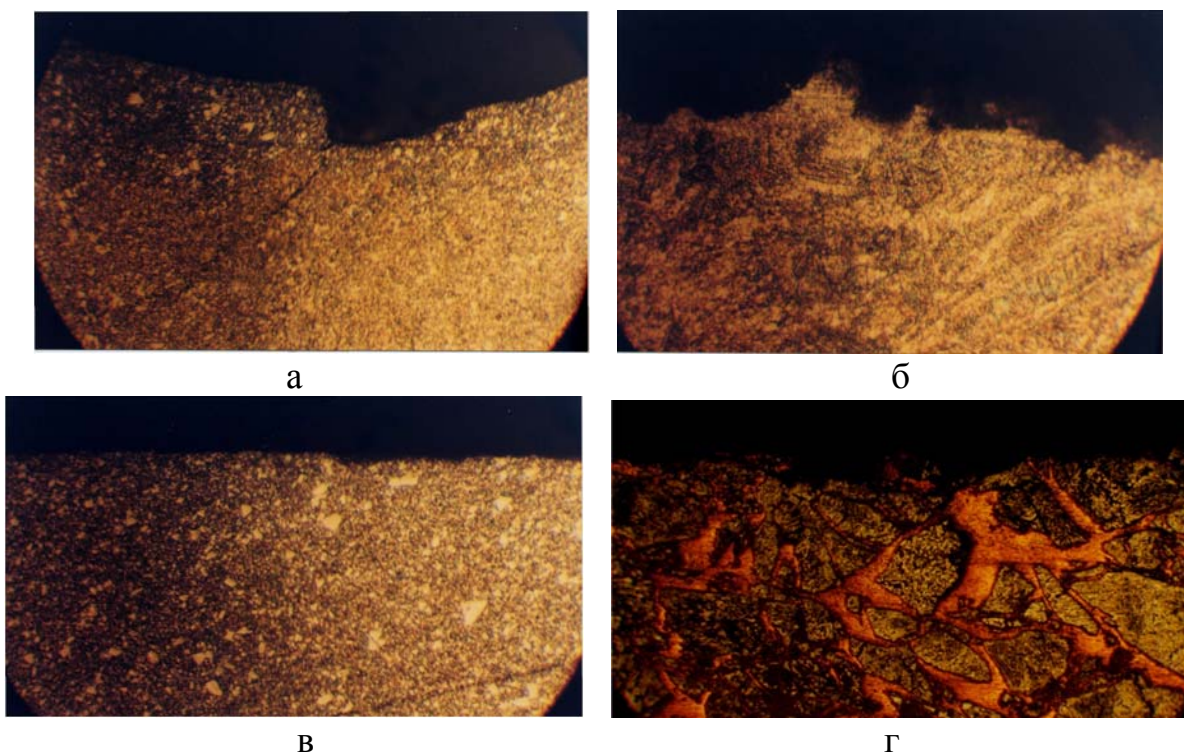


Рисунок 1 – Микроструктура твердых сплавов на основе карбида вольфрама

Металлографический анализ выявляет наличие микролунок (рис. 1,а). Под действием электрического разряда происходит быстрый высокотемпературный локальный нагрев поверхности электродов с образованием микролунок за счет плавления, кипения, испарения металла. Глубина лунок на поверхности нашего образца в среднем равна 4 мкм.

Измерение микротвердости H поверхностного и предповерхностного слоя образца при нагрузке 100 г выявили наличие упрочнения в поверхностном слое: $H = 12268$ Н/мм², а в приповерхностном слое $H = 10623$ Н/мм². Опыты многих исследователей показали, что существует оптимальная микротвердость поверхностных слоев трущихся деталей. Для повышения износоустойчивости деталей машин необходимо создавать в процессе АИШ микротвердость поверхностных слоев трения, равную или несколько большую оптимальной для данных условий трения поверхностей. Задача будущих исследований – определить оптимальную величину микротвердости для сплава "Релит" после АИШ для заданных условий трения.

Остаточные ориентированные напряжения σ определялись рентгенографическим методом многократных наклонных съемок ("sin² Ψ -метод) на дифрактометре Дрон-1 в излучениях хромового анода. Регистрация профилей дифракционных линий проводилась по точкам – способом набора заданного числа импульсов.

Расчет напряжений в поверхностном слое сплава показал наличие растягивающих напряжений в карбидной фазе: $\sigma = +244,3$ Н/мм²; напряжения в медной составляющей сплава равны нулю.

На основании приведенных выше результатов можно сделать следующие выводы:

1. Электрические разряды выполняют вспомогательную роль, их действие способствует интенсификации основного процесса шлифования, а именно поддержанию высокой режущей способности алмазного круга.

2. Исследование показателей качества поверхностного слоя сплава выявили оптимальные значения с точки зрения износостойкости, а именно: отсутствие фазовых превращений; отсутствие микротрещин; наличие упрочнения поверхностного слоя.

Сплав ВК8 (92 % WC и Co 8 %) относится к I группе твердых сплавов и применяется в основном для обработки чугуна, цветных металлов. Порошок WC прессуют и спекают при высокой температуре (1400 °C) с порошком кобальта, при этом кобальт является пластичной связкой для WC и сплавов, неметаллических материалов [4].

Весьма целесообразно применение резцов, оснащенных ВК8, при непрерывном точении жаропрочных сплавов (ЭИ437А, ЭИ767, ЭИ766, ЭИ787, ЭИ827), например, при обработке дисков турбин. Одновременно установлена невозможность использования твердых сплавов при непрерывном точении жаропрочных сплавов, так как уже в первые минуты работы резцов имеют место крупные сколы пластинок, после чего их дальнейшее использование становится невозможным. Наблюдения за износом резцов, оснащенных твердым сплавом при непрерывном точении сплава ЭИ437, показывают, что имеет место сваривание образующейся стружки с твердым сплавом. При срыве налипших частиц приварившейся стружки происходит отслаивание твердого сплава как по передней, так и по задней поверхностям [5].

Таким образом, резцы из твердых сплавов типа ВК8 работают в условиях высоких температур и знакопеременных нагрузок. Поэтому большой интерес представляют вопросы изучения влияния условий АИШ на основные характеристики качества поверхности, которые определяют поведение резцов и других деталей в процессе эксплуатации.

Качество поверхностного слоя пластинок из твердого сплава оценивается совокупностью показателей, характеризующих геометрию поверхностного слоя и его физико-механические свойства. Первая группа показателей включает характеристику макро- и микронеровностей поверхности; наличие или отсутствие микротрещин является важным показателем работоспособности инструмента, а вторая – характеристики структуры, напряженное состояние, фазовый состав и твердость [6].

Усталостная прочность является одной из основных эксплуатационных характеристик для твердосплавных инструментов. Как было установлено многочисленными наблюдениями исследователей, очаги разрушения деталей от усталости материала зарождаются на их поверхности. Поэтому усталостная прочность деталей машин в значительной степени определяется шероховатостью их поверхностей и физическим состоянием поверхностного слоя. Наличие на поверхности детали, работающей в условиях циклической и знакопеременных нагрузок, отдельных дефектов и шероховатостей способствует концентрации напряжений, величина которых может превысить предел усталости материала. В

этом случае поверхностные дефекты и обработочные риски играют роль очагов возникновения субмикроскопических нарушений сплошности материала поверхностного слоя и его разрыхления, являющихся первопричиной образования усталостных трещин.

Для исследования качества поверхности сплава ВК8 были взяты четыре образца, шлифованные на круглошлифовальном станке алмазным кругом 1А1 300×25×6 АС6 125/100 М1-01 4. Образец №1 шлифовался в режиме алмазно-искрового шлифования: сила тока $I = 20$ А, поперечная подача $S_{non} = 0,2$ мм/дв. ход, скорость круга $V_{кр} = 25$ м/с, скорость вращения заготовки $V_{вр.заг.} = 180$ об./мин, скорость движения стола $V_{стола} = 12$ м/мин, съём материала составил 6 мм. Образец №2 после шлифования на вышеуказанном режиме подвергался выхаживанию, то есть шлифованию без подачи (в течение 3 минут) до полного исчезновения искры. Съём материала также составил 6 мм.

Образец №3 обрабатывался по режиму обычного алмазного шлифования, с теми же механическими параметрами обработки. Однако алмазный круг предварительно подвергался электроэрозионной правке. Стойкость его работы увеличилась примерно в 10 раз.

Образец №4 обработан по схеме: обычное алмазное шлифование + выхаживание (без подачи).

Весьма тонкие поверхностные слои материала после шлифования характеризуются определенными изменениями физико-механических свойств по сравнению со свойствами исходного материала. Для установления наличия фазовых превращений при различных условиях шлифования было проведено рентгеноструктурное исследование четырех образцов (пластин) из твердого сплава марки ВК8.

В результате произведенного фазового анализа было установлено наличие только двух фаз WC и Co – β – твердого раствора. Оценка внутренних напряжений в поверхностном слое проводилась по выше описанной методике для сплава "Релит". Показателем степени напряженного состояния в поверхностном слое является полуширина B дифракционной кривой.

Режим АИШ формирует незначительные растягивающие напряжения $\sigma_{x1} = + 240$ Н/мм², что можно объяснить воздействием электрических разрядов на поверхность образца. Глубина лунок около 18 мкм (рис. 1,б). Режим №2 несколько уменьшает растягивающие напряжения: $\sigma_{x2} = + 157,4$ Н/мм². Сжимающие напряжения выявлены в образце №3 и составляют $\sigma_{x3} = -262,2$ Н/мм².

Многочисленными исследованиями установлено, что при наличии в поверхностном слое сжимающих напряжений усталостная прочность изделия значительно возрастает. В рамках данного режима можно говорить об улучшении состояния поверхностного слоя. Применяемая же доводка в образце №4 изменяет знак напряжений и составляет: $\sigma_{x4} = +195,4$ Н/мм². Металлографические исследования образцов также показали различное состояние поверхностного слоя. Особенно необходимо выделить поверхность образца №2 (рис. 1,в), где отчетливо видны микротрещины, которые являются результатом релаксации внутренних напряжений. Такой механизм трещинообразования характерен

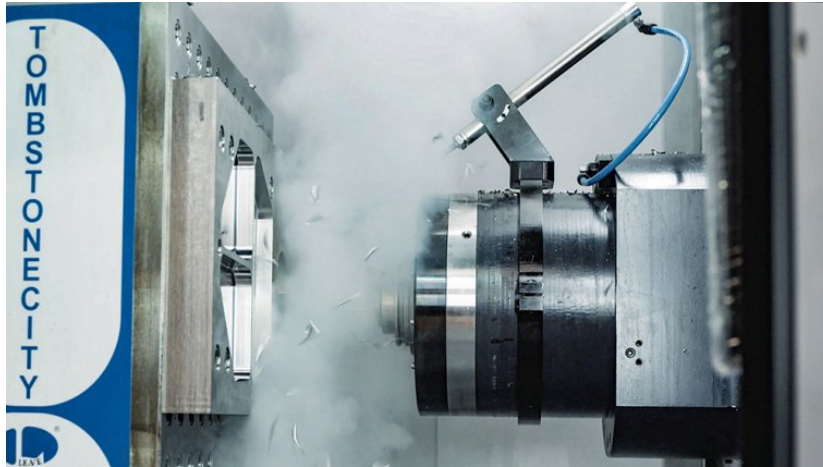
для хрупких и твердых материалов. Такое объяснение логично сочетается со значением внутренних напряжений данного образца (некоторое снижение растягивающих напряжений по сравнению с режимом АИШ №1). Глубина микролунок составляет 8 мкм для образца №2, глубина микролунок от электрических разрядов после АИШ равна 18 мкм. Поверхность образца №3 является оптимальной, так как на ней отсутствуют задиры, трещины (рис. 1,г). Полученные данные основных показателей качества образцов позволяют рекомендовать режим №3 для шлифования сплава ВК8.

Алмазный круг после электроэрозионной правки обеспечивает не только повышенную стойкость, но и качественный поверхностный слой, а именно: "чистую" поверхность, наличие сжимающих напряжений, оптимальную шероховатость, что обеспечивает высокую эксплуатационную надежность деталей, изготовленных из сплава ВК8 [7, 8].

ЛИТЕРАТУРА

1. Беззубенко Н. К. Повышение эффективности алмазного шлифования путем введения в зону обработки дополнительной энергии в форме электрических разрядов: автореф. дис. ... докт. техн. наук : специальность 05.03.01 "Процессы механической обработки, станки и инструменты" / Н. К. Беззубенко. – Харьков : ХГТУ, 1995. – 56 с.
2. Фукс М. Я. Состояние поверхностного слоя материалов после алмазной и эльбровой обработки / М. Я. Фукс, Н. К. Беззубенко, Б. М. Свердлова. – Киев: Вища школа, 1979. – 158 с.
3. Погребной М. А. Металографічний аналіз якості обробки твердих сплавів при алмазному шліфуванні / М. А. Погребной, С. М. Шевченко, В. П. Ткаченко // Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве : труды 7-й Междунар. научн.-техн. конф., г. Харьков, 27–28 мая 2003. – Харьков : ХНПК "ФЭД", 2003. – С. 103–106.
4. Кузьмин Б. А. Металлургия. Металловедение и конструкционные материалы / Б. А. Кузьмин, А. И. Самохоцкий, Т. Н. Кузнецова. – Москва : Высшая школа, 1977. – 176 с.
5. Криворуков В. А. Обрабатываемость резанием жаропрочных и титановых сплавов. – Москва : Издательство машиностроительной литературы, 1961. – 245 с.
6. Попов С. А. Алмазно-абразивная обработка металлов и твердых сплавов / С. А. Попов, Н. П. Малевский, Л. М. Терещенко. – Москва : Машиностроение, 1977. – 263 с.
7. Технологии производства: проблемы и решения : монография / Ф. В. Новиков, В. А. Жовтобрюх, С. А. Дитиненко, А. Г. Крюк, Н. Ф. Савченко, В. Г. Шкурупий, В. И. Полянский, И. А. Рябенков, Д. Ф. Новиков. – Днепр: ЛИРА, 2018. – 536 с.
8. Современные технологии и техническое перевооружение предприятий : монография / Ф. В. Новиков, В. А. Жовтобрюх, А. А. Андилахай, Д. Ф. Новиков, В. И. Полянский. – Днепр : ЛИРА, 2018. – 400 с.

КРИОГЕННАЯ ОБРАБОТКА – НОВОЕ СЛОВО В АВИАЦИОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ



Очевидный факт: механическая обработка сопровождается выделением тепла. Этот нежелательный побочный эффект вызывает множество проблем у машиностроителей. Само собой разумеется, что удаление его из процесса приведет к улучшению многих показателей: сокращению времени обработки, увеличению стойкости инструмента и повышению качества детали. Невозможно, даже теоретически, представить себе перспективы улучшения процесса резания, если удастся снизить температуру до -196°C в зоне обработки. Но с уверенностью можно сказать, что результат был бы потрясающим. Поэтому такие эффекты и являются областью изучения теории криогенной обработки. Но как обстоят дела на практике? Рассмотрим результаты совместной работы DOOSAN, компании 5ME®Cryogenics и конечного заказчика – с целью улучшения процесса изготовления деталей для коммерческого самолетостроения с использованием криогенной техники.

Компания Milling Precision Tool Company (MPTC) – это механическая мастерская со станками ЧПУ в городе Уичите (штат Канзас), которая обслуживает потребности местной аэрокосмической промышленности. Штат сотрудников составляет около 30 человек, и они производят сложнейшие изделия для таких клиентов, как Cessna/Textron, авиационное подразделение Lockheed Martin, Boeing и многих других. Так как компания развивается в данной области уже более 55 лет благодаря прогрессивной культуре производства, организация непрерывно как-бы "переизобретает" себя, совершенствуя внутренние процессы, придерживаясь бережливого подхода, обеспечивая непрерывный поток в производстве и всегда думая о том, как сократить время наладки.

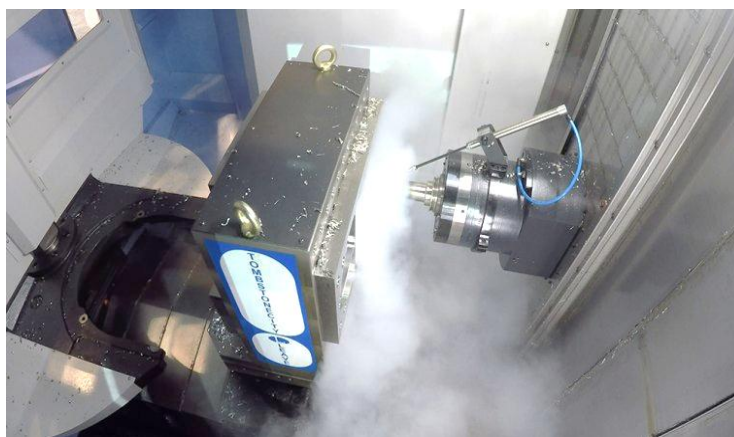
Партнер MPTC Майк Крейг сказал: "Примерно год назад мы начали изучать технологию криогенной обработки, насколько она может помочь нашему

цеху в обработке твердых металлов, таких как титан, нержавеющая сталь и другие сплавы, а также композитов, все шире применяющихся в аэрокосмической промышленности".

По воле судьбы, компания DOOSAN только что объединила усилия с компанией 5ME®Cryogenics, чтобы продемонстрировать преимущества криогенной обработки. Уникальный многопатентный процесс криогенной обработки 5ME® – это революционная технология, которая позволяет повысить скорость снятия металла и увеличить стойкость инструмента, обеспечивая подачу жидкого азота при температуре -196°C через шпиндель/револьверную головку, корпус державки, режущий инструмент – непосредственно на режущую кромку. Такая экологически чистая технология обработки повышает производительность, качество изделий, стойкость инструмента, а соответственно, прибыльность предприятия, попутно сокращая расход СОЖ и снижая потребление энергии.

В качестве оборудования для криогенных операций был выбран горизонтальный обрабатывающий центр DOOSAN NHP 6300 с конусом шпинделя под инструментальную оправку BT50 и размером стола 630x630 мм, оснащенный шпинделем BIG PLUS со скоростью вращения 10000 об./мин. Выбранный горизонтальный обрабатывающий центр DOOSAN NHP 6300 обладал всеми требуемыми геометрическими и силовыми параметрами для обработки изделий заказчика.

Денни Крейц, менеджер Machine Tool Specialities (дистрибьютор Doosan Machine Tool America в этом регионе), знает свое дело. Последние 5 лет он работает с компанией МРТС над стандартизацией оборудования в цеху. Он пригласил представителей МРТС в город Уоррен, Мичиган (где находились специалисты из 5ME® и станок NHP 6300) для демонстрации процессов силовой и финишной обработки.



Убедившись, что такое решение подходит для текущих задач производства, компания МРТС без промедления разместила заказ на поставку модели ОЦ NHP 6300, оборудованного функцией криогенной обработки.

По словам Уилла Грубера (Will Gruber), менеджера по маркетингу и продажам для 5ME®, компания Milling Precision Tool после инсталляции станка

NHP 6300 без промедления запустила непрерывный цикл производства плановых изделий. В качестве обрабатываемых материалов выступали твердые металлы: титан (6AL4V), нержавеющая сталь (15-5 PH) и другие сплавы. Компания начала обрабатывать детали с применением криогенной технологии и значительно уменьшила время цикла: некоторые показатели сократились почти на 50 %. Скорость снятия материала возросла примерно вдвое, по сравнению с обработкой при подаче обычной охлаждающей жидкости поливом в зону резания. Кроме того, использование криогена обеспечило 30 %-ю экономию на покупке СОЖ (учитывалась цена охлаждающей жидкости, включая стоимость ее утилизации).

Несмотря на то, что срок службы инструмента остался постоянным на уровне 60 минут (отраслевой стандарт), МРТС стала обрабатывать детали в 2 – 2,5 раза быстрее. Поэтому логично, что стойкость инструмента в расчете на деталь (объем удаленного материала за единицу времени) увеличилась в 2 – 2,5 раза. Это моментально привело к более, чем двукратной экономии на закупках инструмента при сохранении объема производства данных изделий. А далее, очевидно, что повышение производительности привело к снижению всех производственных затрат на этом участке, к снижению себестоимости изделий, к ускорению поставок для заказчиков и к увеличению объема выполняемых заказов.

Опираясь на свой опыт, компания Milling Precision Tool стала своего рода выставочным залом для 5ME® DOOSAN и Machine Tool Specialities, а также для местных клиентов из аэрокосмической отрасли. В конце 2018 года МРТС на своем предприятии провела двухдневную презентацию для компании Cessna/Textron, в рамках которой были представлены преимущества механической обработки с применением жидкого азота, возможности металлорежущего оборудования DOOSAN и образцы деталей, а также продемонстрированы возможные типы обработки без применения традиционной охлаждающей жидкости. Это привело к тому, что Cessna/Textron обновили производственные спецификации своих поставщиков оборудования, включив криогенную обработку в качестве допустимой методологии при изготовлении своих изделий.

По мере того, как Milling Precision Tool расширяет свой бизнес с учетом открывшихся возможностей, благодаря приобретению современного оборудования DOOSAN, уже ведутся разговоры о расширении мощностей и добавлении новых станков, как для криогенной обработки алюминия, так и для обработки сложных изделий из твердых металлов за счет внедрения современных методов автоматизации. К примеру, компания DOOSAN предлагает модифицируемую линейную и поворотную систему паллет для модели NHP 6300, которая позволит оператору не присутствовать возле оборудования все время смены, минимизируя время наладки при обработке различных деталей.

Описанная установка считается самым первым горизонтальным обрабатывающим центром с функцией криогенной обработки в США; и первым горизонтальным центром для компании Milling Precision Tool. При этом для МРТС было важно находиться в центре внедрения данной технологии, ведь это позволило им представить преимущества технологии своим клиентам – важными ключевыми игроками в аэрокосмической отрасли.

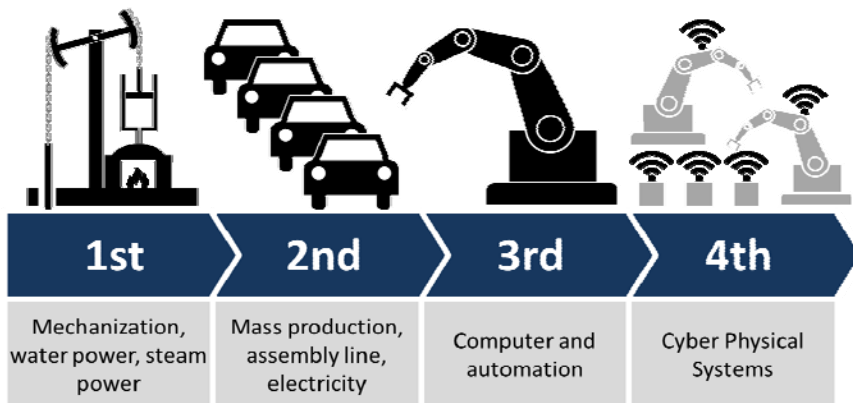
ЧЕТВЕРТАЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ РЕВОЛЮЦИЯ СТРЕМИТЕЛЬНО ВХОДИТ В НАШУ ЖИЗНЬ

Стремительность развития процессов четвертой промышленной революции – главное ее отличие от трех предшествующих. К такому выводу я пришел летом этого года, когда мне посчастливилось побывать на нескольких инновационных промышленных предприятиях Израиля и Финляндии. А на конференции, собравшей разработчиков информационных платформ для автоматизации конструкторско-технологических процессов, состоявшейся весной в Будапеште, довелось пообщаться с представителями IT-компаний из нескольких европейских стран, разрабатывающих программное обеспечение для промышленного оборудования в США, Франции, Италии, России и в других странах ближнего и дальнего зарубежья. Откровенно говоря, я был ошеломлен темпами технологического развития в течение последнего года даже соседних с нами стран. Но еще больше меня сразил невероятный объем потока информации вокруг таких тем, как "промышленный интернет вещей", "цифровой станок", "имитационное моделирование" и т.п.

Такой качественный скачок в умах и производственных планах представителей машиностроительной отрасли во всем мире ввел меня в состояние некоторого страха. Следует отметить, что страх отстать, не успеть или опоздать всегда был одной из моих фобий в учебе, в спорте и в работе, конечно! Я понял, что, возглавляя предприятие, которое всегда находилось на передовой технического прогресса в Украине, упустить такой рывок в развитии новых технологий не могу себе позволить. Конечно, я и ранее осознавал, что мы, как инжиниринговая компания, всего лишь внедряем на украинских предприятиях передовое оборудование, инструмент, технологии и специализированное ПО, прежде всего, от зарубежных разработчиков. Зарубежных – исключительно потому, что нет отечественных конкурентных аналогов. А это значит, что страна в целом существенно отстает в уровне внедрения инноваций от индустриально развитых стран мира. Любопытно, что наука и образование в Украине находились на пике своего развития в 1970–80-х годах. Причем, еще в начале 1990-х, научный потенциал был способен давать промышленности серьезные, в том числе и программные, продукты по автоматизации процессов, часто опережая зарубежные разработки, включая и область информационных технологий. Все это, к сожалению, в прошлом.

Я осознал, что чуть не пропустил самое интересное – еще более стремительный рывок информационных технологий, когда соревнование между станкостроителями за самую совершенную конструкцию станка переместилось в область автоматизации и оцифровки процессов, в центре которых находится станок. Прямо сейчас в этом активное участие принимают практически все

производители станков с ЧПУ. Причем предприниматели, не желающие в ближайшие годы "вылететь" с рынка, не только с все большим интересом наблюдают за развитием событий, но и стремятся действовать. Яркое и обнадеживающее свидетельство тому – активизация в течение последнего года работы Ассоциации предприятий промышленной автоматизации Украины (АППАУ) во главе с Александром Юрчаком.



В настоящий момент наши коллеги из Европы и даже из России полным ходом реализуют проекты оцифровки методов сбора информации со станков и других производственных механизмов не только в опытных объе-

мах, но и по заказам крупных промышленных холдингов, оцифровывая процессы сбора и аналитики информации с помощью современных интернет-технологий. Причем проекты с реальным финансированием – как от частных заказчиков, так и в рамках государственных программ. И что интересно: почти повсеместно проекты реализуются с участием молодых талантливых специалистов с украинским паспортом. Парадокс, но, находясь за пределами нашей страны, я нашел объяснение странному и довольно неприятному изменению украинского рынка труда, замеченному мной осенью 2017 – весной 2018 гг.

Будучи за рубежом, я понял, почему стало так сложно найти хорошего специалиста в любое подразделение компании даже при достойной мотивации. Все просто: элита украинской молодежи, получив дипломы инженера, массово выезжает работать в Европу и дальше. К тому же, до недавнего времени не всем рядовым украинским гражданам финансово доступная возможность обучения детей в зарубежных вузах с последующим трудоустройством – сегодня стала обычной практикой. Особенно для жителей областных центров Украины и, безусловно, Киева. Летом 2014 г. один из известных украинских олигархов в ответ на беспокойство моего товарища о том, что скоро в Украине невозможно будет нанять молодых рабочих и инженеров вместо уходящих с заводов пенсионеров и уезжающих на заработки в Польшу и Чехию специалистов, цинично ответил: "Да ладно, это еще не скоро, на наш век хватит!.. ". И – ошибся!

Все меняется стремительнее, чем ожидали даже те люди, которые давно имеют "паспорт успеха в бизнесе". Я встретил немало наших молодых инженеров, работающих за пределами страны. И хорошо работающих! Ребята, нам не угнаться! Предполагаю, что молодежь и без хорошего образования также за последний год в немалой степени пополнила мировой генофонд стран, развивающих науку, образование и предпринимательство, а потому не имеющих проблем с наличием рабочих мест как для коренных жителей, так и для мигрантов из Украины ...

Интернет и информационные технологии все активнее проникают не только в бытовую среду, но и в производственную, помогая ей становиться более эффективной. Автоматизированные системы управления (АСУ) производственными процессами никого уже не удивляют и давно стали нормой для любого предприятия. Но, как правило, они представляют собой совокупность разрозненных, и нередко разбросанных по территории предприятия, вычислительных машин или операционных центров, объединенных в локальные сети и решающих узкий круг задач, весьма ограниченной компетенцией специалистов определенного департамента.

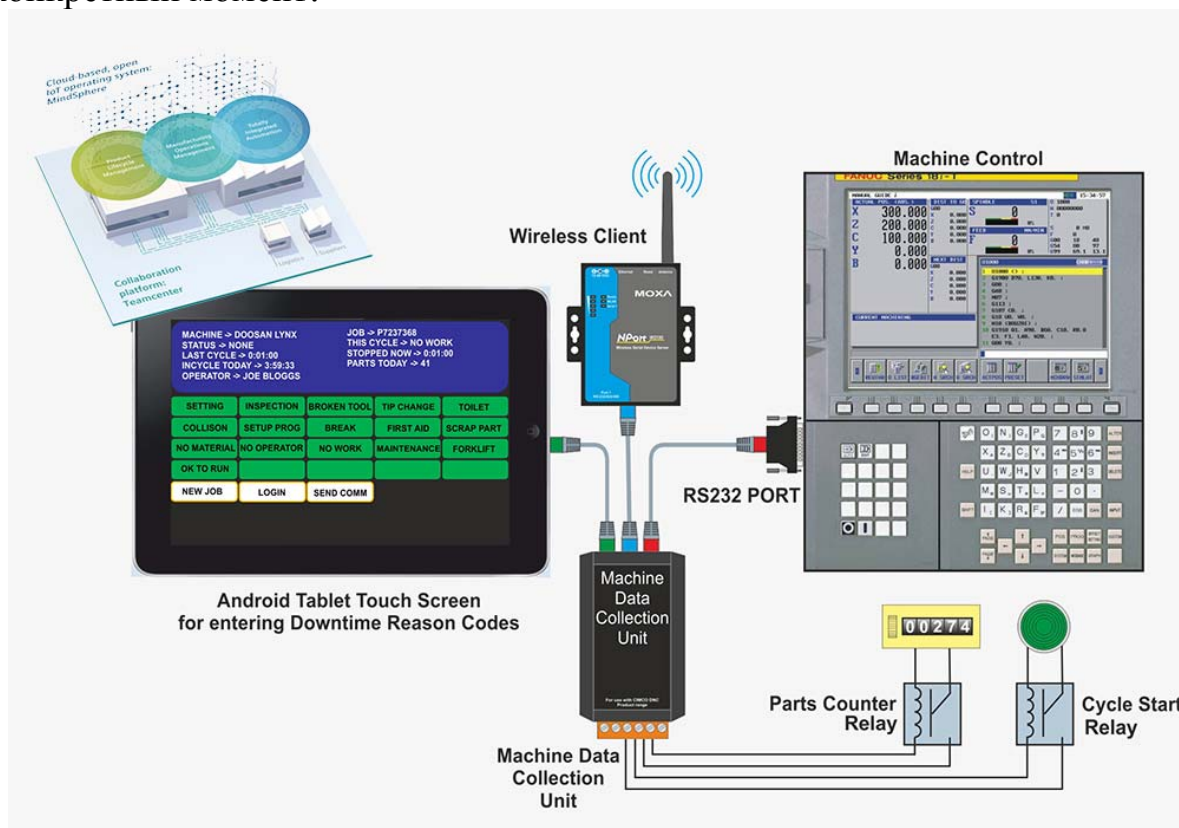
Вообще-то нынешняя ситуация с внедрением цифровых решений на украинских предприятиях напоминает один анекдот из начала 1990-х. "Встретились два директора заводов из Японии и Союза, выпускающих одну и ту же продукцию в одинаковых объемах. Директор японского завода рассказывает, что всю работу выполняет 8 человек и задает вопрос коллеге, а сколько у него работников? Директор советского предприятия, у которого работало в три смены 300 сотрудников, чтобы не "упасть в грязь лицом", не моргнув глазом, ответил – девять! На следующее утро встречаются в аэропорту. У японца красные глаза, он всю ночь не спал, увидев своего вчерашнего собеседника, спрашивает: "Чем все же занимается ваш девятый сотрудник? ...".

Рано или поздно каждый думающий руководитель предприятия задается вопросом, действительно ли внедренные 5 – 15 лет назад ERP (Enterprise Resource Planning) и CRM (Customer Relationship Management) системы являются достаточными для контроля производительности и эффективности работы? Ведь, как и 10 лет назад, чтобы действительно понять, насколько сбалансированно работает производство, все еще необходимо регулярно выходить из кабинета в цех, в буквальном смысле выполняя одну из главных заповедей бережливого производства Кайдзен о том, что из всех возможных методов контроля следует выбирать визуальный!

Согласно мнению многих украинских руководителей машиностроительных предприятий, причины низкой окупаемости инвестиций в оборудование кроются в невысокой степени или в искаженной информированности менеджмента предприятий о состоянии дел на производственных площадках. А также в неспособности персонала или информационных систем превентивно оценивать ситуацию, планируя своевременные мероприятия по предотвращению возможных сбоев в работе цеха, отдельного станка или даже определенного узла. Сбор и подготовка данных для уже действующих систем ERP нередко является слабым местом, не позволяющим получить реальную картину о ключевых показателях эффективности, для каждого предприятия своих.

Мой питерский знакомый Андрей Ловыгин, очень талантливый успешный бизнесмен, являясь разработчиком одной из самых эффективных систем мониторинга работы оборудования, рассказал историю о том, что один его клиент, вложивший огромные средства в покупку нескольких десятков металлообрабатывающих станков с ЧПУ, в течение нескольких месяцев получал отчеты как на свой компьютер, так и в бумажном виде о загрузке оборудования на

90 %! Но когда однажды, прежде чем принять решение о дополнительной закупке оборудования для полного выполнения объема заказов, он сам зашел в цех в разгар рабочего дня, то обнаружил, что ни один станок не работал в данный конкретный момент!



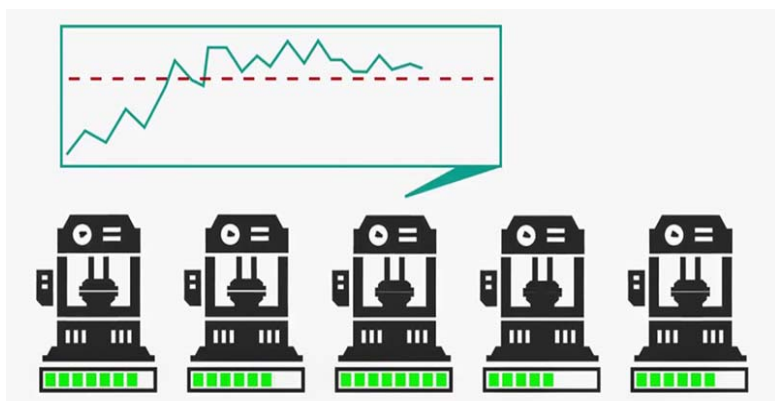
Внедрение на данном предприятии системы автоматизированного сбора информации о загрузке оборудования показало реальную ситуацию: лишь 17 % эффективной загрузки! Принятые меры привели к тому, что отпала необходимость в новых инвестициях. Уже установленного оборудования с лихвой хватало для выполнения всей производственной программы.

Бережливое конкурентоспособное производство – мечта любого собственника промышленной компании. Чаще других этими вопросами бывают обеспокоены именно руководители предприятий, инвестировавшие немалые средства в организацию современных производственных участков и в приобретение современного оборудования. Они стремятся повысить эффективность процессов за счет внедрения быстрых и умных станков, мало зависящих от квалификации персонала. Но очень скоро оказывается, что этого недостаточно для превращения завода в безупречную "машинку для зарабатывания денег". Сроки окупаемости отличаются от тех, что планировались на этапе проектирования. Это напрямую влияет на повышение себестоимости продукции в результате:

- незапланированных простоев оборудования;
- низкой производительности процесса обработки;
- неэффективности служб, которые должны оперативно ликвидировать неплановые простои.

Причины простоев, неэффективного использования оборудования, поломок или нецелевого использования станков всегда одни и те же. Каждый опыт-

ный производитель имеет управленческие рецепты для "ручного" решения практически всех таких случаев. Именно поэтому эффективность любого производства всегда драматически возрастает в моменты физического присутствия высшего менеджмента предприятия в цехах.



Ключевой проблемой для такого собственника или руководителя предприятия является низкий уровень информированности о том, что же реально происходит в цехе. И здесь на помощь приходят продукты компаний, занимающихся разработкой и совершенствованием систем управ-

ления производственными процессами на базе автоматизированного сбора данных – MES (Manufacturing Execution System). Современные системы мониторинга эффективности работы оборудования способны собирать и обрабатывать огромные потоки информации, предоставляя все более эксклюзивные отчеты сотрудникам и менеджменту предприятия.

Системы мониторинга еще в далеком 2005 году начали предлагать многие крупные производители оборудования (Siemens – Simco MDC-Max, FANUC – MTLINK), а двумя-тремя годами позднее и некоторые независимые интеграторы и разработчики (Zyfra – MDCPlus, Predator-Software, NetworkDNC и другие).

В Украине рынок MDC-систем (Machine Data Collection) пока еще не занят собственными разработчиками. Некоторые предприятия пользуются самописными разработками, учитывающими локальную специфику оборудования, другие приобретают ПО российского или китайского производства. В таблице приведены характеристики о самых известных зарубежных системах.

Использовать многочисленные российские разработки украинские предприятия откровенно оерегаются, опасаясь неоднозначной интерпретации законов, регламентирующих работу с зарубежными ПО. Несмотря на большое количество систем мониторинга, многие из них обладают избыточным функционалом, зачастую невостребованным заказчиком, но влияющим на стоимость. Малые и средние производства в первую очередь нуждаются в простых системах, которые будут давать цеховым службам и менеджменту базовое понимание степени загрузки оборудования.

Совместно с IT-департаментом Инженерно-Технического Центра "ВариУс" мы приняли решение разработать собственный программно-аппаратный комплекс мониторинга, базовая версия которого будет распространяться для всех заказчиков оборудования DOOSAN бесплатно. Данная версия позволит получать первичную управленческую информацию о загрузке оборудования, оснащенного стойками ЧПУ FANUC. Визуализацию этого комплекса мы представляли на стенде компании в рамках Промышленного форума в Киеве с 20 по 23 ноября 2018 г. И если рынок проявит интерес к данной разработке, то мы гото-

вы выпустить и полноценное коммерческое решение, с учетом потребностей предприятий.

Таблица. Сравнение характеристик поставщиков MDC-услуг

	CIMCO MDC-MAX	FANUC MT-LINKI (Япония)	PREDATOR- SOFTWARE	СМПО Foreman (Россия)	MDCPlus (Финляндия)
Поддержка прямых протоколов					
MTConnect	Yes	Yes	Yes**	Yes	Yes
OPC UA	Yes	Yes	Yes**	Yes	Yes
DNC Opt #18	Yes	No	Yes**	Yes	Yes
FOCAS	Yes	Yes	Yes**	Yes	Yes
Siemens	Yes*	No	Yes**	Yes	Yes
M-NET	Yes	No	–	Yes	Yes
Работа с сигналами электроавтоматики					
Наличие аппаратного блока	Yes	No	Yes	Yes	Yes
Обратная связь рабочего места оператора					
Терминал оператора	No	No	No	Yes	Yes
Прочий функционал					
Клиент-серверная архитектура	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Интеграция в Windows домен	Yes	No	Yes**	Yes	Yes
Интеграция с MES и CRM	No	No	–	Yes	Yes
API	–	No	Yes**	–	Yes
Экспорт данных для дальнейшей обработки	Yes	No	No	Yes	No
Модуль ТОИР	No	No	No	No	Yes
Модули управления производством	–	No	No	Yes	Yes

Примечание: * — с аппаратным блоком;
** — в зависимости от версии ПО.

Представленные системы находятся примерно в одной ценовой категории.
Из зарубежных разработок лишь одна из систем полностью русифицирована — это финская MDC.

В последние годы лавинообразное развитие получили системы, позволяющие, с одной стороны, автоматизировать сбор данных с каждой производственной единицы подробно и почти абсолютно достоверно, а с другой — способные анализировать ситуацию и генерировать отчеты для любого структурного подразделения предприятия.

Это позволяет управляющему или собственнику предприятия из любой точки мира, где есть интернет, наблюдать за работой станков с экрана своего компьютера, планшета или телефона. А при необходимости — одним касанием сформировать отчет о загрузке оборудования за день, неделю, месяц или год. Современные системы позволяют формировать такие отчеты за несколько секунд, выдавая беспристрастные данные о реальном состоянии дел на каждом станке, у каждого оператора или всего цеха. Можно выяснить причины простоя, оценить оперативность работы сервисных служб.

А начальник цеха или главный технолог, в любой момент, подключившись к сети, может получить всю необходимую информацию прямо из СЧПУ любого станка, определить, какая деталь обрабатывается, просмотреть кадр управляющей программы в онлайн-режиме и оценить правильность выбранных режимов. Не говоря уже о том, что точно так же дистанционно можно предотвратить случаи нецелевого использования оборудования, например в третью смену. Очевидно, что сбор подобной информации может иметь колоссальное влияние на эффективность работы предприятия.

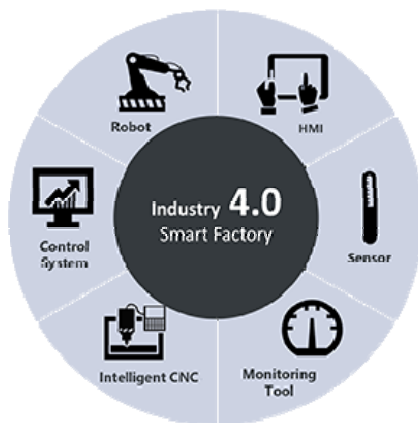
При этом по признанию многих специалистов в области станкостроения, уже сейчас технические характеристики и конструкция аналогичных станков разных производителей становятся все ближе. В недалеком будущем разница

между ними при оценке таких параметров, как мощность, жесткость и скорость, практически будет отсутствовать. В связи с этим, для формирования конкурентных преимуществ, станкостроители все активнее создают свою программную экосистему с множеством полезных модулей. Внедряют, например, весьма полезные опции, позволяющие станку своевременно определить уровень вибрации ответственных элементов станка. Или, не снимая инструмент со станка, контролировать параметры его износа.

Или дать возможность системе управления самостоятельно сгенерировать наиболее эффективную траекторию движения фрезы с учетом всех исходных данных. И даже помогают выбрать оптимальный инструмент из имеющегося на складе для выполнения определенной технологической операции.

Сегодня можно сказать, что общество находится на середине пути к тотальной оцифровке различных процессов, включая индустриальное производство и прежде всего машиностроение.

Согласно концепции Industry 4.0, которая была озвучена в 2011 г. в Давосе Клаусом Швабом, президентом Всемирного экономического форума, благодаря ускоренной интеграции в промышленные процессы киберфизических систем участие человека в производстве продукции будет значительно сокращено. Человек и машина смогут работать вместе над поставленной задачей, поскольку сотрутся границы между цифровыми технологиями и биологическим миром. Это значит, что благодаря значительному повышению уровня программного обеспечения станки и вспомогательные устройства, объединенные между собой сетью, смогут оказать максимальное содействие человеку в достижении поставленных целей. И при этом результат будет получен самым эффективным и оптимальным по стоимости путем.



Например, уже сегодня производители массово предлагают к внедрению коллаборативные роботы, абсолютно безопасные для человека благодаря наличию в их конструкции специальных сенсоров и датчиков. Система управления этих машин позволяет легко интегрировать их в цеховую сеть типа Esetnet. Они без труда "общаются" со станками и обслуживающим персоналом согласно разработанным индивидуально под них или стандартным протоколам.

Преимущества такой концепции очевидны. Такие манипуляторы, да и другие вспомогательные механизмы, оснащенные сенсорами, не прекращают работу даже во время появления в рабочей зоне обслуживающего персонала

для контроля, ремонта или с целью пополнения заказанного станком инструмента. А связь по сети, в соответствии с концепцией "интернета станков", позволит станкам и вспомогательным механизмам самостоятельно перераспределять загрузку с учетом внештатных ситуаций, например при выходе из строя какого-то оборудования.

Конечно, ограничением массового внедрения подобных решений по-прежнему является стоимость таких "умных" устройств и сложность определения их эффективности, особенно для предприятий, работающих в нестабильной политико-экономической реальности. Но очень скоро ситуация с подготовкой и набором квалифицированных сотрудников станет настолько серьезной, что вопрос перед менеджментом промышленных предприятий будет лежать уже не в плоскости стоимости автомата или робота, заменяющего человека. А в том, закрыть ли производство совсем или признать неотвратимость процессов Industry 4.0 и "нанять" на работу в заранее оснащенный "цифровой цех" наиболее эффективного робота.

Фрезерный центр, оснащенный СЧПУ с интеллектуальным интерфейсом, сразу после интеграции в цифровое пространство цеха сможет получить все необходимые данные из системы планирования производственных заданий. Выбрав свою задачу, определит остатки доступных заготовок, сверит технологическую карту с наличием режущего инструмента в магазине и на складе, дозокажет все необходимое, отправит sms/e-mail ответственному лицу: в ОГТ – если станку пришлось изменить технологию на альтернативную по причине повышенного износа фрезы или замены на другую; в ОГМ – если превентивный анализ свидетельствует о повышенной вибрации в шпиндельном узле и нужно заказать подшипник; в отделы обеспечения производства – если не хватает заготовок.

Фонды на интеграцию цифрового контроля – это сэкономленные инвестиции в техническое оснащение предприятия. Контроль и мониторинг производственных процессов позволяют устранить неэффективное использование имеющегося оборудования и в определенных случаях отказаться от закупки дополнительных мощностей там, где можно обойтись технологическими или административными решениями. Переоснащение само по себе является процессом непрерывным, а значит, состоит из этапов. Проще говоря, установить систему мониторинга эффективности работы оборудования имеет смысл на одном из этапов, чтобы с ее помощью оценить экономическую эффективность уже инвестированных средств.

В первую очередь необходимо очертить круг задач, которые должна решить автоматизация. Например, в каких-то случаях решения от крупных производителей систем автоматизации могут быть излишне сложными и дорогими. В то же время начинающие игроки могут быть недостаточно гибкими, оперативными в поддержке и развитии продукта. В идеале я бы рекомендовал выбирать разработчика ПО со штатом сотрудников, осуществляющих поддержку собственными силами, обладающего успешными кейсами интеграции задач, относящихся к вашему типу производства, а также с понятным планом выхода новых версий ПО и их обновления.

ЗЕЛЕНЕ МИСЛЕННЯ ЯК ОСНОВА ЕКОЛОГІЗАЦІЇ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ

Суспільство, господарське життя суспільства (економіка) і навколишнє природне середовище утворюють складну еколого-економічну систему з безліччю внутрішніх взаємозв'язків, в яких всі елементи, в тій чи іншій мірі, прямо або побічно впливають на інші складові системи. При цьому, навколишнє природне середовище має ресурсний і природний потенціали, які є елементами економіки. Такі взаємозв'язки при правильному розпорядженні можуть послужити пом'якшенню наслідків або ж усуненню екологічної кризи, а можуть навпаки стимулювати її поглиблення, і привести до подальшої деградації біосфери.

Концепція гармонійного розвитку суспільства і природи є складовою частиною процесів формування ноосфери як вищої стадії розвитку глобальної екосистеми нашої планети. Основна ідея цієї концепції – це повна відсутність протиставлення людини і природи. Таким чином, економіка стає частиною процесів навколишнього середовища з включенням в єдину біосферну систему кругообігу речовини і енергії. Саме тому дана концепція є базисом для формування еколого-орієнтованого суспільства.

Розуміння, прийняття і виконання законів природи називають зеленим способом мислення. Природа допомагає людині у вирішенні її життєвих завдань. У цьому полягає ідея зеленого способу життя.

Формування екологічно-орієнтованого світогляду сучасної людини необхідно розглядати, як одну з основних складових еколого-економічного розвитку суспільства.

Екотренд. Так називається сучасне прагнення городян жити в гармонії із собою та навколишнім середовищем. Девіз "Жити в екотренді" допоможе не тільки в розумінні серйозності наслідків над планетою глобальних екологічних катастроф але й, і це найголовніше, знаходити шляхи їх подолання. Це можливо на всіх господарських рівнях. На жаль, сьогоденне суспільство тільки констатує факт глобальної екологічної загрози. У виробництві поступово починають використовувати ресурсозберігаючі та екологічні технології, але цього не тільки не достатньо, але й не завжди ефективно. Це відбувається тому, що немає повного розуміння проблеми. Як виробничо-економічної, так і світоглядної.

Світоглядне охоплення має на увазі появу в суспільстві вагомого прошарку еко-освічених людей, які прийматимуть основну участь у формуванні потреб в еко-продукції, необхідності еко-переробки або еко-утілізації товарів. Формування такої складової в суспільстві дозволить розвивати еко-орієнтований бізнес.

Тим більше, необхідно враховувати, що повноцінна інтеграція України в європейський простір неможлива без відповідального підходу вітчизняного бізнесу до стандартів Євросоюзу. Ухвалення цих стандартів вигідно обом сторонам. Європа готова фінансувати впровадження еко-стандартів на українських підприємствах для відкриття перед ними західних ринків. Зокрема, допомога передбачена в рамках так званого "Плану Маршалла для України" – 50 мільярдів євро протягом 10 років. Одна з цілей "Плану" – створення ефективної системи адміністрування галузі фінансів і бізнесу. Іншими словами, політика підприємства проповідує так звані екологічні бізнес-принципи. Зокрема, в бізнес-плані підприємства чітко розписані екологічні фактори, працюють системи збору та обробки екологічної інформації. Для цього підприємствам необхідно розвивати і постійно вдосконалювати потоковий моніторинг навколишнього середовища, проходити екологічну сертифікацію, оцінювати численні впливи на навколишнє природне середовище, розробляти і виконувати повноцінне фінансування затверджених екологічних заходів.

Оприлюднення цих дій включається в еко-рекламу даного виробництва, для того, щоб екологічно підкований громадянин міг зробити правильний усвідомлений вибір на користь даного товару.

Нові виклики в суспільстві завжди народжують нові концепти. З'являються компанії, які поставили собі за мету «зростати відповідально», слідуючи екологічним і соціальним принципам. Тому, еко-ідеї, як отримали реальну фізичну форму, мають куди більший потенціал популяризувати еко-свідомість в суспільстві, ніж просто словесні дискусії. І вони це успішно роблять – епоха бездумного споживання дійсно проходить.

Екологічний напрям у виробництві і усвідомлене споживання – дуже перспективні тренди в багатьох індустріях, які завойовують все більшу популярність і в Україні.

Таке виробництво, ґрунтується на принципі "не нашкодь". Основне завдання такого принципу – дотримуватися відповідального підходу виробника і споживача до кожного етапу, який проходить товар, від початку виробництва, до закінчення життєвого циклу з подальшою безпечною утилізацією. Зараз саме час для вдумливо споживання.

Формування і розвиток екологічного виробництва в Україні може реалізовуватися в так званій концепції екологічного маркетингу. Завдання екологічного маркетингу полягає в об'єднанні інтересів всіх сторін конкретного бізнесу. Це інтереси виробника, імовірного споживача, і, в цілому всього соціуму. Культура споживання даних товарів формується з урахуванням еко-принципів, щоб в подальшому заяву підприємства про екологічність виробництва або конкретного товару можна було використовувати як додаткову рекламу і формувати еко-усвідомлений попит.

Тому, необхідна професійна інформаційна підтримка для розкриття перед споживачем всіх еко-якостей продукції. Передумови еко-деяльності в Україні мають місце і досить успішно продовжують формуватися. Сама концепція екологічної, або як її зараз називають зеленої економіки спрямована на те, щоб ін-

тереси економіки, з одного боку, і збереження біосфери, з іншого боку, були збалансовані і орієнтовані на довгострокову перспективу.

Люди, які живуть в "екотренді", допомагають розвивати в нашій країні екологічне землеробство і тваринництво, головним гаслом якого є: "Смачно, корисно і безпечно для природи!". Якщо так можна сказати, вводять моду на еко-харчування! Що заохочує працю ще нечисленних українських еко-фермерів і ентузіастів.

Дуже важливо врахувати наявність еко-освіти у молодих ентузіастів в еко-бізнесі. Адже не секрет, що не кожен органічний продукт на прилавках наших магазинів може бути безпечним для природи, вірніше шляхи його виробництва.

Наприклад, якщо поле органічної продукції рясно зрошується водами з підземних джерел, то це призводить до зниження ґрунтових вод і надлишкового вторинного засолення ґрунту. А таке землеробство вже складно назвати екологічним, хоча продукція буде органічної. Тут необхідний збалансований науковий похід.

Протягом останніх п'яти років площа органічних сільськогосподарських земель зросла в Україні в 1,5 рази, а експорт екологічної продукції в 2017 році в грошовому еквіваленті перевищив \$90 млн. За оптимістичними оцінками експертів, темпи розвитку екологічного сільського господарства в Україні в 5,5 рази вище, ніж в Європі і в 5 разів вище світового.

Так само, безсумнівно, кінцевий споживач є тією основною складовою еко-бізнесу, яка стимулює його розвиток. Тому, формування еко-поглядів у сучасної молоді є основним завданням. Буде споживач – буде еко-продукт.

В нашій країні інтерес до питань здорового способу життя та екології постійно зростає і стає справжнім модним трендом.

У побуті сучасного українця зміцнюються поняття "еко-дружній" і "екологічно чистий". Ми починаємо усвідомлено купувати товар, уважно вивчаємо етикетку зі складом продуктів. Кожен може підтримати цю еко-тенденцію. Необхідно просто дивитися глибше і розуміти більше.

Складний характер еколого-економічних відносин необхідно розглядати через взаємний вплив всіх складових еколого-економічної системи. До даних відносин належать еколого-економічні інтереси, потреби і протиріччя.

Тільки з виконанням низки умов, можливе досягнення стійкості в будь-яких форматах еколого-економічного розвитку.

Ці формати включають в себе, в першу чергу, еколого-економічну безпеку, яка є основою гармонійної взаємодії всіх складових системи.

У другу чергу, це зміни в економічній політиці і економічному обліку. Нарешті, по-третє, це екологізація світогляду людей, яка обумовлюється еко-вихованням та еко-освітою.

Тут необхідно додати, і це важливо, що екологічну тематику треба саме інтегрувати в виховні та освітні програми, а не пропонувати її відокремлено, так би мовити. відірвану від реального життя, науки, подій.

*Клименко С. А., Мельничук Ю. А., Копейкина М. Ю.,
Манохин А. С., Клименко С. Ан., Чумак А. А.*
Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины,
г. Киев, Украина

РЕЖУЩИЕ ИНСТРУМЕНТЫ С КОМПОЗИТАМИ НА ОСНОВЕ КУБИЧЕСКОГО НИТРИДА БОРА ПРОИЗВОДСТВА ИСМ ИМЕНИ В. Н. БАКУЛЯ НАН УКРАИНЫ

Повышение производительности и снижение себестоимости обработки изделий из труднообрабатываемых сталей и сплавов связано с созданием и применением режущих инструментов, в конструкциях которых используются композиты на основе кубического нитрида бора (ПКНБ) [1, 2]. Инструменты с такими композитами групп ВН, ВЛ, ВС выпускаются ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины.

Характерные особенности композитов группы ВН – с количеством сВN в диапазоне 70–95 об. % – позволяют отнести их в разряд сверхтвердых структурированных (ССК). Материалы являются существенно монофазными, но гетерогенными по своей структуре.

Режущие инструменты, оснащенные композитами группы ВН, позволяют обрабатывать изделия из различных конструкционных материалов высокой твердости: – детали из закаленных сталей как цилиндрические, так и фасонного профиля; – брони дробилок из литой стали 110Г13Л как по корке, так и после ее удаления; – деталей, наплавленные сварочными, наплавочными, порошковым проволоками, спеченными лентами, напыленные с оплавлением покрытиями системы Ni-Cr-B-Si, порошковыми покрытиями с аморфной структурой; – валки из отбеленного чугуна; – детали из твердых сплавов ВК15, ВК25, ВК30; – детали из закаленных сталей с резьбой.

К группе ВЛ относятся керамо-матричные композиты (КМК) с (45–65) об. % сВN. Матрица мультифазна и сформирована из керамических компонент. Режущие инструменты, оснащенные композитами группы ВЛ, позволяют выполнять чистовую лезвийную обработку деталей из сталей твердостью (62–64) HRC при высокой скорости резания – инструменты с композитами систем «сВN-TiN», «сВN-TiC» обрабатывают детали из закаленных сталей при скоростях резания (180–270) м/мин.

По сравнению высокоскоростной обработкой инструментами с композитами группы ВН, скорость изнашивания инструментов в (1,5–5,0) раз ниже, что обуславливает получение обработанных изделий высокого качества при стойкости инструментов (30–45) мин. При точении инструментами, оснащенными композитами на основе сВN, обеспечивается шероховатость обработанной поверхности Ra (0,32–0,63) мкм, Rz (4–6) мкм, что в ряде случаев позволяет заменить на этапе чистовой обработки операцию шлифования. Обработка изделий, изготовленных из Fe-C сплавов твердостью (48–55) HRC, проводится инстру-

ментами с композитами группы VL со скоростями резания (300–360) м/мин при стойкости инструментов (25–35) мин. Режущие инструменты, оснащенные композитами переходной группы VL-BH, по интенсивности изнашивания при чистовом точении деталей из железоуглеродистых сплавов твердостью (60–64) HRC со скоростями резания (180–270) м/мин превышают на (25–30) % интенсивность изнашивания инструментов с композитами группы VL, однако позволяют проводить обработку при динамических нагрузках. В таких условиях обработка инструментами с композитами группы VL сопровождается быстрым микро- и макроскалыванием режущей кромки. Обработка инструментами, оснащенными композитами с cBN 70–75 об. %, существенно расширяет сферу «инструментального» применения композитов на основе cBN.

Группа BC объединяет композиты на основе cBN с покрытиями.

Применительно к инструментам с ПКНБ разработано несколько подходов к созданию покрытий: – выбор структурных составляющих покрытия, которые в процессе обработки резанием обеспечивают образование на поверхностях инструмента высокотемпературных полиоксидных трибопленок, играющих роль твердой смазки; – введение в состав покрытия соединений-ингибиторов реакций химического взаимодействия, что позволяет сдвинуть начало химического взаимодействия в зоне обработки в диапазон более высоких скоростей резания; – снижение коэффициента трения и нагрузок на участках контакта инструментов за счет твердых смазок и прирабочных слоев покрытия; – обеспечение требуемого структурного состояния покрытия.

Режущие инструменты, оснащенные композитами группы BC, используются при обработке различных конструкционных материалов.

Покрытия на инструментах с ПКНБ: – повышают надежность работы инструментов на этапе приработки; – увеличивают период стойкости инструментов; – обеспечивают информационную функцию, связанную с облегчением контроля износа инструмента.

Инструменты, оснащенные представленными выше композитами, выпускаются в условиях опытно-промышленного производства ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины. Режущие пластины изготавливаются с формо-размерами, соответствующими стандарту ISO 1832-2014: групп BH и BC – с диаметром вписанной окружности до 12,7 мм, группы VL – с диаметром вписанной окружности до 7 мм.

Наличие такого производства является базой для совершенствования высокопроизводительных технологических процессов механической обработки, перспективных для инновационного развития промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Инструменты из сверхтвердых материалов / Под ред. Н. В. Новикова, С. А. Клименко. – М. : Машиностроение, 2014. – 608 с.
2. Высокопроизводительная чистовая лезвийная обработка деталей из сталей высокой твердости / Под ред. С. А. Клименко. – К. : ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2018. – 304 с.

Колмаков А. Г., Кобелева Л. И., Болотова Л. К., Калашников И. Е.

ИМЕТ РАН, г. Москва, Россия

Михеев Р. С.

МГТУ им. Н.Э.Баумана, г. Москва, Россия

Клименко С. А., Копейкина М. Ю.

Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины,

г. Киев, Украина

Хейфец М. Л.

ГНПО «Центр» НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ СПЛАВА БАББИТА Б83, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ДУГОВОЙ НАПЛАВКИ

Изнашивание рабочей поверхности подшипников, подвергающейся наиболее сильному физико-химическому воздействию в процессе эксплуатации, приводит к выходу из строя всего трибоузла эксплуатируемого оборудования [1]. Для восстановления поврежденных в процессе трения поверхностных слоев подвижных сопряжений деталей механизмов применяют технологии наплавки баббитом дефектных участков. Надежность вкладышей подшипников определяют такие свойства поверхностного слоя, как твердость, износостойкость, коэффициент трения, противозадирные свойства. Создание для наплавки материалов, обеспечивающих достижение требуемых характеристик, весьма актуально. К таким наплавочным материалам можно отнести дисперсно-упрочненные композиционные материалы (КМ), полученные введением в антифрикционный сплав керамических частиц микронного или субмикронного размера.

Исследовали структуру и износостойкость слоев из КМ, наплавленных дуговым методом на стальную подложку. Для проведения наплавки применяли композиционные наплавочные прутки, изготовленные методом экструзии [2]. Состав наплавочных прутков – матрица из сплава баббита марки Б83, в которую введены 5 масс.% частиц карбида кремния (SiC) средним размером 40 мкм, либо субмикронные частицы бора (В), либо карбида бора (В₄С) размером соответственно не более 0,5 и 1 мкм в количестве 0,25 масс.%. Дуговую наплавку производили на переменном токе неплавящимся вольфрамовым электродом в защитной среде на режиме: сварочный ток – $I=(160-170)$ А, напряжение на дуге – $U_d=(16-18)$ В, скорость наплавки – $V_n=4,2$ м/ч, расход защитного газа (аргона) – (12-14) л/мин.

Состав и свойства изготовленных образцов приведены в таблице. Исследование структуры образцов проводили на оптическом микроскопе Лейка DM ILM и на электронном микроскопе LEO 430i. Структура литого баббита представляет собой равномерно распределенные в твердом растворе крупные остроугольные включения фазы SnSb и мелкие включения фазы Cu₃Sn, имеющие форму звездочек и ланцетиков. За счет более высокой скорости охлаждения

наплавленного металла, чем металла баббитовых слитков, происходит измельчение его структуры (см.таблицу). Повышению дисперсности структуры способствуют и тугоплавкие частицы В или В₄С. Они оказывают модифицирующий эффект, проявляющийся в увеличении количества центров кристаллизации, что способствует повышению интенсивности зарождения и формирования большего количества мелких интерметаллидных фаз. Наряду с увеличением дисперсности интерметаллидных фаз выявлено измельчение зерен α-твердого раствора, которое оценивали измерением микротвердости. Измельчение структуры сопровождается изменением морфологии частиц SnSb и Cu₃Sn, их форма меняется от остроугольной и иглообразной на более округлую, что должно способствовать повышению износостойкости материала.

Твердость НВ наплавленных слоев измеряли на приборе Wilson Wolpert 930 N вдавливанием шарика диаметром 2,5 мм при нагрузке 620 Н, микротвердость определяли по микро-Викерсу на приборе 401/402-MVD WOLPERT GROUP при нагрузке 0,1Н. Отмечен незначительный рост твердости наплавленных покрытий и микротвердости α-твердого раствора по сравнению с твердостью исходного сплава. Наибольшее повышение НВ наблюдали в образцах, содержащих керамические частицы SiC микронного размера.

Таблица – Свойства наплавленных покрытий

Номер образца	Наплавленное покрытие			
	Состав	Средний размер интерметаллида SnSb, мкм	Твердость, НВ	Интенсивность изнашивания, I _m ×10 ⁻⁵ г/м
1	Б83(литой)	79	22,6	2,73
2	Б83 (покрытие)	47	24,7	2,62
3	Б83 + 0,25 мас.% В	22	26,6	1,71
4	Б83 + 0,25 мас.% В ₄ С	35	27,2	1,77
	Б83 + 5 мас.% SiC	51	28,4	1,85

Трибологические испытания проводили в условиях сухого трения скольжения на установке CETR UMT Multi-Specimen Test System. Наплавленные покрытия испытывали по схеме неподвижная втулка (контртело) против вращающейся шайбы при удельных нагрузках от 18 до 60 Н и скорости скольжения 0,39 м/с. Испытания каждого образца проводили при последовательном ступенчатом осевом нагружении до значений 18, 28, 39, 50, 60 Н (L =1110 м). Время испытаний при каждой осевой нагрузке составляло 10 мин. Для сравнения свойств по тем же режимам исследовали образец литого промышленного сплава Б83. Установлено, что композиционные покрытия, в состав которых входят субмикронные частицы бора, или карбида бора, или микронные частицы карбида кремния, обладают на 30 – 35 % большей износостойкостью. Анализ поверхностей трения показал, что в присутствии частиц карбида кремния очаги схватывания более фрагментированы и имеют наименьшую площадь среди исследованных образцов с композиционными покрытиями. Вероятно, это

связано с тем, что частицы наполнителя микронного размера играют роль несущих опор, ограничивая пластическую деформацию и препятствуя уносу материала матрицы в процессе сухого трения скольжения. Частицы В и В₄С не участвует в процессе трения скольжения в качестве поддерживающих опор, но оказывает влияние на трибологические характеристики благодаря измельчению и изменению морфологии интерметаллидных фаз SnSb и Cu₃Sn. Коэффициенты трения наплавленных слоев сопоставимы с коэффициентами трения литого Б83 и даже снижаются при малых удельных нагрузках (до 30 Н).

ЛИТЕРАТУРА

1. Ксеневиц И. П. Триботехника и проблемы прикладной механики наземных мобильных машин / И. П. Ксеневиц // Приводная техника. – 2003. – № 5. – С. 2–5.
2. Получение наплавочных прутков из антифрикционного композиционного материала на основе баббита Б83 методом экструзии / И. Е. Калашников, Л. К. Болотова, И. В. Катин, Л. И. Кобелева, А. Г. Колмаков, Р. С. Михеев, Н. В. Коберник // Перспективные материалы. – 2016. – №9. – С. 70–77.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 18-58-00009 Бел_а)

Коломиец В. В., Ридный Р. В., Антощенко Р. В., Богданович С. А.
Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства
им. Петра Василенка, г. Харьков, Украина

ОБРАБОТКА НЕМЕТАЛЛОВ И МЕТАЛЛОКЕРАМИКИ РЕЗЦАМИ ИЗ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ

Установлено, что чистовая обработка труднообрабатываемых материалов (закаленных сталей, высокопрочных чугунов, неметаллических материалов, металлокерамики и наплавленных материалов высокой твердости) инструментами из твердых сплавов затруднена. Поэтому в последние годы при чистовой обработке деталей из этих материалов применяют инструменты из сверхтвердых синтетических материалов на основе нитрида бора и алмаза, имеющих высокую износостойкость при повышенных скоростях резания. Инструменты на основе нитрида бора с обрабатываемыми материалами имеют малый коэффициент трения: с закаленными сталями 0,15–0,3 и с неметаллами 0,15–0,25, что в 2–3 раза меньше, чем у инструментов из твердых сплавов. Это приводит к тому, что силы резания при точении резцами из сверхтвердых материалов на 20 – 30% меньше, чем при точении резцами из твердых сплавов. Установлено, что неметаллы обладают крайне низкой теплопроводностью – во много раз меньшей, чем теплопроводность металлов. Поэтому режущая часть инструмента находится в неблагоприятных условиях, так как образуется плохой отвод тепла из зоны резания. Кроме того на инструмент воздействуют абразивные частицы об-

рабатываемого материала вследствие чего режущие кромки инструмента подвергаются интенсивному изнашиванию. Высокие микротвердость и теплостойкость сверхтвердых инструментальных материалов позволяют успешно их применять при обработке таких неметаллических материалов как гетинакс-Г, текстолит, пластическая керамика, стеклопластик СВМ, а также металлокерамика типа ЖГ-2 и другие. Установлено, что при чистовой обработке труднообрабатываемых материалов стойкость инструментов из сверхтвердых материалов на основе нитрида бора составляет 120 ... 180 мин при скорости резания 1,5 ... 2,0 м/с. Важным является обоснование выбора инструментального материала при чистовом точении неметаллов и металлокерамики и определение режимных параметров и геометрии режущих элементов инструмента. С этой целью было проведено сравнение работоспособности резцов с режущими пластинами из сверхтвердых материалов на основе нитрида бора типа эльбор-Р (композит 01) и гексанит-Р (композит 10) при чистовом точении образцов из пластической керамики диаметром 120 мм, длиной 100 мм. Опыты по чистовому точению пластической керамики и расточке отверстий во втулках и металлокерамики ЖГ-2 проводили на универсальном токарно-винторезном станке 1К62Б. Резцы из эльбора-Р и гексанита-Р затачивали на заточном станке модели 3623 кругами из синтетических алмазов с последующей доводкой передней поверхности и зачистного лезвия на чугунном диске, шаржированном алмазной пастой. Геометрические параметры режущих элементов резцов были следующими: $\gamma = -10^\circ$; $\alpha = \alpha_1 = 10^\circ$; $\varphi = 45^\circ$; $\varphi_1 = 15^\circ$; $l_f = 0,3$ мм. Режимы резания были выбраны на основе предварительных опытов и априорной информации и были следующими: скорость резания изменялась от 1,0 до 8,5 м/с; продольная подача была равной 0,07 мм/об при глубине резания 0,1 мм. В качестве критерия работоспособности резцов принят максимальный путь резания ($L = T \cdot V$) до принятого критерия их износа по задней поверхности $h_3 = 0,4$ мм. Работоспособность резцов из эльбора-Р оценивалась также при расточке отверстий во втулках из металлокерамики ЖГ-2 (НВ 70) деталей тракторов в сравнении с работоспособностью резцов из твердого сплава Т15К6. На рис. 1 показано влияние скорости резания на путь резания при чистовом точении пластической керамики резцами из эльбора-Р и гексанита-Р и расточке отверстий во втулках из металлокерамики ЖГ-2 резцами из эльбора-Р и твердого сплава Т15К6.

Как видно из представленных зависимостей, характер влияния скорости резания на путь резания при точении пластической керамики (1) резцами из эльбора-Р и гексанита-Р различный. Максимальный путь резания при точении резцами из эльбора-Р достигается при скорости резания 2,5 ... 3,0 м/с, а резцами из гексанита-Р при скорости резания 7,0 ... 7,5 м/с. Это можно объяснить различным структурным составом резцов из сверхтвердого материала на основе нитрида бора. Таким образом, резцы из гексанита-Р более работоспособны, чем резцы из эльбора-Р при чистовом точении пластической керамики. Из представленных зависимостей изменения пути резания от увеличения скорости резания при расточке отверстий во втулках из металлокерамики ЖГ-2 резцами из эльбора-Р и твердого сплава Т15К6 видно значительное преимущество резцов

из эльбора-Р. Максимальная работоспособность резцов из эльбора-Р наблюдается при скорости резания 3,0 ... 3,5 м/с, а резцов из твердого сплава Т15К6 при скорости резания 1,4 ... 1,6 м/с.

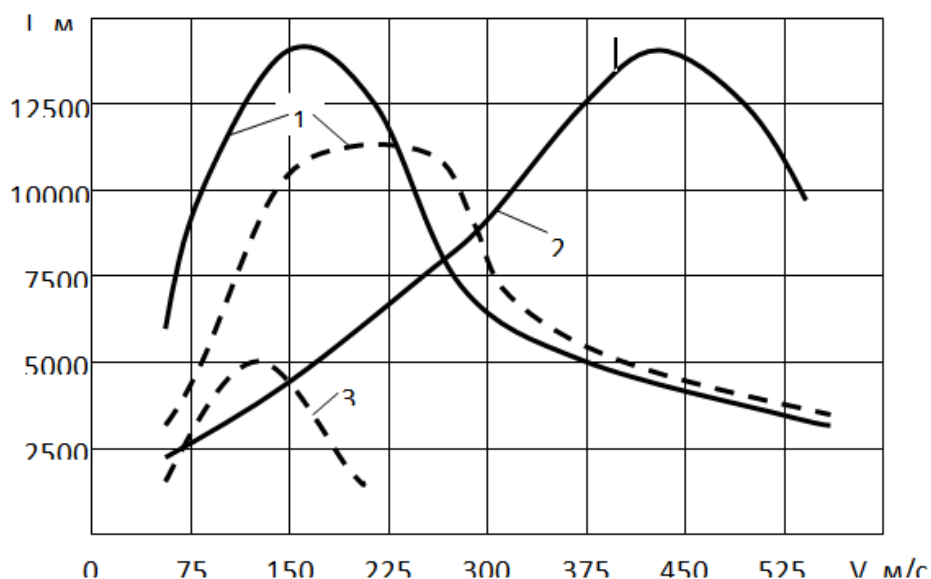


Рисунок 1 – Влияние скорости резания (V) на путь резания (L) при чистовом точении пластической керамики(-----) резцами из эльбора-Р (1) и гексанита-Р (2) и расточке отверстий во втулках из металлокерамики ЖГ-2(- - - -) резцами из эльбора-Р(1) и твердого сплава Т15К6 (3)

Увеличение и уменьшение скорости резания приводит к снижению работоспособности резцов из эльбора-Р и резцов из твердого сплава Т15К6. Стойкость резцов из эльбора-Р по сравнению со стойкостью резцов из твердого сплава Т15К6 повысилась в 20 раз, что привело к увеличению производительности труда при расточке в 3 – 4 раза. Необходимо отметить, что шероховатость обработанной поверхности резцами из сверхтвердого материала на основе нитрида бора и при чистовом точении пластической керамики и при расточке отверстий во втулке из металлокерамики ЖГ-2 находится в пределах $Ra = 0,63 \dots 0,7$ мкм, что соответствует обработке шлифованием. Проведенными опытами и производственной практикой установлено, что резцы из сверхтвердых материалов на основе алмаза типа АСБ и АСПК обладают значительно большей работоспособностью при обработке деталей из неметаллов, чем инструменты на основе нитрида бора. Однако большая себестоимость инструментов на основе алмаза и их перезаточка во время эксплуатации в сравнении с инструментами на основе нитрида бора сдерживает их широкое применение в производственных условиях. Поэтому к промышленному применению для обработки неметаллов и металлокерамики следует рекомендовать инструменты из сверхтвердого материала на основе нитрида бора имеющего вюрцитную структуру типа гексанит-Р. Практикой установлено, что применение инструментов из сверхтвердых материалов при обработке неметаллов и металлокерамики на повышенных скоростях резания необходимо строго соблюдать технику безопасности, так как при этом процессе образуется вредная абразивная пыль.

Кремнев Г. П., Стрельбицкий В. В., Мохов Е. В.
Одесский национальный политехнический университет, г. Одесса, Украина
Бердичевский Е. Г.
Новгородский государственный университет, г. Великий Новгород, РФ

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ СБОРОЧНОЙ ЕДИНИЦЫ НА ЭТАПЕ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ

На начальном этапе проектирования технологического процесса сборки сборочной единицы при заданных условиях процесса ее изготовления проектант-технолог имеет ограниченный объем информации, и процесс проектирования связан с большими рисками: выбрать не самый эффективный вариант технологического процесса (ТП).

В определенной мере помочь технологу в оценке рисков может анализ технологичности (Т) сборочной единицы (СЕ). Этот анализ дает ответ: насколько свободен или, наоборот, связан разработчик в своих действиях по последующим действиям. Конечно, хотелось бы воспользоваться *min* показателями Т, и сразу получить ответ.

Известно [1], что показателями производительной ТСЕ могут быть такие, информация о которых имеется на рабочем месте технолога. Обычно источниками информации служат сборочные чертежи СЕ, ТУ на изделия и процессы изготовления, типовые тех. процессы сборки (если существуют) и информация об изготовлении аналогов на своем предприятии или у других независимых производителей. Как правило этой информации недостаточно что бы оценить Т, по основным показателям Т С Е, трудоемкости Т и ее себестоимости С. Даже технологическая себестоимость неизвестна на начальном этапе разработки процесса сборки: ее мы определить не можем т.к. нет процесса сборки. Можно попытаться использовать дополнительные показатели Т как качественные так и количественные из сборочных чертежей. К последним можно отнести:

- коэффициент блочности – $K_{бл}, \%$;
- коэффициент преемственности- $K_{пр}, \%$;
- коэффициент сложности - $K_{сд}, \%$;
- коэффициент заимствования – $K_{пок}, \%$
- коэффициент изменения трудоемкости – $K_T, \%$

Этот последний коэффициент может быть вычислен, если имеется масса СЕ $M_{СЕ}$ (она есть всегда), масса аналога СЕ $M_{АН}$ (имеется часть) и себестоимость изготовления аналога $C_{АН}$ (имеется, если аналог изготовлен на своем предприятии):

$$K_T = \frac{C_{АН}}{M_{АН}} \times M_{СЕ} / C_{АН} = \frac{M_{СЕ}}{M_{АН}} \times 100\%$$

При $K_T > 100 \%$ – изделие нетехнологично, а при $K_T < 100 \%$ – есть хорошие ожидания.

На примере СЕ и цилиндр пневматический качающий и массой 12 кг и габаритами 180×180×432 мм, состоящий из 40 деталей (8 оригинальных и 32 стандартных), в условиях массового производства изделий наши коэффициенты будут такими:

$$K_{\text{бл}} = \frac{24}{10} \cdot 100 = 100\%.$$

Мы оптимистично предполагаем, что все детали этой СЕ имеют аналог.

$$K_y = \frac{32}{40} \cdot 100 = 80\%.$$

В СЕ имеется из 40 всего 8 оригинальных деталей и $M_{\text{ст}} = 40 - 8 = 32$ детали.

$$K_{\text{сл}} = \frac{M_{\text{ориг}}}{M_{\text{ст}}} \cdot 100 = \frac{8}{32} \cdot 100 = 25\%.$$

В СЕ имеется 8 оригинальных и 32 стандартных деталей.

$$K_{\text{пок}} = \frac{M_{\text{ст}}}{M_{\text{и}}} \cdot 100 = \frac{32}{40} \cdot 100 = 80\%$$

Мы предполагаем, что все стандартные детали будут нами куплены у специализированных производителей, что существенно уменьшает затраты изготовление СЕ.

При отсутствии информации о нашем СЕ, K_T не рассматриваем.

Анализ границ колебаний этих коэффициентов может быть таким:

$K_{\text{дл}} = 0 - 100\%$, т.е. СЕ – состоит только из деталей или окончательная сборка будет только из СЕ.

$K_{\text{пр}} = 0 - 100\%$, т.е. все детали не или использованы в аналогически наоборот.

$K_y = 0 - 100\%$, т.е. СЕ состоит только из оригинальных деталей или стандартных.

$K_{\text{сл}} = 0 - 100\%$, т.е. СЕ не имеет оригинальных деталей, что маловероятно и $K_{\text{сл}} = 0$ или имеет только оригинальные детали и $K_{\text{сл}} \gg 100\%$.

$K_{\text{пок}} = 0 - 100\%$. Если СЕ не имеет заимствованных или покупных деталей, $K_{\text{пок}} = 0$, а если все покупные – 100%.

Таким образом, набор дополнительных показателей СЕ – цилиндра: 60% – 100% – 80% – 25% – 80%, не лежащих у границ, а группирующихся, где – то в середине каждого интервала показателей дает нам основание говорить, с осторожностью о технологичности СЕ.

Хотелось бы после этого анализа цифр получить место СЕ в какой – то шкале оценок T , а если нет, то создать это место.

Воспользуемся уже известным приемом [2] оценки T детали – методом экспертных оценок, и каждому из наших дополнительных показателей технологичности присвоим свой весовой коэффициент влияния из таких соображений. Вся совокупность равна 1 или 100%, как сумма 5 коэффициентов.

K_y и $K_{\text{пок}}$ примерно одинаковы по своему влиянию на ТСЕ, поэтому $S_{ky} = S_{k_{\text{пока}}} = 0,2$ (или 20%).

$K_{\text{бл}}$ существенно влияет на ТСЕ и поэтому $S_{k_{\text{бл}}} = 0,4$ (или 40%).

$K_{сл}$ имеет $C_{K_{сл}} = 0,1$ (или 10 %), так как опыт конструирования показывает разумные сочетания оригинальных и стандартных деталей.

$K_{пр}$ имеет $C_{K_{пр}} = 0,1$ (или 10%), так как полностью оригинальной СЕ бывает весьма редко, чаще всего СЕ имеет происхождение из рядов машин, типажа и других аналогов, помогающих преемственности конструкций.

Имея весовые коэффициенты, пусть пока только для 5 дополнительных показателей Т, попробуем определить комплексную величину оценки Т K_{Σ} :

$$\begin{aligned} K_{\Sigma} &= C_{K_{бл}} \cdot K_{бл} + C_{K_{пр}} \cdot K_{пр} + C_{K_{у}} \cdot K_{у} + C_{K_{сл}} \cdot K_{сл} + C_{K_{плк}} \cdot K_{плк} \\ &= 0,4 \cdot 60 + 0,1 \cdot 100 + 0,2 \cdot 80 + 0,1 \cdot 25 + 0,2 \cdot 80 \\ &= 24 + 10 + 16 + 2,5 + 16 = 68,5\% \end{aligned}$$

Границы колебания этого K_{Σ} будут такими:

$$\begin{aligned} K_{\Sigma_{max}} &= 0,4 \cdot 100 + 0,1 \cdot 100 + 0,2 \cdot 100 + 0,1 \cdot 100 + 0,2 \cdot 100 \\ &= 40 + 10 + 20 + 10 + 20 = 100\% \end{aligned}$$

$$K_{\Sigma_{min}} = 0 \cdot 100 + 0,1 \cdot 100 + 0,2 \cdot 60 + 0 \cdot 100 + 0 \cdot 100 = 22\%$$

Таким образом, анализируемая конструкция в диапазоне $K_{\Sigma} = 22 \div 100\%$ занимает место с 68,5% в середине интервала, а это технологу дает возможности, с одной стороны, предполагать о не очень высоких рисках при дальнейшем проектировании технологий сборки, а с другой стороны, говорить о достаточно высоких затратах: ведь место в середине интервала оценок (оптимист, увидев бутылку емкостью в 1 л с 0,5 л воды, говорит о наполовину полной, а пессимист говорит о наполовину пустой!) [3–5].

Разработка комплексного показателя СЕ будет более эффективной по своей значимости оценки, а если набор показателей расширить, добавив число этих показателей, а также более скрупулезно и объективно определить весовые коэффициенты этого расширенного ряда.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кремнев Г. П. Оценка технологичности конструкции детали на начальном этапе разработки технологии её изготовления / Г. П. Кремнев, В. Б. Наддачин // Новые нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении: материалы междунар. научн.-техн. конф. – Одесса, 2009. – С. 77–80.
2. Кремнев Г. П. Технологические основы конструирования / Г. П. Кремнев, Е. Г. Бердичевский. – Великий-Новгород: Нов.ГУ им. Я. Мудрого, 2018. – 182 с.
3. Кремнев Г. П. Системы технологий : учебное пособие / Г. П. Кремнев, Ф. В. Новиков, В. М. Колесник. – Днепропетровск : ЛИРА, 2015. – 140 с.
4. Кремнев Г. П. Ресурсо- и энергосберегающие технологии в машиностроении: учебное пособие / Г. П. Кремнев, Ф. В. Новиков. – Днепропетровск : ЛИРА, 2016. – 297 с.
5. Кремнев Г. П. Типовые технологические процессы механической обработки деталей машин: учебное пособие / Г. П. Кремнев, Ф. В. Новиков, В. М. Колесник. – Днепр: ЛИРА, 2017. – 252 с.

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ДОВОДОЧНОГО ШЛИФОВАНИЯ СВОБОДНЫМ АБРАЗИВОМ

В настоящее время доводка поверхностей деталей машин производится абразивными брусками и свободным абразивом. При доводке деталей абразивными брусками, особенно с прерывистыми поверхностями, часто отмечается интенсивный износ брусков, их выкрашивание и образование на обработанных поверхностях глубоких царапин. Поэтому более приемлемой является доводка свободным абразивом, так как при правильном подборе материала притира и режима обработки в первую очередь изнашиваются сами абразивные зерна, а притир продолжительное время сохраняет форму, что повышает точность обработки [1–5]. С целью установления условий повышенного съема металла и достижения высокой чистоты поверхности было проведено исследование процесса доводки цилиндрических деталей свободным абразивом с осциллированием притира и непрерывной подачей абразивной смеси в зону резания.

Исследование проводилось на образцах из широко применяемых в машиностроении марок сталей: 20Х, 40Х и 45, диаметром 25 мм и длиной 80 мм, с двумя кольцевыми канавками шириной 2 мм. Перед доводкой образцы подвергались термической обработке: из стали 20Х до твердости $R_c = 51 - 54$. После шлифования образцы имели высоту микронеровностей $R_z = 2,6 - 3$ мкм.

Доводка образцов производилась абразивными смесями, состоящими из порошков белого электрокорунда зернистостью от № 100 до М7, и жидкости. В качестве жидкости применялись керосин, керосин с добавкой олеиновой кислоты и смесь керосина с веретенным маслом № 2. Соотношение абразива и жидкости во всех опытах составляло 60 г/л. Доводка образцов производилась на специальной установке.

Основные опыты проводились на предварительно установленном режиме: удельное давление притира 20 Н/см^2 , окружная скорость изделия 25 м/мин; частота осциллирования притира 800 дв. ход/мин при длине хода 5 мм; число медленных возвратно-поступательных движений притира 60 дв. ход/мин при длине хода 15 мм. В качестве жидкости применялся керосин. Обработка во всех опытах продолжалась в течение 5 минут. Притиры изготавливались из серого чугуна твердостью НВ 150 с перлитно-ферритовой структурой.

Из результатов опытов выяснилось, что повышение удельного давления притира до 20 Н/см^2 способствует значительному росту съема металла. Дальнейшее повышение давления вызывает незначительное повышение съема металла, а для крупнозернистого абразива № 100 съем металла даже уменьшается из-за усиления процесса дробления абразивных зерен. Шероховатость поверхности с увеличением удельного давления притира улучшается. Однако при по-

вышенном давлении под действием крупных зерен высокой прочности на поверхности образуются отдельные глубокие царапины.

Увеличение окружной скорости детали интенсифицирует съём металла, так как увеличивается путь, проходящий абразивными зёрнами относительно обрабатываемой поверхности. Между съёмом металла и окружной скоростью детали нет прямолинейной зависимости. С повышением окружной скорости происходит падение интенсивности съёма металла. Увеличение окружной скорости детали при доводке повышает нагрев обрабатываемой поверхности и способствует неравномерному распределению абразивной смеси в зоне резания, что приводит к ухудшению шероховатости поверхности.

Процесс доводки цилиндрических деталей свободным абразивом с осциллирующим движением притира имеет сложную кинематику. Для данного случая, когда деталь совершает вращательное движение, а притир – одновременно возвратно-поступательное движение вдоль оси детали и осциллирующее движение в том же направлении, траекторией абразивных зёрен, шаржированных на рабочей поверхности притира, будет синусоида с большим периодом от возвратно-поступательного движения притира, на которую накладывается синусоида, с меньшим периодом от осциллирующего движения притира. Однако учитывая, что при непрерывной подаче абразивной смеси большая часть зёрен, находящихся в зоне резания, не шаржирует рабочую поверхность притира, а свободно перекатывается, траектория их движения значительно отличается от синусоиды в сторону неопределённости (хаотичности).

Сложный характер траектории движения абразивных зёрен при доводке металлов с осциллирующим движением притира оказывает положительное действие на процесс обработки. При этом более полно используются режущие свойства абразивных зёрен, что способствует увеличению съёма металла. Кроме того, изменение направления движения зёрен обеспечивает пересечение микроцарапин и интенсивное обламывание острых царапающих элементов зёрен, что улучшает шероховатость обрабатываемой поверхности. Высказанное положение находит экспериментальное подтверждение. При проведении опытов притир совершал в первом случае одно медленное движение вдоль оси детали – 60 двойных ходов в минуту при длине хода 15 мм. Во втором случае два движения: одно – медленное вдоль оси детали и второе – быстрое осциллирующее движение в том же направлении – 800 колебаний в минуту при длине хода 5 мм.

Введением осциллирующего движения притира при доводке абразивным микропорошком М7 съём металла увеличивается почти в два раза. Однако с увеличением размера зёрен эффект, получаемый за счёт осциллирующего движения, ослабевает. Это объясняется меньшей относительной динамической прочностью более крупных зёрен, что приводит к интенсивному их дроблению в процессе доводки, трудностью шаржирования на поверхности притира, а также худшим проникновением крупных зёрен в зазор между притиром и обрабатываемой поверхностью. При осциллирующем движении притира за счёт развития микрощелей в обрабатываемом поверхностном слое металла усиливается действие поверхностно-активных веществ на процесс доводки.

Как показывают результаты опытов, при доводке без осциллирования притира применение вместо керосина смеси керосина с веретенным маслом № 2 способствовало повышению в среднем съема металла на 20 %, а для доводки с осциллированием притира – на 27 % (в данном случае имеется в виду, что веретенное масло № 2 содержит активные добавки). Применение керосина, активированного добавкой 2 % олеиновой кислоты, вместо керосина при доводке без осциллирования притира, способствовало повышению съема металла в среднем на 19 %, а при осциллировании притира – на 33 %.

Повышение съема металла при применении жидкостей, содержащих поверхностно-активные вещества, для крупнозернистых абразивов несколько выше, чем для мелкозернистых, вследствие различия в характере и интенсивности напряженного состояния в срезаемом слое металла.

В условиях резания-царапания мелкозернистыми абразивами, имеющими относительно высокие радиусы закругления царапающих элементов и малое углубление в металл, в поверхностном слое создаются значительные сжимающиеся напряжения. Это препятствует развитию слабых мест (микрощелей), а, следовательно, и действию адсорбционного эффекта. С увеличением размера абразивных зерен возрастает углубление их в металл, что усиливает возникновение в поверхностном слое растягивающих напряжений, благоприятных для развития адсорбционного эффекта.

Анализ стружки, полученной при доводке и отработанной при помощи магнита, показал о наличии в ней абразивных частиц с приваренным металлом, что свидетельствует о наростообразовании.

Содержание в стружке абразивных частиц с наростом зависит от жидкости, входящей в состав абразивной смеси. При доводке с керосином содержание абразивных частиц достигало 24 %, а при доводке с керосином, активированным добавкой 2 % олеиновой кислоты, – 15 %. Это свидетельствует о том, что поверхностно-активные вещества в процессе резания-царапания понижают коэффициент трения абразивных зерен с обрабатываемой поверхностью и, тем самым, способствуют уменьшению наростообразования.

Касаясь особенностей геометрии абразивных зерен, необходимо отметить следующее. Обычно при финишной обработке зеркальных поверхностей деталей из меди и других металлических материалов возникают дефекты в виде царапин и мест интенсивного шаржирования, которые ухудшают эксплуатационные свойства деталей. Причиной этого является обработка микропорошками синтетических алмазов марки АСМ (ГОСТ 9206-80), в состав которых входят острые игольчатые зерна. Поэтому для обработки рабочих поверхностей оптических деталей с высокой отражательной способностью следует применять алмазные микропорошки скругленной или так называемой овализованной формы зерен.

Полирование оптических деталей микропорошками скругленной формы резко уменьшает шаржирование их в обрабатываемую поверхность, что уменьшает серость обработанной поверхности и тем самым повышает отражательную способность. Скругление может производиться различными методами: механической овализацией, гидравлической, термохимической и др. Одним из

основных недостатков этих методов является значительное дробление алмазных зерен и трудность или невозможность получения микропорошков с размерами зерен на уровне 1 мкм и менее.

Изменять конфигурацию исходных частиц позволяет также ультразвуковая обработка алмазных микропорошков в воде. Для активизации процесса разрушения остроугольных фрагментов алмазных частиц, в частности, фракций размером 3 мкм, ультразвуковая обработка микропорошков производилась в водном растворе хлористого калия. В указанных условиях острые кромки алмазов разрушаются в результате кавитации и эрозии под воздействием кристаллов хлористого калия. Ультразвуковую обработку микропорошков из алмазов АСМ зернистостью 5/3, 3/2, 1/0 (табл. 1) в перенасыщенном водном растворе хлористого калия осуществляли на установке УЗВД-6 в течение 6 часов. При наличии большого количества зерен удлинённой формы и повышенного содержания крупной фракции время обработки увеличивается.

Таблица 1 – Характеристики поверхностей, полированных исходными и модифицированными алмазными порошками

Зернистость алмазного микропорошка	Отражательная способность R_s , %			Шероховатость поверхности R_z , мкм, после отработки		
	исходного микропорошка (ГОСТ 9206-80)	после ультразвуковой обработки в воде	после ультразвуковой обработки в КС1	исходным микропорошком	после ультразвуковой обработки в воде	после ультразвуковой обработки в КС1
5/3	98,6	98,6	98,7	0,042	0,038	0,036
3/2	98,7	98,7	98,9	0,038	0,037	0,030
1/0	98,8	98,9	99,0	0,030	0,030	0,028

Навески микропорошка массой 100 кар загружали в охлаждаемую емкость установки, заполненную 300 см³ раствора соли. По истечении заданного времени установку включали, а микропорошок промывали вначале дистиллированной водой для удаления соли, а затем 10 %-м раствором соляной кислоты с целью отделения металлических примесей (железа, никеля и др.).

В качестве обрабатываемого материала использовали бескислородную листовую медь марки МОБ, из которой изготавливали образцы диаметром 80 и толщиной 10 мм. Образцы предварительно протачивали на сферо-фрезерном станке, после чего производили термическую обработку (отжиг).

Температуру термообработки материала выбирали такую, чтобы не успела произойти собирательная рекристаллизация, т.е. не более 872 К, охлаждение проводили вместе с печью. Шероховатость поверхности после обработки составляла $R_a = 0,38 - 0,40$ мкм. Образцы полировали на станках типа ЗПД-320 методом свободного притира с помощью абразивной суспензии, содержащей

исследуемый порошок и 1 %-й раствор поливинилового спирта в дистиллированной воде, при следующих режимах полирования: частота вращения шпинделя – $20 - 25 \text{ мин}^{-1}$, рабочее давление – $200 \times 10^3 \text{ Па}$, число двойных ходов каретки в минуту – $10 - 15$.

Качество полированной поверхности определяли по ее шероховатости и отражательной способности. Шероховатость измеряли с помощью профилографа–профилометра модели 252 с погрешностью измерений, не превышающей $\pm 10\%$, а отражательную способность – на специальном стенде на длине волны $10,6 \text{ мкм}$ с погрешностью измерений не более $0,02 \%$ при доверительной вероятности $P = 95 \%$.

Определение гранулометрического состава микропорошков зернистостью $5/3$ и $3/2$ показало, что после ультразвуковой обработки размер частиц резко не изменяется. В то же время, как было установлено при изучении морфологии алмазных частиц, в процессе ультразвуковой обработки разрушаются остроугольные фрагменты поверхности с размером не более $0,1 \text{ мкм}$, что приводит к оваллизации острых кромок после ультразвуковой обработки в воде и в перенасыщенном водном растворе хлористого калия. Более крупные фрагменты при указанных условиях обработки не разрушаются. Полученные результаты (табл. 1) свидетельствуют о том, что ультразвуковая обработка в перенасыщенном водном растворе хлористого калия позволяет получать модифицированные (т.е. скругленные) микропорошки, улучшающие эксплуатационные характеристики поверхности медных изделий после полирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дудко П. Д. Закономерности формирования параметров шероховатости поверхности при абразивной обработке / П. Д. Дудко, В. Г. Шкурупий, О. С. Кленов // Резание и инструмент в технологических системах : Междунар. науч.-техн. сб. – Харьков : НТУ "ХПИ", 2008. – Вып. 74. – С. 133–139.
2. Морозенко В. Н. Исследование процесса доводки и полирование металлов свободным абразивом : дис. ... канд. техн. наук : специальность 05.02.08 "Технология машиностроения" / В. Н. Морозенко. – Одесса : ОПИ, 1968. – С. 64–95.
3. Невлюдов И. Ш. Исследование явлений, протекающих при алмазно-абразивной доводке высокоточных деталей и установление основных закономерностей процесса : дис. ... канд. техн. наук: специальность 05.02.08 "Технология машиностроения" / И. Ш. Невлюдов. – Саратов : Саратов. политехн. ин-т, 1974. – С. 168.
4. Орлов П. Н. Технологическое обеспечение параметров качества деталей при абразивной доводке : дис. ... докт. техн. наук: специальность 05.03.01 "Процессы и машины обработки материалов резанием; автоматические линии" / П. Н. Орлов. – М.; 1981. – 509 с.
5. Ящерицын П. И. Тонкие доводочные процессы обработки деталей машин и приборов / П. И. Ящерицын, А. Г. Зайцев. – Минск : Наука и техника, 1976. – 326 с.

Кусакин Н.А.
Институт «Кадры индустрии» Министерства промышленности РБ,
г. Минск, Беларусь
Майстер А.И.
Минский государственный музыкальный колледж им. М. И. Глинки,
г. Минск, Беларусь
Хейфец М. Л.
Отделение физико-технических наук НАН Беларуси,
г. Минск, Беларусь

ПРОЦЕССЫ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА МНОГОПРОФИЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

На многопрофильном предприятии все стремления его коллектива должны быть направлены на изготовление продукции, выполнение работ и обеспечение услуг высокого качества, удовлетворяющих требованиям и ожиданиям потребителей.

В этой связи при создании и внедрении системы менеджмента качества предприятия встают задачи описания разнообразных процессов по изготовлению продукции, выполнению работ и обеспечению услуг на основе единого методического подхода постоянного анализа и улучшения качества, с позиций как внешних – потребителей, так и внутренних – коллектива и руководства предприятия.

Анализ функционирования предприятия по стандартам организации показывает, что они позволяют достигать требуемого качества продукции, работ и услуг, если охватывают наиболее значимые этапы планирования, производства и контроля продукции, работ и услуг.

Система менеджмента качества должна содержать стандарты организации, которые условно можно разделить на 4 группы согласно циклу Деминга:

1. На этапе «Р» – «планирование» – (англ. Plan) осуществляется планирование целей, процессов и процедур, необходимых для получения результатов в соответствии с требованиями потребителя и политики предприятия.

2. На этапе «D» – «выполнение» – (англ. Do) реализуется запланированное с учетом экономного использования всех ресурсов для достижения требуемых результатов.

3. На этапе «С» – «проверка, анализ, изменения» – (англ. Check) проводится сопоставление полученных и планируемых результатов.

4. На этапе «А» – «улучшение» – (англ. Action) анализируется возможность улучшения полученных результатов, и проводятся корректирующие и предупреждающие действия.

Управление документами системы качества осуществляется согласно иерархии, документации трех уровней: А, Б, В.

Для документов уровня А – политикой в области качества (стандарт устанавливает алгоритм формирования, оформления, доведения до работников предприятия); руководством по качеству (стандарт устанавливает порядок разработки, пересмотра, согласования, требования к оформлению); структурой управления предприятием (стандарт устанавливает порядок разработки проекта структуры, согласования и утверждения);

Для документов уровня Б – стандартами предприятия (стандарт устанавливает порядок разработки, согласования, утверждения, оформления); положениями о подразделении, должностными инструкциями (стандарт устанавливает порядок разработки, согласования, утверждения, ознакомления);

Для документов уровня В – конструкторской и технологической, учебной и методической документацией; перечнем нормативных документов.

Анализ объекта управления осуществляется с целью определения состава и количества информации, необходимой для принятия решения, на каждом уровне управления процессами, а также для правильной оценки имеющейся информации.

Статистический приемочный контроль качества продукции, работ и услуг проводится на основании стандартов, путем выборочного контроля качества, основанного на применении методов математической статистики для проверки соответствия качества установленным требованиям и принятия решения. Статистические методы управления качеством основываются на теории вероятности и прикладной статистики и позволяют по ограниченному числу наблюдений принимать обоснованные решения.

Статистический анализ состоит из следующих этапов: выявление предполагаемых причин возникновения дефектов и несоответствий; выбор доминирующих видов дефектов; установление статистических закономерностей и истинных причин; возникновения дефектов.

Статистический приемочный контроль качества осуществляется в соответствии с планами и порядком проведения на каждый вид продукции, работ и услуг.

Выбор статистических методов и объем применения осуществляет разработчик нормативной, технической и методической документации.

Статистические методы управления качеством применяются на предприятии при контроле качества продукции, работ и услуг; при анализе, выполняемом службой управления качеством, на основании представленных подразделениями предприятия отчетов по системе качества.

Применение статистических методов позволяет решить такие задачи как, оценку качества, его обеспечение и совершенствование продукции, работ и услуг по результатам анализа.

На предприятии оценка качества с применением статистических методов производится в подразделениях.

Подтверждение статуса контроля и испытаний производится для того, чтобы продукция, работы и услуги подтверждали прохождение установленных видов контроля и испытаний.

Идентификация статуса контроля и испытаний проводится в течение всего процесса производства.

Посредством подтверждения статуса контроля и испытаний обеспечивается дальнейшее поступление продукции, работ и услуг потребителю только в том случае, если они после проведения установленных видов контроля и испытаний признаны соответствующими.

Необходимый объем контроля и испытаний, контролируемые параметры указываются в документации на продукцию, работы и услуги.

Порядок проведения контроля и испытаний, процедуры, ответственность и способы подтверждения статуса контроля и испытаний определяют процедурные документы системы качества.

Корректирующие и предупреждающие мероприятия разрабатываются с целью поддержания системы качества в соответствии с установленными требованиями и направлены на выявление и устранение причин фактических и потенциальных несоответствий.

Корректирующие мероприятия направлены на устранение причин имеющихся несоответствий с целью предупреждения их повторного появления. Предупреждающие мероприятия направлены на устранение причин потенциальных несоответствий с целью предупреждения их появления.

В зависимости от ситуации предупреждающие мероприятия могут являться корректирующими.

В стандартах рассматриваются два направления деятельности: разработка плана корректирующих и предупреждающих мероприятий; реализация, контроль за исполнением и оценка эффективности корректирующих и предупреждающих мероприятий.

План корректирующих и предупреждающих мероприятий разрабатывают по результатам анализа несоответствующих продукции, работ и услуг, причин несоответствия процессов или системы качества.

Анализ несоответствий на всех этапах жизненного цикла продукции, работ и услуг осуществляют комиссии, созданные на предприятии, или подразделения, принимающие участие в изготовлении продукции, выполнении работ и обеспечении услуг или осуществляющие подготовку их производства.

Контроль за исполнением мероприятий по устранению несоответствий и причин их возникновения, разрабатываемых производством, возлагается на руководителя производства и службу контроля.

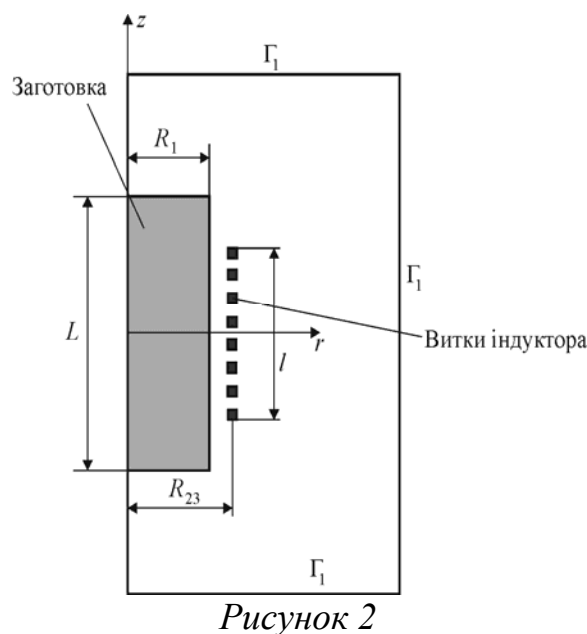
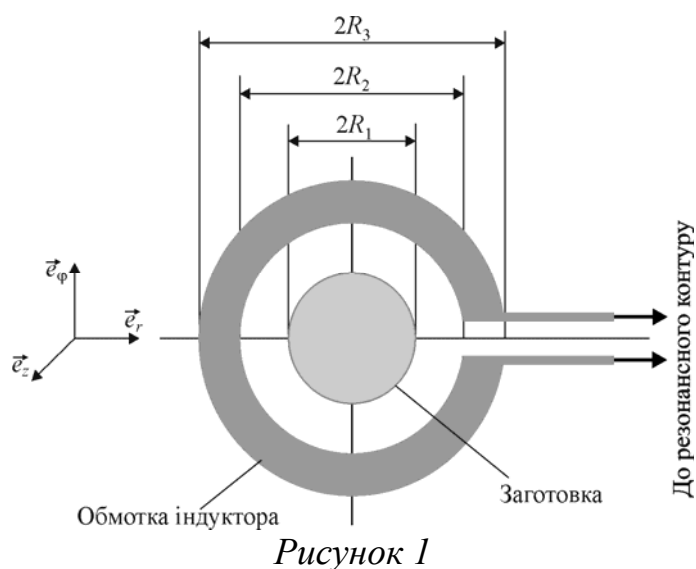
Оценка эффективности выполнения корректирующих и предупреждающих мероприятий осуществляется на совещаниях предприятия и подразделений.

Таким образом, сформирована методология разработки системы менеджмента качества многопрофильного предприятия, включающая анализ видов деятельности и идентификацию процессов системы менеджмента качества по этапам цикла Деминга, с выделением комплексов стандартов организации, отражающих специфику продукции, работ и услуг.

РОЗРАХУНКИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ТА ТЕПЛОВИХ ПОЛІВ У ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ОБРОБКИ

Одним з проявів дії електромагнітного поля (ЕМП) на електропровідні тіла є тепловиділення згідно до закону Джоуля-Ленца. За деяких умов тепловиділення є достатньо інтенсивним, що призводить до значного зростання температури, яке може бути використане у технологічних цілях. Увесь великий клас операцій, заснованих на нагріванні заготовок за допомогою зовнішнього ЕМП прийнято називати індукційний нагрів. Для досягнення мети технологічної операції необхідно здійснювати вибір раціональних значень конструкційних та експлуатаційних параметрів технологічної системи, що базується на розв'язанні задачі нестационарної теплопровідності. Неоднорідність поля температури у даному випадку обумовлена, у тому числі, наявністю розподілених джерел тепловиділення внаслідок виникнення неоднорідних вихрових струмів. Визначення інтенсивності розподілених джерел потребує визначення просторово-часової конфігурації ЕМП.

Розглянемо приклад розрахунку температурного поля під час індукційного нагріву об'ємного електропровідного тіла циліндричної форми за допомогою багатовиткового індуктору.



Дана задача у певних припущеннях може бути розв'язана аналітично для розрахункової схеми – рис. 1. Аналітичний розв'язок стосовно компонент ЕМП може бути відшукано згідно до схеми перетворення за Лапласом. Подібний спосіб розв'язання диференціальних рівнянь Максвела часто застосовується на

практиці [1, 2]. Проте подальше аналітичне визначення температури є потребує великих припущень, пов'язаних із нехтуванням реальними граничними умовами, внутрішньою теплопередачею у матеріалі та геометричною формою заготовки. Опускаючи проміжні перетворення, в кінцевому підсумку, знаходимо приріст температури зразка за час – $\Delta t \gg \frac{2\pi}{\omega}$:

$$\Delta T^\circ \approx \Delta t \frac{2\pi}{c\rho\gamma} \left(\frac{R_1}{l} \right) \left(\frac{NJ_m}{S} \right)^2, \quad (1)$$

де c – питома теплоємність; ρ – масова густина матеріалу; γ – питома електропровідність; J_m – амплітудне значення струму збудження; ω – циклічна частота струму збудження; S – площа перерізу витка струмопроводу; N – кількість витків струмопроводу.

Дана формула (за усіх зроблених припущень та спрощень), фактично, дозволяє визначати залежність від часу температури у точці поверхні протяжної заготовки, що відповідає середині коаксіального індуктора.

Чисельне розв'язання поставленої задачі дозволяє уникнути багатьох із зроблених вище припущень. Воно також складається з двох етапів: визначення просторово-часового розподілу ЕМП та визначення нестационарного температурного поля. Постановка першої частини задачі, а також метод чисельного розв'язання описано у роботі [3]. Розв'язання задачі нестационарної теплопровідності із граничними умовами конвекційного теплообміну є еквівалентним задачі пошуку стаціонарного значення функціоналу температури:

$$\text{Temp} = \iint_S \left\{ \frac{K}{2} \left[\left(\frac{\partial T}{\partial r} \right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial z} \right)^2 \right] - QT + \rho c \frac{\partial T}{\partial t} T \right\} r dS + \int_{\Gamma_2} \frac{\alpha}{2} [T^2 - 2T_\infty T] r d\Gamma, \quad (2)$$

тут Γ_2 – границя заготовки; K – коефіцієнт теплопередачі; Q – питома потужність внутрішніх джерел тепловиділення: $Q = \frac{1}{\gamma} j_\theta^2$; j_θ – окружна компонента густини вихрового струму; α – коефіцієнт конвекційного теплообміну; T_∞ – температура зовнішнього середовища.

Було розглянуто приклад розв'язання для наступних вихідних даних. Заготовка розглядалась у вигляді суцільного циліндру, виготовленого із немагнітної сталі. Характеристики матеріалу: питома електропровідність – $\gamma = 0,4 \cdot 10^6$ 1/(Ом·м); питома теплоємність – $c = 460$ Дж/(кг·град); густина речовини – $\rho = 9000$ кг/м³. Геометричні параметри заготовки: довжина – $L = 0,08$ м, радіус – $R_1 = 0,025$ м. Індуктор вважався виготовленим із міді: питома електропровідність – $\gamma = 0,4 \cdot 10^7$ 1/(Ом·м); питома теплоємність – $c = 360$ Дж/(кг·град); густина речовини – $\rho = 7500$ кг/м³. Геометричні параметри: довжина – $\ell = 0,05$ м, радіус – $R_{23} = 0,035$ м, кількість витків – 10, поперечний переріз витка – квадрат

(4×4 мм). Характеристики струму у індукторі: амплітуда струму 55 А; частота струму 50 кГц.

На рис. 3 та рис. 4 наведені просторові розподіли напруженості магнітного поля та сталої температури у заготовці. З рисунків видно, що температура має суттєво неоднорідний просторовий характер розподілу. Таким чином, представлений чисельний підхід до аналізу температурного поля, обумовленого індукційним нагріванням є більш адекватним у порівнянні із аналітичним підходом, результати якого можуть використовуватись лише як оціночні.

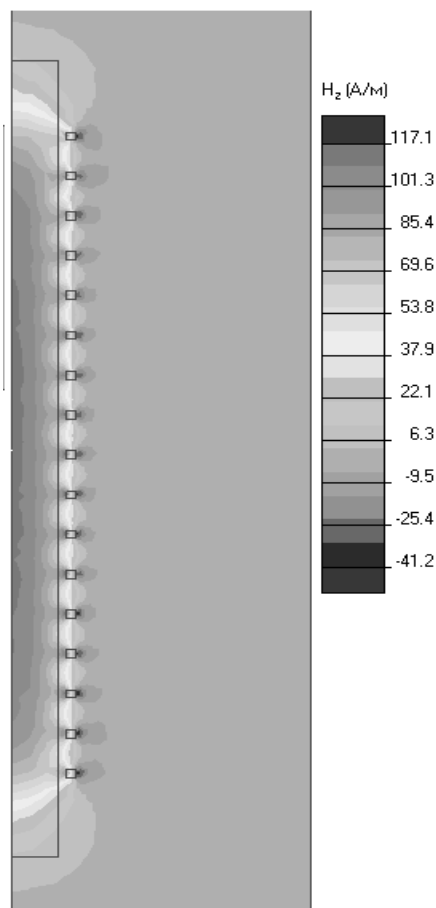


Рисунок 3

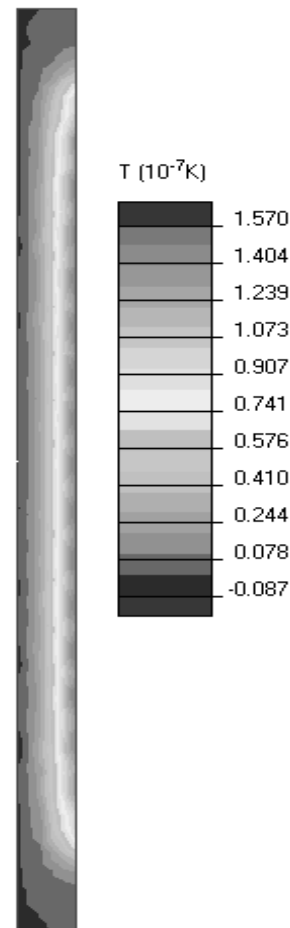


Рисунок 4

ЛІТЕРАТУРА

1. Батыгин Ю. В. Магнитно-импульсная обработка тонкостенных металлов / Ю. В. Батыгин, В. И. Лавинский. – Харьков: Изд." МОСТ-Торнадо, 2002. – 284 с.
2. Туренко А. Н. Импульсные магнитные поля для прогрессивных технологий. – Том 3. Теория и эксперимент притяжения тонкостенных металлов импульсными магнитными полями: монография / А. Н. Туренко, Ю. В. Батыгин, А. В. Гнатюк. – Харків: ХНАДУ, 2009. – 240 с.
3. Altenbach, H., Morachkovsky, O., Naumenko, K., & Lavinsky, D. (2016). Inelastic deformation of conductive bodies in electromagnetic fields. *Continuum Mechanics and Thermodynamics*, 28(5), 1421-1433.

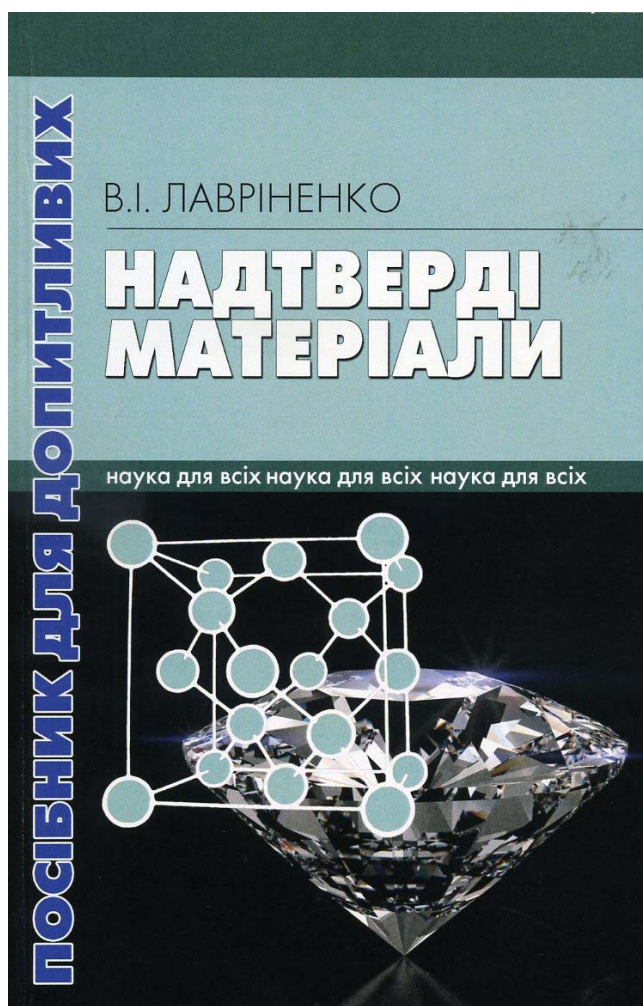
ДО ПИТАННЯ ПОПУЛЯРИЗАЦІЇ НАУКОВИХ РОЗРОБОК У НАПРЯМКУ ЗАСТОСУВАННЯ НАДТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ У ПРОМИСЛОВОСТІ

Надтверді матеріали (НТМ) є сучасним наукоємним високотехнологічним продуктом, що є важливою ланкою у вирішенні питань ефективної металообробки важкооброблюваних матеріалів ХХІ сторіччя. НТМ мають низку унікальних властивостей, що вирізняють їх серед інших інструментальних матеріалів – високу твердість, міцність при стисненні, тріщиностійкість, теплопровідність, хімічну стійкість, тощо. Завдяки цим унікальним властивостям НТМ широко застосовуються у сучасному машинобудуванні, як ефективний інструментальний матеріал. Нині є досить велика кількість спеціалізованих видань по надтвердим матеріалам: журнал «Сверхтвердые материалы», «Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр.». Ці видання є фаховими і більше

призначені для фахівців. Разом з тим, потрошку в Україні зростає нове покоління випускників вищих навчальних закладів, інженерів, які мало знайомі з розробками науковців України. Саме тому НАН України і започаткував проект «Наука для всіх» для видання книг по популяризації науки. Видання книг відбувається видавничим домом «Академперіодика» НАН України.

В 2018 році ВД «Академперіодика» видала книгу «Надтверді матеріали: посібник для допитливих / В. І. Лавріненко; ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України. – К.: Академперіодика, 2018. – 336 с.» (фото).

У науково-популярному виданні викладені в популярному вигляді відомості про історію пошуку, знахідок і отримання на даний момент найбільш твердих в природі матеріалів (алмазів і кубічного ніт-



риду бора). Наведені у концентрованому вигляді найбільш основні відомості про властивості, склади і області застосування надтвердих матеріалів. Подані у популярному вигляді сучасні уявлення про процеси обробки абразивними інструментами з надтвердих матеріалів, особливості їх ефективного застосування на прикладі розробок Національної академії наук України. Надані довідникові дані про властивості абразивних НТМ, абразивних композитів, що містять надтверді матеріали, показники різального шару шліфувальних кругів з НТМ. Окремо показані особливості застосування додаткового впливу (електричного, плазмового, лазерного, ультразвукового) на зону обробки інструментом з надтвердих матеріалів. Наведені відомості про якість поверхні, що піддається інструментами з НТМ.

Остання науково-популярна книга з вказаного напрямку видавалася ще в 1976 р. (Неоконченая история искусственных алмазов / В. И. Рич, М. Б. Черненко. – М.: Наука, 1976. – 137 с.), тому видання першої української науково-популярної книжки у цьому напрямку безумовно є актуальним і виключно важливим. Саме тому в ній і подано в популярному вигляді сучасні уявлення про надтверді матеріали, процеси механообробки абразивними інструментами з НТМ та їхні показники. Систематизовано та доступно викладено дані про властивості абразивних НТМ, абразивних композитів, що містять НТМ, показники ріжучого шару шліфувальних кругів з НТМ, якість поверхні, що піддавалася обробці інструментами з НТМ. Наведено відомості про процеси механообробки із введенням додаткової енергії в зону обробки.

У даному науково-популярному виданні в главі 1 викладена драматична історія отримання штучних алмазів, чим вони такі гарні і скільки ж вони коштують. Глава 2 присвячена пошуку відповіді на питання про те, що ж це таке надтверді матеріали. У главі 3 подані відомості, що уявляють собою абразивні НТМ. Глава 4 розкриває, як НТМ застосовуються у абразивному інструменті. У главі 5 висвітлені питання особливостей роботи алмазного інструменту і для допитливих дані відповіді на питання – як він це робить. Глава 6 присвячена процесам абразивної обробки із введенням додаткової енергії в зону обробки і що краще для НТМ: електроерозія, плазма чи лазер. У главі 7 розібрані питання реального життя: в чому ж позитив застосування алмазного інструменту і наскільки він високовартісним. Глава 8 містить відомості про те, як зробити оброблювану алмазами поверхню як можливо чистою та точною.

Дане видання допоможе в популярній формі дати відповідь на питання: що ж це таке надтверді матеріали і як їх можливо ефективно застосовувати у реальному житті. Науково-популярне видання призначене в першу чергу для допитливих школярів, студентів, інженерно-технічних працівників, які стикаються у повсякденні з питаннями правильного і ефективного застосування надтвердих абразивів для обробки різноманітних матеріалів у побуті та механообробці.

Науково-популярне видання з проекту НАН України «Наука для всіх» «Надтверді матеріали: посібник для допитливих» вже знайшло досить широкий круг користувачів та дозволяє допомогти їм у повсякденній науковій і практичній діяльності. При бажанні книжку можна придбати в ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України: електронна адреса: lavrinenko@ism.kiev.ua.

Лавриненко В. И., Полторацкий В. Г., Пасичный О. О.
Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев
Солод В. Ю.
Днепропетровский государственный технический университет, г. Каменское, Украина

ОСОБЕННОСТИ АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ КЕРАМИК – $\text{Si}_3\text{N}_4+\text{B}_4\text{C}$

Современные керамические материалы на основе карбида бора, кремния, титана и др., имеют высокую твердость, достаточную прочность и уникальную износостойкость в условиях воздействия агрессивных сред и абразивов. Это позволяет изготавливать из этих материалов различные детали машин. В этой связи, изучение вопросов, связанных с эффективной обработкой таких керамик, является актуальной задачей. В данной работе рассмотрены особенности алмазного шлифования композиционной керамики на основе $\text{Si}_3\text{N}_4+\text{B}_4\text{C}$ и проводилось сравнение их с оксидными в оксидно-карбидными керамиками.

Шлифование керамик проводили на модернизированном универсально-заточном станке мод. 3В642. Образцы обрабатывались кругом 12А2-45° 150x10x3x32-АС4 100/80(160/125)-В1-13-100 при $v_k=15$ м/с, $S_{пр}=0,5$ м/мин, $S_{п}=0,25$ мм/дв.ход. Исследовалось также упругое шлифование при $v_k=30$ м/с, $P=1,5$ МПа, частоте осцилляции 100 дв.ход/мин. Обработка велась с использованием СОЖ – водного раствора солей азотнокислого (1,0 мас. %) и азотистокислого (0,2 мас. %) натрия. Силы резания измерялись универсальным динамометром УДМ100. Определялись составляющие силы шлифования P_z и P_y , коэффициент абразивного резания $f_a=P_z/P_y$ и удельная работа $A_{уд}$, равная отношению мощности шлифования к производительности обработки.

Известно [1], что износ алмазных кругов при шлифовании керамики преимущественно определяется воздействием шлама на связку. Исследования, проведенные на гранулометре CILAS мод. 715 Е482 показали, что шлам в основном состоит из мелкодисперсных (до 3 мкм) фракций (табл. 1). Как видим, существенной разницы в размерах частиц нет, тем не менее, абразивное воздействие шлама изученных керамик на связку круга различно и наиболее точно это можно определить при упругом шлифовании.

Эксперименты показали, что производительность упругого шлифования керамик марок: ВОК60 составляет 3197 мм³/мин, $\text{Si}_3\text{N}_4+\text{B}_4\text{C}$ – 2605 мм³/мин, ВО13 – 376 мм³/мин при относительном расходе алмазов соответственно 4,5, 1,74 и 0,49 мг/г. Таким образом, карбидная керамика обрабатывается существенно лучше оксидной. Для объяснения особенностей такой обрабатываемости рассмотрены силовые закономерности шлифования керамик (см. табл. 1). На наш взгляд, установленное изменение сил в зоне шлифования керамики связано с размерами частиц, несмотря на их малые различия в исследуемом случае: чем меньше размер частиц шлама, тем большие усилия прижима необходимо развивать, чтобы получить одинаковую режущую способность круга.

Таблица 1 – Силовые показатели обработки керамики

Керамика	Величина частиц шлама, мкм	Силовые показатели процесса шлифования			
		P_z , Н	P_y , Н	$A_{уд}$, Вт/мм ³	f_a
Оксидно-карбидная (ВОК60)	1,72	29	125	0,55	0,23
Оксидная (ВО13)	1,65	14	206	0,30	0,07
$Si_3N_4 + B_4C$	1,55	9	234	0,25	0,038

Указанные особенности формирования шлама и силовые закономерности обработки керамики системы $Si_3N_4 + B_4C$ влияют и на износ алмазных кругов. Чтобы снизить абразивное воздействие шлама на связку, необходимо добиваться либо уменьшения его зернистости, либо увеличения зазора в контакте круг–изделие. Этого можно достичь за счет повышения скорости круга (при ее увеличении с 15 до 30 м/с износ алмазов в кругах снижается с 14,0 до 2,8 мг/г) или зернистости алмазов (при увеличении зернистости от 100/80 до 160/125 износ снизился с 18,0 до 14,0 мг/г). Однако в последнем случае необходимо учитывать возможное ухудшение качества поверхности, что мы рассмотрим далее.

Поскольку керамика, в отличие от инструментальных сталей, является структурно-нечувствительным материалом, то реальный контроль качества обработки производится по наличию сколов на кромках и шероховатости обработанной поверхности. Поэтому, важным фактором является шероховатость поверхности после обработки такими кругами. Наименьшие значения шага и высоты неровностей обеспечивает врезное шлифование с осцилляцией, а большая относительная заполненность профиля неровностей образуется после упругого шлифования.

Параметр шероховатости Ra является наиболее распространенным показателем, но во многих случаях существует необходимость в знании других параметров. Известны зависимости, которые описывают взаимосвязь различных параметров и практически не известны такие сведения для процессов шлифования керамик. Для этой области нами проведены исследования, которыми установлено, что между параметрами Sm и tp и параметром Ra существует достаточно устойчивая статистическая связь. Аппроксимирующие функции, отображающие связь основных параметров шероховатости Sm и t_{50} с базовым параметром Ra применительно к различным условиям шлифования керамических материалов алмазными кругами приведены в табл. 2. Анализ установленных зависимостей позволяет выявить, что шаг микронеровностей Sm повышается с возрастанием параметра Ra . Однако, характер этого возрастания зависит от способа обработки, которые по мере снижения величины шага микронеровностей располагаются в следующей последовательности:

Врезной → Глубинный → Упругий.

Следует отметить, что при шлифовании шероховатость Ra обработанной поверхности возрастает с увеличением зернистости, продольной и поперечной подачи, при нанесении покрытия на режущие зерна и снижается с повышением скорости круга. При этом для керамики системы $Si_3N_4 + B_4C$ установлена связь параметров шероховатости Sm и Ra , которая описывается зависимостью: $Sm=14,31+196,77 \cdot Ra$. Приведенные выше результаты исследований процесса шлифования конструкционной карбидной керамики показывают, что с целью уменьшения абразивного воздействия шлама керамики на связку круга необходимо стремиться к увеличению зазора в зоне контакта инструмента с изделием, например, за счет повышения скорости круга или зернистости алмазов.

Таблица 2 – Связь шага неровностей шероховатости с параметром Ra для различных условий алмазной обработки с охлаждением (диапазон значений Ra 0,1–1,0 мкм)

Условия обработки	Аппроксимирующие функции	Относительная ошибка аппроксимации, %
Глубинное алмазное шлифование оксидно-карбидной керамики	$Sm=84,12 - 77,82 Ra + 397,1 Ra^2$ $t_{50} = 66,6 - 4,621Ra$	24,3 22,4
Глубинное алмазное шлифование оксидной режущей керамики	$Sm = 47,14 + 135,4 Ra$	15,8
Упругое алмазное шлифование оксидно-карбидной керамики	$Sm = 176,5 Ra^{0,6533}$ $t_{50} = 70,47 - 16,04 Ra$	16,7 16,4
Врезное алмазное шлифование оксидно-карбидной керамики	$Sm = 48,41 + 477,6 Ra$ $t_{50} = 56,51 Ra^{-0,09175}$	20,6 16,3
Упругое шлифование керамики системы $Si_3N_4 + B_4C$	$Sm=14,31+196,77 \cdot Ra$	13,9

Установленные закономерности, а также изучение работоспособности алмазных кругов при шлифовании керамик, позволили разработать эффективные технологические процессы их шлифования, которые позволяют повысить производительность обработки, снизить расход алмазов в кругах и достичь шероховатость поверхности по параметру Ra в пределах 0,08–0,16 мкм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лавриненко В. И. Инструменты из сверхтвердых материалов в технологиях абразивной и физико-технической обработки / В. И. Лавриненко, В. Ю. Солод. – Каменское: ДГТУ, 2016. – 529 с.

Ларшин В.П., Заїка О.І.
Одеський національний політехнічний університет,
м. Одеса, Україна
Ліщенко Н.В.
Одеська національна академія харчових технологій,
м. Одеса, Україна

ВПЛИВ ПРУЖНИХ ДЕФОРМАЦІЙ ЗАГОТОВКИ НА РІВЕНЬ ВІБРАЦІЙНОГО І ЗВУКОВОГО СИГНАЛІВ

Пошукові дослідження показали, що на рівень вібраційного (s_6) і звукового (s_3) сигналів істотно впливають пружні деформації оброблюваних заготовок. Для врахування впливу можливих комбінацій геометричних форм заготовок запропонована конструкція заготовки (рис. 1) зі змінною жорсткістю [1]. У ході експериментальних досліджень вирішено наступні завдання:

- встановлено вплив режимів фрезерування на вібрації шпинделю і заготовки;
- встановлено вплив змінної жорсткості в різних напрямках заготовки на вібрації елементів технологічної системи;
- розроблено передумови для створення способу керування вібраціями з урахуванням індивідуальної жорсткості заготовки.

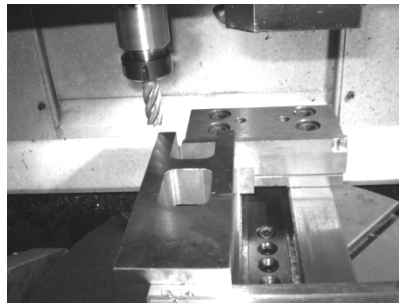
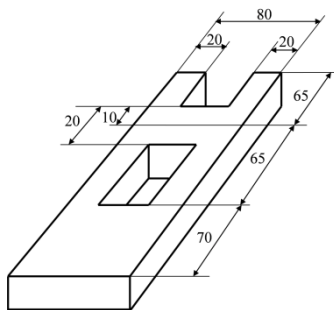


Рисунок 1 – Конструкція заготовки зі змінною жорсткістю (ліворуч)
і налагодження верстата мод. 500V/5 перед обробкою
цієї заготовки (праворуч)

Умови експерименту: обробний центр мод. 500V/5 (ЧПК SIEMENS SINUMERIC 840 D (номінальна і максимальна частоти обертання шпинделю 1500 і 8000 хв^{-1}); фреза кінцева Ø 18 мм; число зубів 6 (матеріал P9K5); призматична заготовка 200x80x20 мм (матеріал Ст.3). Використано вібродатчики AP2019, вимірювальний мікрофон SPL Lab USB RTA meter. Зазначені вібродатчики встановлювали одночасно на шпиндельний вузол у напрямку осі x і на заготовку в напрямку осей x і y . Мікрофон встановлювали на певній відстані від зони обробки.

Обробку виконували на різних режимах фрезерування: частота обертання шпинделя 950 ... 3800 хв⁻¹, подача на зуб фрези 0,1 мм/зуб; глибина різання 0,5 мм (рис. 2).

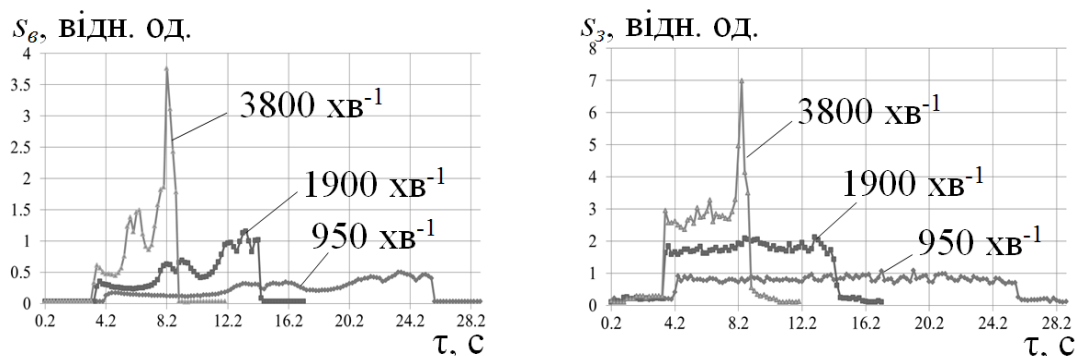


Рисунок 2. – Інформаційні сигнали s_e і s_z (вісь ординат) залежно від часу τ обробки (вісь абсцис) для вібродатчика по осі x (ліворуч) і звукового датчика (праворуч)

У результаті проведених експериментів встановлено:

- пружна система верстата містить дві підсистеми (шпинделя і заготовки), які передають ті самі коливання із зони різання з різною чутливістю, причому підсистема заготовки більш чутлива;

- змінна жорсткість заготовки по трьох її ділянках у напрямку осі y і по товщині стінки в напрямку осі x відбивається в інформаційному сигналі вібродатчика, встановленому на заготовці в напрямку осі x у діапазоні частот обертання шпинделя 950...3800 хв⁻¹;

- зазначена змінна жорсткість заготовки в напрямку осі x відбивається в інформаційному сигналі вібродатчика типу AP2019, встановленому на шпинделі в напрямку осі x , і звуковому датчику (мікрофон SPL Lab USB RTA meter) найбільш чутливо на частоті обертання шпинделя 3800 хв⁻¹;

- по мірі пересування фрези по трьох ділянках заготовки (від жорсткого до нежорсткого) вібрації заготовки збільшуються і тим істотніше, чим вище частота обертання шпинделя (рис.2);

- інформаційні сигнали від вібродатчика і звукового датчика (мікрофон) аналогічні за характером зміни, наприклад, зі збільшенням частоти обертання шпинделя в діапазоні 950...3800 хв⁻¹ інформаційний сигнал від зазначених датчиків зростає, причому мікрофон має більшу чутливість у порівнянні з вібродатчиком;

- встановлено, що змінювати рівень інформаційного сигналу вібрації найбільш ефективно за рахунок зміни частоти обертання шпинделя.

ЛІТЕРАТУРА

1. Синопальников В. А. Надежность и диагностика технологических систем: учебник / В. А. Синопальников, С. Н. Григорьев. – М.: Высш. шк., 2005. – 343 с.

*Лебедев В. Г., Клименко Н. Н., Чумаченко Т. В.,
Фроленкова О. В. Николаева Т. В.*
Одесский национальный политехнический университет,
г. Одесса, Украина

СНИЖЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ ПОЯВЛЕНИЯ ПРИЖОГОВ ЗАКАЛКИ ПРИ ШЛИФОВАНИИ ЗАКАЛЕННЫХ СТАЛЕЙ

При шлифовании закаленных сталей особенно “всухую”, в результате воздействия контактной температуры шлифования на шлифуемую поверхность, в поверхностном слое возникают фазово-структурные превращения, которые получили название шлифовочные прижоги. Температура шлифования, в зависимости от параметров процесса обработки может достигать до 1000 – 1200 °С, то есть может находиться в интервале температур на диаграмме состояния Fe-Fe₃C [1] выше линии PSK (неполная закалка) или выше линии GSE (полная закалка).

Фазово-структурные превращения шлифуемой закаленной стали с исходной структурой мартенсита обычно происходят по схеме “мартенсит – аустенит – мартенсит”. Первая часть превращения “аустенит–мартенсит” происходит при нагреве мартенситной структуры стали контактной температурой шлифования и обычно происходит полностью. Вторая же часть, которая происходит в процессе охлаждения шлифованной поверхности с большой скоростью, большей критической температуры закалки, происходит не полностью и в структуре поверхностного слоя фиксируется остаточный аустенит, который получил название шлифовочный прижог закалки. Такие прижоги резко снижают работоспособность поверхностного слоя и являются причиной выхода детали из строя при эксплуатации.

Причина неполного превращения аустенита в мартенсит состоит в следующем. Превращение аустенита в мартенсит зависит от скорости охлаждения, которая должна быть выше критической скорости закалки [1] и температура при охлаждении должна полностью пройти так называемый мартенситный интервал между точками Мн-начало и Мк – конец мартенситного превращения. Положение этих точек на температурной шкале очень сильно зависит от содержания углерода в стали и легирующих элементов (рис. 1) [1].

Как видно из рис. 1, все эвтектоидные и заэвтектоидные стали имеют значение точки Мк в области отрицательных температур. Если эти стали легированы, то можно ожидать значение точки Мк порядка -80; -100 °С.

Следовательно, при шлифовании закаленных сталей необходимо, чтобы контактная температура шлифования не превышала значения PSK. В тех случаях, когда это невозможно необходимо локально снизить температуру прошлифованной поверхности непосредственно после прохождения шлифовального круга для того, чтобы обеспечить максимальное прохождение мартенситного интервала.

В настоящей работе для локального снижения температуры используется охлаждение поверхности непосредственно после нагрева ее плазмой до температуры $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ за счет использования трубки Ранка-Хилша. Такое приспособление в производственных условиях для снижения температуры несложно в применении при минимальных энергозатратах.

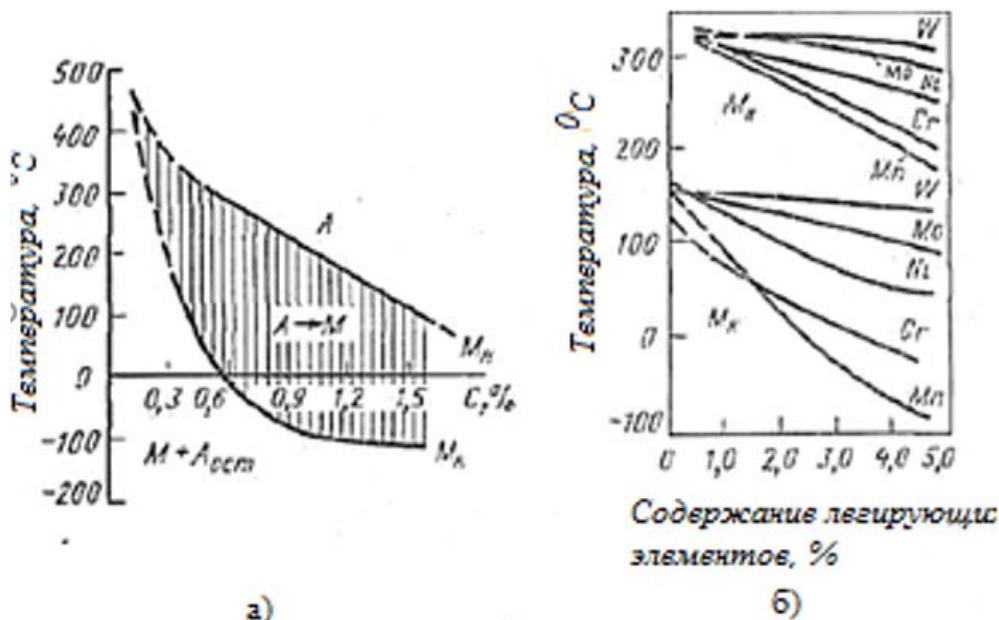


Рисунок 1 – Температура мартенситных точек а – в зависимости от содержания углерода; б – в зависимости от легирующих элементов

Вихревой эффект на основе которого работает трубка (эффект Ранка – Хилша) – эффект разделения газа или жидкости на две фракции при закручивании в цилиндрической или конической камере. На периферии образуется закрученный поток с большой температурой ($+110\text{ }^{\circ}\text{C}$), а в центре – охлажденный поток, закрученный в противоположную сторону ($-40\text{ }^{\circ}\text{C}$), рис. 2 [2].

Трубка подключается к пневмосистеме механического цеха (давление 6 кг/см^2), в результате чего можно получать холодный и горячий воздух без всяких дополнительных устройств.

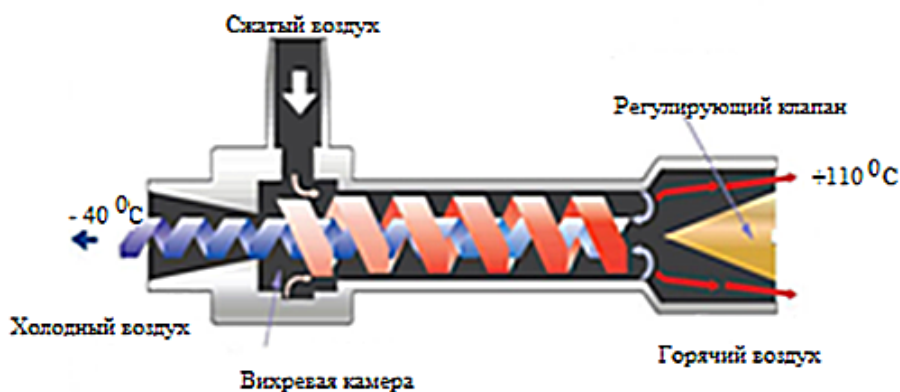


Рисунок 2 – Трубка Ранка-Хилша (2)

Поток холодного воздуха направляется непосредственно на поверхность детали под круг, охлаждая шлифованную поверхность сразу же после нагрева ее контактной температурой до аустенитной структуры. В результате немедленного охлаждения расширяется температурный диапазон точки M_c , в результате чего мартенситное превращение может происходить полностью для эвтектоидных и некоторого количества заэвтектоидных сталей.

Схема плазменной поверхностной заправки с применением трубки Ранка-Хилша показана на рис. 2.

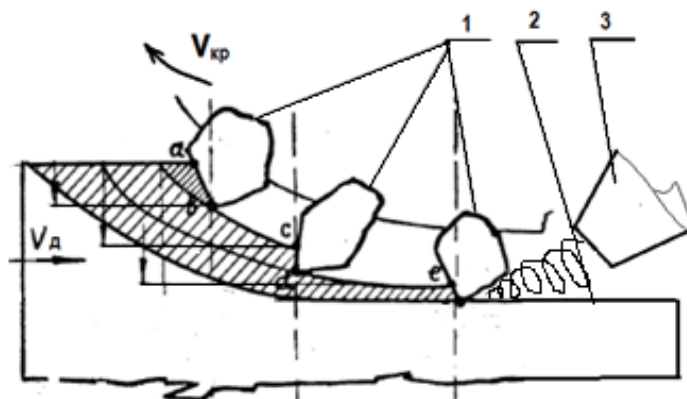


Рисунок 3 – Схема локального охлаждения шлифуемой поверхности с помощью трубки Ранка-Хилша: 1 – режущие зерна; 2 – шлифуемая поверхность; 3 – сопло трубки Ранка-Хилша; $V_{кр}$ – вектор скорости круга; $V_{д}$ – вектор скорости движения детали

При шлифовании стали 45 с режимами, обеспечивающими значение контактной температуры порядка $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ при использовании трубки Ранка-Хилша в структуре практически нет остаточного аустенита.

При шлифовании стали У8 обнаруживается остаточный аустенит в незначительном количестве.

При шлифовании У12 количество остаточного аустенита составляет примерно 15%.

Кроме того, получен дополнительный охлаждающий эффект за счет того, что холодный воздух проникает в зону резания. Температура снижается примерно на 10%. Такое незначительное снижение температуры происходит в результате низкого охлаждающего действия воздуха, из-за его малой теплопроводности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гуляев А. П. Материаловедение / А. П. Гуляев. – М.: Авангард, 2010.
2. Хоробрых М. А. Вихревой эффект Ранка-Хилша. Вихревая труба / М. А. Хоробрых, В. А. Клементьев // Молодой ученый. – 2012. – №6. – С. 54–55.

EFFECT OF RECEIVING RESOURCE-SAVING COATINGS WITH USE OF SYMMETRIC STRUCTURES

The nanocomposite coating is an effective method of increase in reliability and durability of materials. Thanks to perfect mechanical properties and thermal stability, the protective layer can maintain functionality of instruments under trying conditions of operation for a long time. Protective composite coatings are designed to provide on a working surface of products the high hardness, low coefficient of friction, good adhesion to a substrate, resistance to oxidation and wear resistance [1]. During the last time authors performed fundamental research work on development of physical and chemical fundamentals of technology of receiving heavy-duty, nanocomposite coatings on the basis of titanium aluminide and the nanostructured diamondlike coating-orientant [2]. Synthesis of nanocomposite coatings was carried out on the basis of a combination of numerical, physical and theoretical methods of the analysis of creation of composite materials to use of titanium aluminide and the nano-structured diamondlike coating-orientant. As the main instrument of creation of nanosystems original approach of representation of separate elements in the form of the symmetric structures having including the polar building was applied. Below, in figure 1 the six-polar flat model of atom of carbon having a kernel and six zero orbits located on axes between which the corner makes $\pi/3$ is presented. On each of orbits about one electron is located. Atom has a possibility of placement in orbits six more electrons, on one in all six zero orbits.

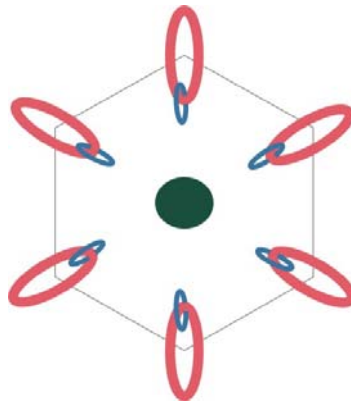


Figure 1 - Six-polar model of atom carbon

This opportunity can be realized according to two schemes of a six-polar carbon coating-orientant provided on figure 2 and used by us as model on creation of composite material:

- for the one-contact scheme of compound of atoms of carbon (figure 2, a) at which atom is connected to six next atoms of carbon, having with everyone on one contact. In each contact they have about two general electrons. At the one-contact scheme between atoms there are emptiness in the form of triangles surrounding each

atom and connected with each other;

- for the two-contact scheme compound atoms of carbon (figure 2, b) at which atom is connected to three next atoms of carbon, having with everyone two contacts. In each contact they have about two general electrons, i.e. four general electrons are available the next atoms. At the two-contact scheme between atoms there are emptiness which are not connected with each other and having the form of hexagons.

The most basic the moment distinguishing the method used by us unlike others was:

- use of the principle of symmetry of the structure of atom with polar arrangement of components;
- mechanism of interaction between symmetric structures.

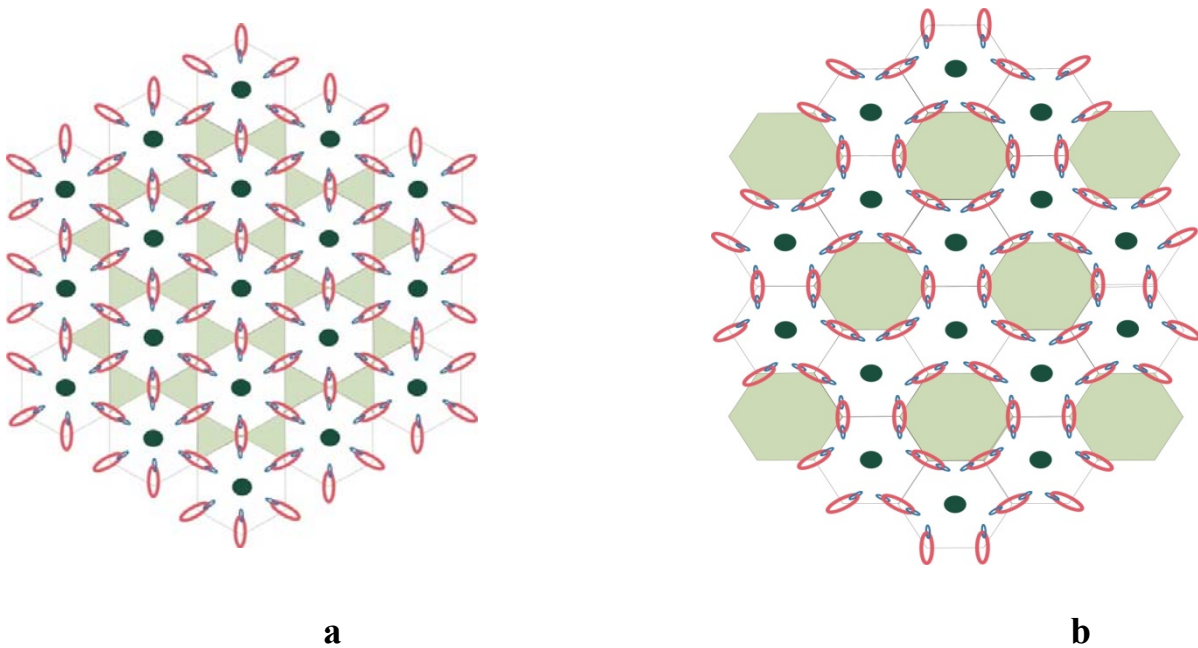


Figure 2 – A six-polar carbon coating-orientant with one-contact and two-contact schemes compound atoms of carbon

Authors carried out adaptation of a symmetric system of polar creation of composite systems to specific objectives of synthesis composite coatings on working surfaces of tribological knots. Each of the polar schemes considered by us has the features which affect properties of materials with composite coatings. These features were considered by us when designing composite coatings with use of titanium aluminide and the nanostructured diamondlike coating-orientant, providing increase in wear resistance, fatigue durability and decrease in friction in comparison with the known coatings. Mechanical properties of a composite coating were estimated by method of nanoindenting of a sample witness according to DIN EN ISO 14577-1 by means of the measuring CSM Micro Indentation Tester MHTX complex. The adhesion of a composite coating to a basis was estimated according to the adhesive test Rockwell (VDI-3198 standard) at an indentation of a sample of the witness with a composite coating on the hardness gage Rockwell under load of 1500 N and the subsequent visual assessment of result of an indentation on a six-ball scale. HF1 point

got at visualization – corresponds to the highest adhesive durability.

On the basis of the analysis of physical and chemical and mechanical properties of composite coatings synthesis with optimum tribological properties was carried out them. For increase in speed of sedimentation of composite coatings-orientants the sedimentation PVD method which underwent some technological changes was used. As a result, on the basis of specially designed synthesis sources, physical and chemical and tribological properties of composite coatings on the basis of an alyumonitrid of the titan and a diamondlike carbon coating-orientant with one-contact and two-contact schemes compound atoms of carbon, figure 3 were received and investigated.

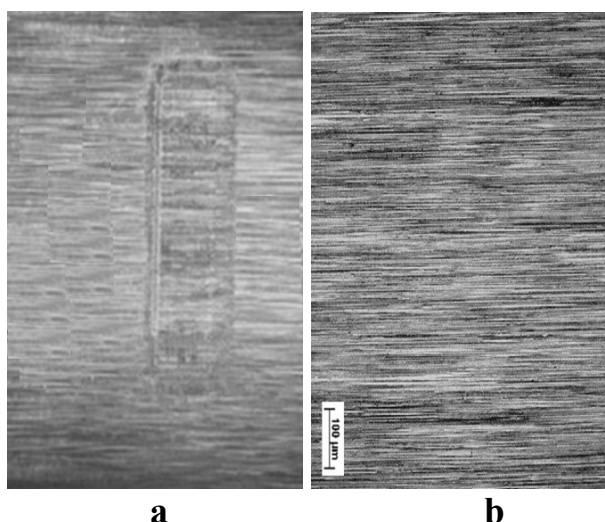


Figure 3 – *ASM the image a surface of composite coatings-orientants with one-contact and two-contact schemes compound atoms of carbon after comparative tests for friction and wear.*

Quite high pressures developed in contact of couple of friction did not lead to emergence of defects of a coating that speaks about its high bearing capacity and wear resistance. However, the made experiments showed that composite coatings with the one-contact scheme compound atoms of carbon (figure 3, a) have insignificant wear. Apparently from figure 3, b. a composite coating with the two-contact scheme of compound of atoms of carbon the wear is absent. Both composite coatings on the basis of a titanium aluminitride and a diamondlike carbon coating-orientant with one-contact and two-contact schemes of compound of atoms of carbon on the tempered steel together with solid alloy have the low coefficient of friction which is almost not changing in the wide range of loadings. The received coatings keep anti-frictional effect even in severe conditions of dry friction.

REFERENCES

1. Buyanovsky I. A., Levchenko V. A., Kalugin I. A. Perspective methods of surface treatment of details cars. Ed. G.V. Moskvitin, URSS, M., 2019, pp. 448.
2. Vladimir Levchenko, Min Huang, Jianbo Wu. Functional nanostructural coating with orientating effect and application. Proceedings of 3rd Workshop on PVD Coatings for High Speed Cutting Tool. Guangzhou, China, 2018, p.41.

Лиценко Н. В.
Одеська національна академія харчових технологій,
м. Одеса, Україна
Ларшин В. П., Дорожкін О. О.
Одеський національний політехнічний університет,
м. Одеса, Україна

ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ ДИНАМІКИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ РІЗАННЯ

Можливість одержувати інформаційні сигнали в реальному часі роботи технологічного обладнання, яке оснащено вимірювальною системою NI-DAQmx із програмним забезпеченням NI-LabVIEW [1], дозволяє виявити вплив режимних параметрів обробки на вібраційну і акустичну характеристику пружної системи металорізального верстата. Експериментальні дослідження проводили на верстаті мод. 500V/5 (обробний центр) при фрезеруванні спеціальних призматичних зразків з конструкційної сталі марки Ст.3 (рис. 1).

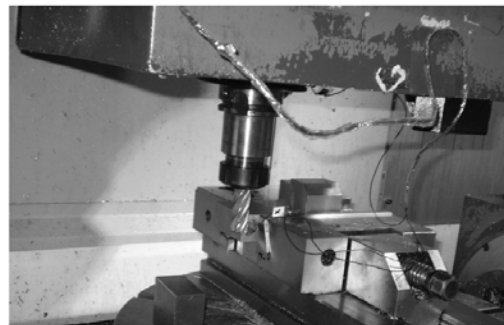


Рисунок 1 – Розташування вібродатчиків на призматичному зразку (ліворуч) і налагоджування на виконання робочого ходу фрезерування (праворуч) на верстаті мод. 500V/5

Фреза зі швидкорізальної сталі Р6М5 діаметром 18 мм, досліджені кінцеві фрези з 4-ма і 6-ма зубами. План проведення двох двофакторних експериментів дозволяє встановити вплив режимних параметрів фрезерування на інформаційний сигнал, отриманий математичним перетворенням первинного сигналу датчика віброприскорення AP2019.

Експеримент проводився при розміщенні одного із трьох вібродатчиків (вібродатчик y) на шпинделі верстата з орієнтацією по осі x , а також двох інших вібродатчиків – на оброблюваній заготовці по осях x і z . Одночасно записували звукові сигнали за допомогою вимірювального мікрофона SPL Lab USB RTA meter [2] (на рис. 1 мікрофон не показаний). Встановлювали вплив режимних параметрів фрезерування на рівень вібраційного s_b і звукового s_z сигналів (у відносних одиницях) при частоті обертання шпинделя 950 хв^{-1} : подачі на зуб

фрези S_z в інтервалі 0,15...0,3 мм/зуб при глибині різання t в інтервалі 0,5...1,0 мм (рис. 2).

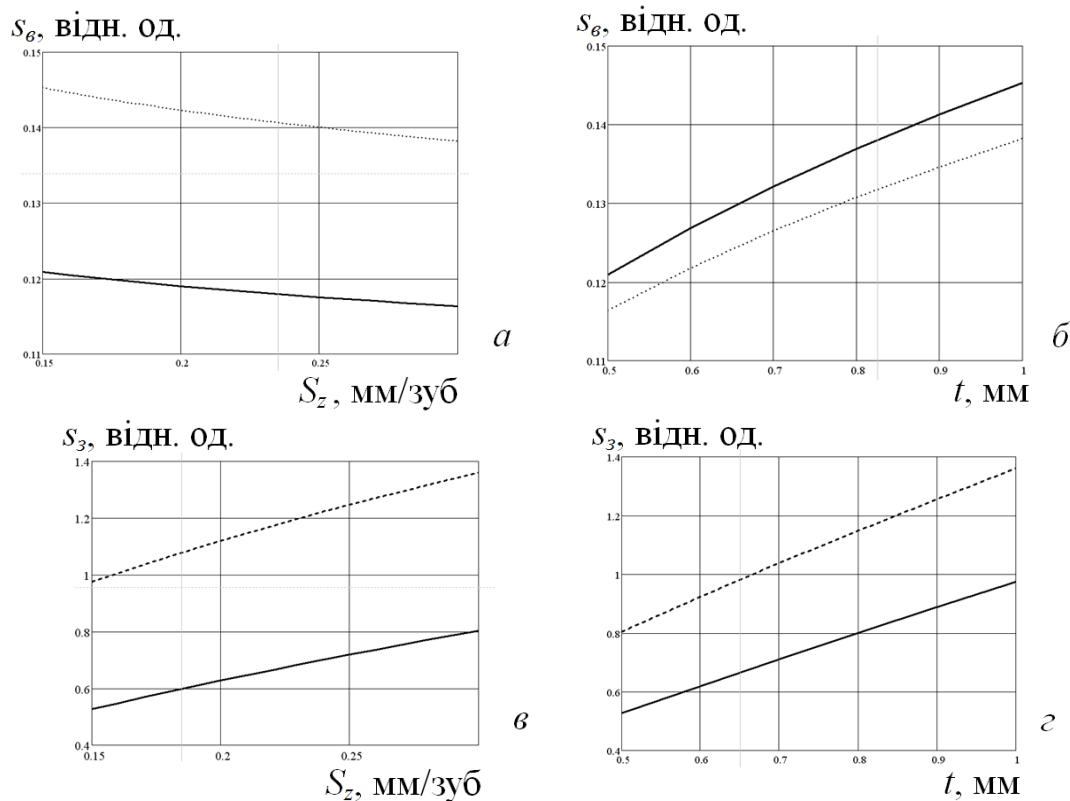


Рисунок 2 – Вплив подачі S_z (а, в) і глибини різання t (б, г) на рівень сигналу s_6 вібродатчиків (а, б) і сигналу s_3 звукового датчика (в, г)

Видно, що збільшення подачі S_z призводить до зменшення сигналу вібродатчика s_6 і до збільшення звукового сигналу s_3 . Збільшення глибини різання t призводить до збільшення рівня обох сигналів.

Отримані дані є вихідною інформацією для розробки способу і алгоритмів адаптивного управління на металорізальних верстатах з ЧПК з метою недопущення негативного впливу вібрацій на параметри якості поверхні оброблюваних деталей [3].

ЛІТЕРАТУРА

1. Автоматизация физических исследований и эксперимента: компьютерные измерения и виртуальные приборы на основе LabVIEW / Под ред. П. А. Бутырина – М.: ДМК Пресс, 2014. – 265 с.
2. USB RTA Meter (Pro Edition) – измерительный USB микрофон для анализа АЧХ [Электронный ресурс] / Компания Spl-Lab. – Режим доступа: <http://spl-lab.ru/ru/products/usb-rta-meter-pro-edition.html> (англ.). – 09.07.2014.
3. Рыбалко А. П. Системы технологической диагностики и адаптивного управления для станков с ЧПУ / А. П. Рыбалко, Н. В. Лищенко, В. П. Ларшин // Високі технології в машинобудуванні: зб. наук. праць. – Харків: НТУ «ХПІ», 2015. – Вип.1 (25). – С. 150–161.

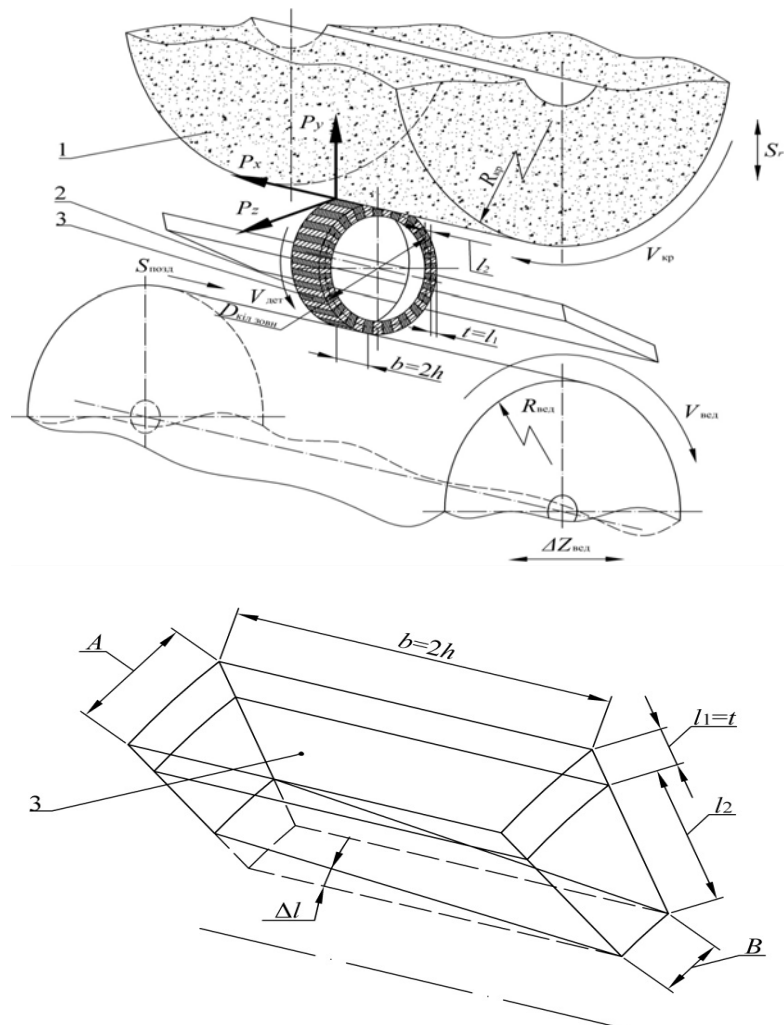


Рисунок 2 – Розрахункова схема поділу заготовки на елементарні адіабатичні сегменти: 1 – круг; 2 – заготовка; 3 – елементарний адіабатичний сегмент

ЛІТЕРАТУРА

1. Прерывистое шлифование / А. В. Якимов, Ю. А. Бояршинов и др. // Вестник машиностроения. – 1967. – №3. – С. 76–78.
2. Якимов О. В. Високопродуктивне шліфування / О. В. Якимов, Ф. В. Новиков. – К.: ІНТМ, 1995. – 180 с.
3. Марчук І. В. Керування температурою на безцентрово-шліфувальних операціях / І. В. Марчук, М. В. Олексин, А. М. Ештеїві // Перспективні технології та прилади. Збірник наукових праць (м. Луцьк, червень 2017 р.). – Випуск 10(1). – Луцьк: Луцький НТУ, 2017. – С. 133–138.
4. Марчук В. И. Управление параметрами качества рабочих поверхностей колец конических роликоподшипников / В. И. Марчук, В. Т. Михалевич // Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве: труды 5-й междунар. научн.-техн. конф. – Харьков: ХНПК «ФЭД», 2002. – С. 127–130.
5. Новиков Ф. В. Новый упрощенный подход к расчету температуры поверхностного слоя детали при ее механической обработке / Ф. В. Новиков, С. М. Яценко // Физические и компьютерные технологии: Труды 11-й Междунар. научн.-техн. конф., Харьков, 2–3 июня 2005 г. – Харьков: ХНПК «ФЭД», 2005. – С.137–146.

МЕТОДИКА ПОЛУЧЕНИЯ СОПРЯГАЕМЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЗУБЬЕВ НЕЭВОЛЬВЕНТНЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Из механических передач, применяющихся в машиностроении, наиболее распространенными являются зубчатые передачи с эвольвентным профилем боковых поверхностей зубьев. Передачи, составленные из таких колес, отличаются рядом преимуществ, однако имеют и целый ряд недостатков, связанных с их качественными показателями: большие удельные давления на боковых поверхностях зубьев из-за малых радиусов их кривизны и отсюда недостаточная способность по контактной прочности; малый коэффициент перекрытия колес и отсюда недостаточная плавность зацепления. Поэтому одной из современных тенденций является исследование зубчатых передач со сложным неэвольвентным профилем боковых поверхностей зубьев, которые в ряде областей применения имеют преимущества перед эвольвентными зубчатыми передачами.

При нарезании зубчатых колес методом обкатки в качестве инструмента может выступать как инструментальная рейка, так и инструментальное зубчатое колесо. Инструментальная поверхность и поверхность детали являются соприкасающимися поверхностями с мгновенным линейным касанием. Соприкасающиеся поверхности являются взаимно огибающими в их относительном движении. В точке контакта взаимно огибающих поверхностей выполняется условие их касания – вектор скорости их относительного движения перпендикулярен общей нормали к поверхностям.

Поверхности зубьев двух эвольвентных зубчатых колес, являющиеся огибающими поверхностями зубьев одного и того же инструмента, являются сопрягаемыми. Для получения сопрягаемых поверхностей зубьев двух неэвольвентных зубчатых колес требуется два разных инструмента. Так, например, если инструментами являются две инструментальные рейки, то профили боковых поверхностей зубьев реек должны быть обратными по отношению друг к другу, т.е. профиль зуба рейки 1 должен совпадать с профилем впадины рейки 2. Соответственно, зубчатые колеса 1 и 2, боковые поверхности зубьев которых являются огибающими боковых поверхностей зубьев инструментальных реек 1 и 2, могут участвовать в зубчатом зацеплении. На основании этого разработана методика получения сопрягаемых поверхностей зубьев неэвольвентных зубчатых колес как огибающих заданных поверхностей зубьев инструмента.

На первом этапе формообразования пары зубчатых колес в качестве инструментов могут рассматриваться инструментальные рейки 1 и 2 с обратными по отношению друг к другу нелинейными профилями боковых поверхностей зубьев. С помощью этих реек моделируется процесс изготовления двух неэвольвентных зубчатых колес с заданными количествами зубьев. Эти колеса

могут в дальнейшем считаться инструментальными, с помощью которых на следующем этапе формообразования моделируется процесс нарезания других зубчатых колес с другими количествами зубьев. Эта последовательность повторяется до тех пор, пока не будут формообразованы зубчатые колеса, из которых составляется зубчатое зацепление. Последовательности формообразования колеса 1 и колеса 2 могут содержать разное количество этапов, однако это количество для обоих колес должно быть либо нечетным, либо четным. Например, в качестве зубчатой пары могут быть выбраны зубчатое колесо 1, полученное на первом этапе одной последовательности формообразования, и зубчатое колесо 2, полученное на первом или на третьем этапах другой последовательности формообразования.

Кроме того, на первом этапе формообразования каждого из колес зубчатой пары инструментом может быть одна и та же инструментальная рейка (1 или 2). Сопрягаемые боковые поверхности зубьев будут иметь зубчатые колеса, изготовленные в одной последовательности формообразования, в том случае, если количество формообразований для одного колеса будет нечетным, а для другого колеса – четным. Например, в качестве зубчатой пары могут быть зубчатое колесо 1, полученное на первом этапе формообразования, и зубчатое колесо 2, полученное на втором или на четвертом этапах той же последовательности формообразования.

Методика получения сопрягаемых поверхностей зубьев неэвольвентных зубчатых колес как огибающих заданных поверхностей зубьев инструментов в соответствии с предложенной схемой формообразования пар зубчатых колес предполагает следующую последовательность действий:

1. Задается количество этапов формообразования для колес 1 и 2.

2. В репере, связанном с инструментальной рейкой на первом этапе формообразования (или инструментальным зубчатым колесом на последующих этапах формообразования), задается набор координат и геометрических характеристик точек исходного профиля инструмента, так же задаются параметры обрабатываемого зубчатого колеса.

3. На основе алгоритма расчета профиля огибающих поверхностей выполняется расчет координат и геометрических характеристик точек профиля обрабатываемого зубчатого колеса в репере, связанном с зубчатым колесом.

Пункты 2 и 3 выполняются в цикле для заданного количества этапов формообразования для зубчатого колеса 1 и зубчатого колеса 2.

В качестве нелинейного профиля боковой поверхности зуба рейки может быть рассмотрен некоторый участок одной из смоделированных плоских кинематических кривых.

Созданы предпосылки для выбора из полученного в результате геометрического моделирования поля кривых таких профилей зубьев инструментов, которые бы обеспечивали наиболее рациональное сочетание профилей зубьев обработанных ими зубчатых колес и требуемые качественные показатели зубчатого зацепления.

*Моргун Ю.Б., Прокопович И.В., Оборский Г.А.,
Моргун Б.А., Костина М.М.*
Одесский национальный политехнический университет,
г. Одесса, Украина

ЗОНД ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТОКОПРОВОДЯЩИХ ТЕЛ

Для измерения температуры поверхностей тел широко применяются термомпары, пирометры и тепловизоры. Однако, пирометры и тепловизоры, которые работают на основе анализа излучений, исходящих от исследуемого объекта, исключают возможность точного измерения температуры через существенную разницу коэффициентов излучения, присущих различным металлам и сплавам.

Известные термомпары, имеющие спай, обычно крепятся к измеряемой поверхности, что увеличивает теплоотвод с точки контакта и приводит к погрешностям оценки температуры.

Авторами разработан «Зонд для измерения температуры поверхности тел» [1], который имеет высокую точность измерений, обладает быстродействием и возможностью измерения температуры в труднодоступных местах. В зонде присутствуют два термоэлектрода, выполненных в виде компенсационных спиралей и закрепленных в изолированном сердечнике. Рабочий конец термомпары не спаян, а термоэлектроды свободно контактируют с поверхностью тела, температура которого измеряется.

Технический эффект, который достигается при применении предложенного метода, заключается в том, что конструкция зонда исключает высокую инерционность прогрева спаянной термомпары, которая увеличивает погрешность измерений. На рис. 1 изображен зонд, имеющий термоэлектроды 1 и 2, которые свободно расположены на выходе и выступают за плоскость торца зонда. Вывода термоэлектродов закреплены в изолированном сердечнике 3, который встроен в металлический стакан 4. Через обойму 5, выполненную из пластмассы, проходит держатель 6 с кабелем 7, к жилам которого присоединены выводы термоэлектродов 1 и 2. Каждый термоэлектрод имеет компенсатор длины, выполненный в виде спирали 8.

Для измерения температуры зонд прижимается к испытываемой поверхности. При этом термоэлектроды входят в контакт с металлической поверхностью и создают термомпару, в которой есть промежуточный третий электрод, не влияет на термо-ЭДС, поскольку температура контактов одинаковая [1, 2].

Для достижения высокой точности при определении температуры данным методом следует, очевидно, стремиться к сближению проводников термомпары, а также к минимальному их диаметра.

Погрешность метода контактной искусственной термомпары можно оценить, рассмотрев известную формулу [3]:

$$I = \frac{E(t, t_0)}{R_M + R_{\Pi} + R_T}, \quad (1)$$

где R_M – сопротивление милливольтметра; R_{Π} – сопротивление соединительных проводов; R_T – сопротивление термопары.

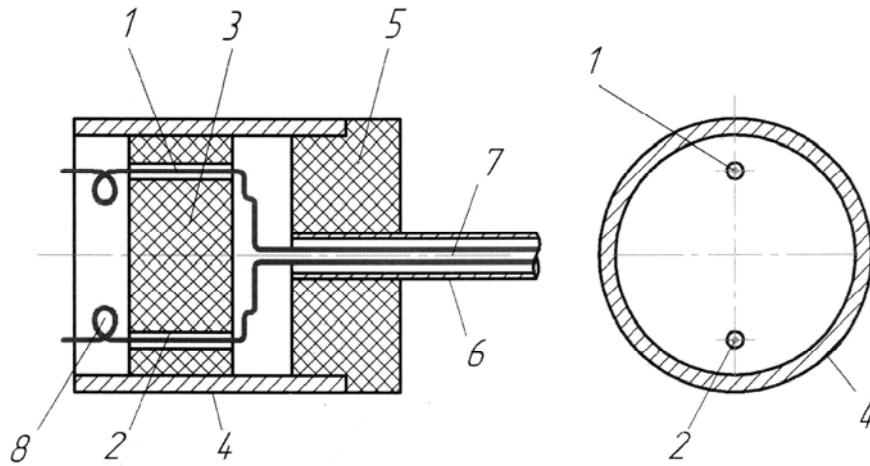


Рисунок 1 – Зонд для измерения температуры поверхностей тел

В данном случае R_T зависит от нескольких факторов, а именно от переходного сопротивления между контактирующими поверхностями; сопротивления тела контакта и сопротивления пленок, которые могут быть на поверхности контакта. Как показала практика, сопротивление контакта можно выразить следующей формулой [4]:

$$R_T = \frac{d}{P_k^b}, \quad (2)$$

где P_k – контактное давление; d – постоянная, зависящая от материала контакта и температуры; b – постоянная, зависящая от формы контакта.

Из формулы (2) следует, что на величину контактного сопротивления влияют температура контакта и его форма, а также величина прилагаемого усилия. При высоких температурах на поверхности металлов всегда возникают окислительные пленки толщиной 10 ... 20 Å, имеющие высокое сопротивление около 140 ... 170 Ом [5], в то время как контактное сопротивление этих материалов при нормальной температуре находится в пределах 1 ... 5 Ом. Из изложенного следует, что внутреннее сопротивление контактной искусственной термопары изменяется в широких пределах и достигает больших величин, значительно превышающих сопротивление обычных милливольтметров и гальванометров, который находится в пределах 20 ... 60 Ом. В этом случае применение аппаратуры с малым внутренним сопротивлением не обеспечит необходимой точности. Высокая точность может быть обеспечена при использовании гальванометров с высоким сопротивлением, например – высокочувствительного многопредельного гальванометра со световым указателем типа 167311 фирмы GOERZ, который имеет внутреннее сопротивление при шкале 100 мВ в 200000 Ом.

Если считать, что сопротивление контакта изменяется от 1 до 200 Ом, то для двух контактов искусственной контактной термопары относительная погрешность может быть определена из соотношения:

$$\begin{aligned} \Delta &= 2 \frac{R^{\max} - R^{\min}}{R^{\min}} 100\% = \\ &= 2 \frac{(R_M + R_T^{\max}) - (R_M + R_T^{\min})}{R_M + R_T^{\min}} 100\% = \\ &= 2 \frac{(200000 + 400) - (200000 + 2)}{200000 + 2} 100\% = \\ &= 0,004 \cdot 100\% = 0,4\%. \end{aligned} \quad (3)$$

Разработанный авторами метод измерения температуры поверхности токопроводящих тел двумя контактными термоэлектродами обладает высокой точностью измерений, исключает инерционность прогрева спаянной термопары, обеспечивает быстрое действие и может быть использован в системах с такими особенностями, как труднодоступность, движение элементов системы, малая величина поверхности для измерений, невозможность применения стандартных датчиков температуры. Этот метод внедрен на Одесском кабельном заводе в АСУ ТП непрерывного литья бескислородной медной катанки [6, 7].

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент України на корисну модель № 104319. Зонд для вимірювання температури поверхонь тіл / Г. О. Оборський, Б. О. Моргун, Ю. Б. Моргун, І. В. Прокопович // Бюл. № 2, 2016.
2. Вимірювання фізичних величин / Г. О. Оборський, П. Т. Слободяник, В. Л. Костенко, С. Г. Антошук. – Одеса: Астропринт. 2012. – 329 с.
3. Преображенский В. П. Теплотехнические измерения и приборы / В.П. Преображенский. – М.: Энергия, 1954. – 426 с.
4. Справочник по элементам автоматики и телемеханики. – М.: Госэнергоиздат, 1967. – 423 с.
5. Слуцкая В. В. Тонкие пленки в технике СВЧ / В. В. Слуцкая. – К.: Техніка, 1967. – 288 с.
6. Организация контроля температуры при непрерывном литье медной катанки / Г. А. Оборский, И. В. Прокопович, М. М. Костина, М. А. Духанина // Материалы XII Международной научно-практической конференции «Литье. Металлургия. 2016». – 24–26 мая 2016 г., г. Запорожье. – Запорожье: ЗТПП, 2016. – С. 174–177.
7. Метрологическое обеспечение АСУ ТП непрерывного литья медной катанки / Б. А. Моргун, И. В. Прокопович, М. М. Костина, Ю. Б. Моргун // Системи обробки інформації: збірник наукових праць. – Харків: ХУПС ім. І. Кожедуба, 2016. – Вип. 6 (143). – С. 100–103.

СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ВАНТАЖОПІДЙМАЛЬНИХ КРАНІВ

Вантажопідіймальні крани в порівнянні з іншим промисловим обладнанням мають дуже низькі коефіцієнти корисної дії і тому є одними з найменш ефективних за енергоспоживанням машинами. Необгрунтовано високе споживання енергії більшістю вантажопідіймальних кранів обумовлено як застарілими системами управління крановими електроприводами, неоптимальними режимами роботи механізмів, так і незадовільним технічним станом кранового обладнання. В першу чергу це стосується кранів, які відпрацювали нормативний термін, але залишаються в експлуатації в даний час.

Оскільки темпи оновлення парку вантажопідіймальних кранів значно нижче темпів зростання числа машин з простроченими нормативними термінами експлуатації, то з кожним роком зазначена проблема буде загострюватися. В даний час в Україні експлуатується понад 90 тисяч вантажопідіймальних кранів, з яких 81% виробили нормативний ресурс.

Автором розроблена система моніторингу енергоспоживання вантажопідіймальних кранів з урахуванням нормативних вимог безпечної експлуатації. Система моніторингу базується на встановленому функціональному зв'язку між змінами втрат енергії при експлуатації вантажопідіймальних кранів і їх технічним станом. В процесі експлуатації кранів істотно змінюються: стан підкранових колій, реборд і ободів ходових коліс, гальмівних накладок, гальмівних шківів, канатних блоків, барабанів, підшипників і інших вузлів тертя в кранових механізмах, опір ізоляції і стан обмоток електродвигунів і релейно-контакторної апаратури, котушок електромагнітних штовхачів, в'язкість робочої рідини в електрогідроштовхачах і редукторах і т.д. Внаслідок цього в процесі експлуатації змінюються також втрати енергії і в цілому енергоспоживання машин.

З метою проведення досліджень і оптимізації енергетичних показників кранових електроприводів, динамічних навантажень і кінематичних параметрів вантажопідійомних машин, розроблені математичні моделі [1], які враховують перехідні процеси в кранових електроприводах, коливання металоконструкції, розгойдування вантажу та являють собою сукупність нелінійних диференціальних рівнянь. Для вирішення останніх розроблено пакет комп'ютерних прикладних програм [2], що використовує чисельні методи і реалізує різні процеси розгону і гальмування механізмів пересування кранів, підйому та опускання вантажів (в тому числі: багатоступінчастий пуск по нелінійним механічним характеристикам, пуск при частотному регулюванні, гальмування противмиканням електродинамічне гальмування, гальмування колодковим гальмом і ін.).

Аналіз результатів досліджень дозволив встановити ступінь впливу різних факторів на втрати енергії і енергоспоживання вантажопідіймальних кранів. Наприклад, енергоспоживання електроприводу механізму підйому крім висоти, на яку піднімають вантаж, також істотно залежить від моменту інерції ротора двигуна, муфт і гальмівного шківів, розташованих на швидкохідному валу. Енергоспоживання електроприводу механізму пересування крана в першу чергу залежить від довжини і швидкості пересування крана, маси металоконструкції і вантажу, стану підкранових колій, кутів установки ходових коліс, одночасності спрацьовування роздільного приводу.

Функціональний зв'язок між величинами енергоспоживання і параметрами, які характеризують технічний стан вантажопідіймальних кранів, встановлено за допомогою теорії планування експерименту. На основі багатофакторного аналізу визначено шляхи зниження втрат енергії кранів [3, 4]. Розроблено концепцію створення засобів контролю енергоспоживання, втрат енергії і інших параметрів вантажопідіймальних кранів [5]. Для зручності накопичення, обробки та аналізу результатів моніторингу вантажопідіймальних кранів і довідково-статистичної інформації розроблено автоматизований програмний комплекс.

Моніторинг енергоспоживання вантажопідіймальних кранів на підприємствах доцільно здійснювати в період проведення повного або часткового технічного огляду.

ЛІТЕРАТУРА

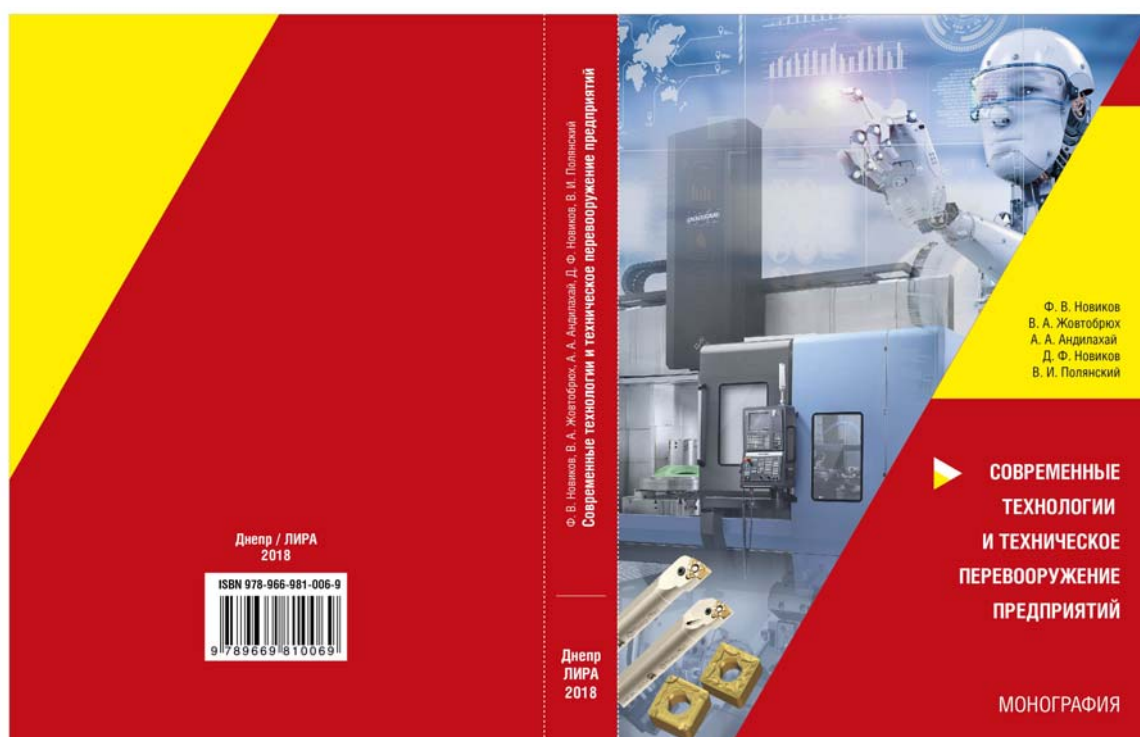
1. Неженцев А. Б. Повышение эффективности энергопотребления грузоподъемных кранов / А. Б. Неженцев, С. М. Аветисян // Перспективы рынка подъемных сооружений в едином экономическом пространстве: Сб. трудов науч.-практ. конф. – Одесса: Астропринт, 2004. – С. 114–122.
2. Аветисян С. М. Программное обеспечение для исследования переходных процессов грузоподъемных кранов (часть 1: при работе механизмов передвижения) / С. М. Аветисян, А. Б. Неженцев // Підйомно-транспортна техніка. – № 4(8). – Дніпропетровськ, 2003. – С. 33–48.
3. Неженцев А. Б. Исследование влияния скорости передвижения грузоподъемного крана на энергопотребление и динамические нагрузки / А. Б. Неженцев // Техніка та технологія виконання будівельних, колійних та перевантажувальних робіт на транспорті. Зб. науков. праць Української державної академії залізничного транспорту. – Вип. №58. – Харків, 2004. – С. 35–42.
4. Неженцев А. Б. Моделирование потерь энергии при работе механизма подъема крана / А. Б. Неженцев, С. М. Аветисян, Д. А. Зябров // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – №7(77), частина 2. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2004. – С. 117–123.
5. Неженцев А. Б. Концепция мониторинга энергопотребления грузоподъемных машин / А. Б. Неженцев // [Електронний ресурс] Наукові вісті Далівського університету, №7, 2012 р. Режим доступу до журн.: <http://www.nbu.gov.ua/e-journals/Nvdu/2012-7/12nabegm.pdf>.

НОВЫЕ МОНОГРАФИИ О СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Издательством "Лира" (г. Днепр) изданы две монографии, посвященные современному состоянию технологии машиностроения и модернизации предприятий Украины новым высокопроизводительным технологическим оборудованием, режущими инструментами и оснасткой:

1. Современные технологии и техническое перевооружение предприятий : монография / Ф. В. Новиков, В. А. Жовтобрюх, А. А. Андилахай, Д. Ф. Новиков, В. И. Полянский. – Днепр : ЛИРА, 2018. – 400 с.

2. Проектирование и автоматизированное программирование современных технологий для станков с ЧПУ : монография / В. А. Жовтобрюх, Ф. В. Новиков. – Днепр : ЛИРА, 2019. – 480 с.



В монографии "Современные технологии и техническое перевооружение предприятий" обоснованы новые технологические возможности повышения производительности и качества механической обработки за счет применения современных технологий, оборудования и инструментов зарубежного производства. Представлен многолетний опыт широкого практического применения на предприятиях Украины зарубежных технологий металлообработки, оборудования и инструментов, накопленный под руководством канд. техн. наук Жовтобрюха В. А. в Техническом центре "ВариУс" (г. Днепр), который является наибольшей инжиниринговой компанией по

обеспечению предприятий оборудованием, инструментом и запасными частями. Показана эффективность применения технологических процессов высокоскоростного резания на современных металлорежущих станках с ЧПУ типа "обрабатывающий центр" производства компании Doosan (Южная Корея) с применением сборных высокопроизводительных режущих твердосплавных и керамических инструментов с износостойкими покрытиями производства одной из крупнейших металлообрабатывающих компаний мира TaeguTec (Южная Корея).

Представлены новые разработки научной технологической школы выдающегося ученого-технолога профессора Якимова Александра Васильевича, одного из основателей современной науки о технологии машиностроения и механической обработке. Используя научные подходы профессора Якимова А. В., в работе на основе разработанных математических моделей динамики процесса прерывистого резания лезвийными и абразивными инструментами установлены новые закономерности возникновения вибраций, показана возможность существенного повышения качества и точности обрабатываемых поверхностей при одновременном увеличении производительности обработки за счет уменьшения времени ударного взаимодействия режущего инструмента с обрабатываемой деталью.

Приведена разработанная профессором Новиковым Ф. В. теория высокопроизводительного шлифования алмазными кругами на металлических связках различных труднообрабатываемых материалов. Показано, что при правильном научно обоснованном выборе оптимальных параметров шлифования, включая параметры электроэрозионной правки алмазного круга, появляется возможность повышения до 5 раз производительности обработки при экономически обоснованном расходе алмаза и высоком качестве обрабатываемых поверхностей. Установлено, что применение схемы глубинного алмазного шлифования с относительно небольшой скоростью детали и долевой продольной подачей, близкой к единице, позволяет в ряде случаев совместить предварительное и окончательное шлифование в одну операцию и существенно повысить производительность обработки при обеспечении высокого качества обрабатываемых поверхностей.

В работе представлены новые математические модели определения параметров теплового процесса при механической обработке, позволяющие научно обоснованно подойти к определению оптимальных режимов резания и разработке эффективных технологий механической обработки лезвийными и абразивными инструментами.

Профессором Андилахаем А. А. в обобщенном виде представлены теория и практика чрезвычайно перспективного метода струйно-абразивной обработки (зачистки) деталей малой жесткости массой до 3 г, осуществляемого с помощью струй сжатого воздуха, затопленных абразивной суспензией. Метод обеспечивает сохранность (долговечность) сопел, подающих сжатый воздух, и позволяет с высокой эффективностью выполнять такие трудоемкие технологические операции как удаление заусенцев, скругление острых кро-

мок, очистку поверхностей деталей от окисной пленки, подготовку деталей под гальванические покрытия и др.

В работе приведена разработанная методика инвестиционного планирования технического перевооружения на промышленных предприятиях на основе сведения в единый процесс всех необходимых мероприятий, обеспечивающих максимальную эффективность производства. Обобщен практический опыт проведения технического перевооружения на промышленных предприятиях Украины с обоснованием его эффективности от применения современных технологий, металлорежущих станков с ЧПУ, инструментов, оснастки и других технических средств.



В монографии "Проектирование и автоматизированное программирование современных технологий для станков с ЧПУ" обобщен опыт эффективного применения на предприятиях Украины современных технологий, металлорежущих станков с ЧПУ типа "обрабатывающий центр" и сборных лезвийных твердосплавных и керамических инструментов с износостойкими покрытиями зарубежного производства. Приведены многочисленные примеры их эффективного практического использования на основе оптимального проектирования технологических процессов обработки вполне конкретных и сложных в изготовлении деталей машин. Проведен сравнительный анализ различных систем автоматизированного проектирования и программирования технологических процессов для станков с ЧПУ. Обоснованы возможности автоматизированного проектирования и программирования технологических процессов для металлорежущих станков с ЧПУ с применением высокотехнологичного программного продукта САПР ESPRIT.

В работе приведены теоретические подходы и полученные оптимальные решения для проектирования высокоэффективных технологий производства на

основе установленных условий снижения силовой и тепловой напряженностей процессов механической обработки деталей машин. С позиции управления упругими перемещениями, возникающими в технологической системе, и температуры резания определены условия повышения точности, качества и производительности обработки лезвийными и абразивными инструментами. Теоретически обоснована возможность осуществления высокоточной и высококачественной финишной обработки лезвийными инструментами из синтетических сверхтвердых материалов, а также твердосплавными и керамическими лезвийными инструментами с износостойкими покрытиями.

Установлены оптимальные условия осуществления бездефектного высокопроизводительного глубинного шлифования и его эффективного использования на практике. Определены условия снижения интенсивности автоколебаний и вынужденных колебаний, возникающих при резании материалов.

Приведены примеры решения дифференциального уравнения теплопроводности в частных производных методом Фурье разделения переменных для различных граничных и начальных условий, применяемых в теории резания материалов, что открывает новые возможности поиска оптимальных условий механической обработки по температурному критерию. Представленные монографии о современных технологиях машиностроения имеют большое значение при решении проблем развития машиностроительного комплекса Украины.

Новиков Д. Ф.

Харьковский национальный экономический университет
имени Семена Кузнеця, г. Харьков, Украина

СОЦИАЛЬНО-ОТВЕТСТВЕННЫЙ МАРКЕТИНГ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Глобальная задача маркетинга – увеличение прибыли предприятия путем удовлетворения потребностей клиента, расширения рынков сбыта и т.п. Маркетологи разрабатывают различные мероприятия, которые напрямую или косвенно направлены на улучшение эффективности предприятия. Одно из направлений маркетинга – приверженность принципам социальной ответственности в маркетинге. Деятельность предприятия должна быть направлена не только на удовлетворение базовых потребностей клиента, но и на улучшение качества жизни населения и сохранение окружающей среды. Управляя социально-ответственным маркетингом машиностроительного предприятия можно добиться значительного повышения эффективности деятельности предприятия за счет повышения доверия потенциальных клиентов к выпускаемой продукции, и, как следствие, расширение рынков сбыта с выходом на зарубежные рынки.

Рассмотрим управление прибылью с помощью математических моделей. Согласно классическому определению термина «прибыль предприятия», получена следующая формула:

$$Pr = C - C, \quad (1)$$

где C – цена товара, грн; C – себестоимость товара, грн.

Исходя из приведенной формулы (1), видно, что для изменения прибыли предприятия можно изменять величину себестоимости или цену товара. На процесс изменения цены влияет большое количество внешних факторов, главным из которых является конъюнктура рынка. В большинстве случаев эти факторы не зависят от руководства предприятия. Себестоимость товара, наоборот, зависит от руководства предприятия. Поэтому наиболее эффективно в дальнейшем рассматривать процесс регулирования как отдельных статей себестоимости, так и себестоимости в целом.

Для эффективного рассмотрения вопроса управления прибылью предприятия через регулирование себестоимости товара необходимо представить себестоимость следующей зависимостью:

$$C = Z_t + Z_n + Z_{ш}, \quad (2)$$

где Z_t – затраты, связанные с производством товара (себестоимость технологическая), грн; Z_n – накладные затраты, которые не относятся напрямую к производству товара, грн; $Z_{ш}$ – затраты, связанные с наложением на предприятие штрафных санкций за нарушение условий контракта, грн.

Социально-ответственный маркетинг в большинстве случаев связан с технологической себестоимостью и штрафными санкциями. Поэтому в дальнейшем показатель накладных затрат рассматривать не будем.

Технологическая себестоимость изделия включает затраты на: заработную плату за время, необходимое на изготовление изделия; сырье, используемое при изготовлении изделия; компенсацию отходов сырья; используемую технологическую энергию; амортизацию оборудования; стоимость потребленного инструмента; расходы по содержанию и эксплуатации оборудования.

Технологическую себестоимость C_t следует рассматривать в двух направлениях. Во-первых, технологическая себестоимость C_t определяет все переменные затраты, связанные с изготовлением изделия с учетом требований Заказчика, например, по всем требованиям технических условий и чертежа на изготовление изделия. Поэтому, если не все технические требования на изготовление изделия выполнены, то технологическая себестоимость будет меньше. Это негативно отразится на изделии, поскольку в данном случае будет занижено его качество – по сути, получено бракованное изделие, которое удастся или не удастся «протолкнуть» Заказчику. В конечном итоге за эту некачественную работу Исполнитель может потенциально получить штрафные санкции – все зависит от Заказчика, от его требовательности и условий, прописанных в контракте. Многие Исполнители так и поступают.

Например, есть установленная цена изделия и его реальная технологическая себестоимость, которая может превышать цену. Выход для социально-ответственных исполнителей в такой ситуации – это уменьшение технологической себестоимости C_t за счет невыполнения некоторых предусмотренных обязательствами требований к изготовлению изделия. В итоге получается некачественно изготовленный продукт, который любыми путями, различными махинациями, «проталкивают» Заказчику и добиваются того, чтобы он не наложил штрафные санкции на Исполнителя и не привел к убыткам предприятие.

Для социально-ответственного Исполнителя основной путь снижения технологической себестоимости – это применение новых эффективных технологий производства и техническое перевооружение предприятия. Эффект в этом случае достигается за счет повышения производительности труда, снижения затрат по заработной плате работников, оборудованию, инструментам и т.д. Это позволяет выполнить все требования Заказчика к изготовлению продукции, т.е. обеспечить требуемое ему качество и одновременно снижать технологическую себестоимость, добиваясь повышения прибыли.

Для улучшения конкурентоспособности продукции на рынках Исполнитель может снижать цену, уменьшая таким путем свою прибыль. Но в этом случае он получает возможность привлечения новых клиентов и расширения своего производства. За счет эффекта масштабирования деятельности машиностроительное предприятие в итоге увеличивает свою прибыль.

Создавая современную производственную базу, предприятие создает для себя как минимум фундамент для эффективного выполнения взятых обязательств. Имея в распоряжении эффективное оборудование, производительный инструмент, технологии и высокопроизводительный персонал, предприятие может качественно произвести необходимую продукцию с соблюдением всех технических и экологических норм и стандартов. При этом некоторые руководители даже в таких условиях идут на обман своих клиентов, производя некачественную продукцию и получая за это сверхприбыль. Данный фактор зависит от психологических особенностей каждого руководителя и для борьбы с этим необходимо усиливать законодательные нормы вплоть до криминальной ответственности для тех руководителей, который умышленно произвели некачественную продукцию, и которая впоследствии нанесла ущерб конечному покупателю или окружающей среде.

Если же руководитель предприятия добросовестный, то при наличии у него современной производственной базы предприятие сможет выпускать качественную продукцию с минимальной себестоимостью. Для улучшения конкурентоспособности продукции на рынках предприятие-исполнитель может снижать цену за счет снижения себестоимости. Предприятие может пойти на уменьшение своей прибыли с одной единицы продукции, при этом прибыль от производства продукции по новой технологии будет выше прибыли, полученной по базовой технологии производства. Снижая цену на производимую продукцию, предприятие повышает конкурентоспособность и привлекает новых клиентов, расширяет свое производство и за счет масштабирования деятельности – предприятие увеличивает свою прибыль.

Таким образом, существуют два направления в решении задачи снижения себестоимости изготовленной на машиностроительном предприятии продукции – это социальная безответственность, действующая по методу мины замедленного действия и приводящая к развалу предприятия, и применение социально-ответственного маркетинга, улучшающего деятельность и расширяющего возможности развития предприятия за счет выпуска качественной и безопасной для здоровья людей и окружающей среды продукции.

ДЕМПФИРУЮЩИЙ РЕЗЕЦ С ИЗМЕНЯЕМОЙ ЖЕСТКОСТЬЮ ПО ДЛИНЕ ДЕРЖАВКИ

Одной из важнейших задач в машиностроении является повышение эффективности производства и улучшение показателей качества изделий. Применение инструментов с виброгасящим эффектом в виде демпфирующих резцов позволяет успешно решить проблему наилучшей обработки деталей из различных конструкционных материалов [1]. Однако, известные конструкции демпфирующих резцов [2–7] имеют ряд недостатков, связанных с проблемой регулирования жесткости резцов, необходимостью подбора материала корпуса резца с высоким демпфированием требуемой жесткости, или размещением его в державке по всей длине корпуса державки с выборкой, что приводит к перерасходу материала, обладающего свойством высокого демпфирования и повышает трудоемкость монтажа резца. Например, недостатками известного демпфирующего резца [2] являются: низкие эксплуатационные характеристики, обусловленные тем, что жесткость вставки из материала с высоким демпфированием, размещенной в выборке державки, неизменна при любых параметрах технологического процесса и при обработке любых конструкционных материалов невозможно регулирование жесткости резцов, поэтому каждый раз необходим подбор материала с высоким демпфированием требуемой жесткости и размещение его в выборке державки, кроме того, так как вставка имеет постоянную жесткость, то в ней при действии на резец возмущающей силы резания возникает момент пары восстанавливающих сил, недостаточный для эффективного демпфирования колебаний резца; материал вставки размещен по всей длине конца державки с выборкой, что приводит к перерасходу материала, обладающего свойством высокого демпфирования; большая трудоемкость монтажа резца [3–5]. Более совершенной конструкцией обладает демпфирующий резец с управляемой жесткостью [5], но и он имеет следующие недостатки:

1. При обработке изделия возмущающая сила резания вызывает колебания резца, однако, оболочка, с закачанным через штуцер в полые боковые стенки и днище воздухом, имеет постоянную жесткость по всей длине конца державки с выборкой, поэтому возникающая в ней пара восстанавливающих сил, хотя и создает момент, стремящийся вернуть резец в положение статического равновесия и демпфирует колебания, но он недостаточен, чтобы минимизировать вибрации до желаемого уровня и не позволяет достигнуть требуемого качества обработки.

2. Перерасход вулканизированного материала оболочки, так как ее высота от внутренней стенки днища равна длине державки с выборкой.

сбрасывания его из оболочек 5, 8 (уменьшение жесткости), сохраняя условие, что жесткость цилиндрической оболочки 8 меньше жесткости оболочки 5. При этом металлические поверхности державки 3 и штуцеров 6, 9 в процессе обработки не контактируют со стаканом 4, так как два конца державки 3 с выборкой расположены в оболочках 5, 8 с закачанным воздухом, диаметр d_1 штуцера 6 меньше диаметра d_2 сквозного отверстия 7 в дне стакана 4, а диаметр d_1 штуцера 9 меньше размеров сквозного паза 10 в боковой поверхности стакана 4.

При обработке конструкционного материала возмущающая сила резания вызывает колебание резца. Если бы конец державки 3 с выборкой был установлен в оболочке 5 с закачанным в ее днище и боковые стенки воздухом, а высота оболочки 5 от внутренней стенки днища была равна длине L конца державки 3 с выборкой, то в оболочке 5 возникла пара восстанавливающих сил, создающих момент, стремящийся вернуть резец в положении е статического равновесия, но не достаточно демпфирующий колебания. (Пара сил – это две равные по модулю параллельные силы, направленные в противоположные стороны; момент пары равен произведению модуля силы пары на плечо; плечо – кратчайшее расстояние между параллельными силами пары).

Если бы оба конца державки 3 с выборкой были расположены в оболочках 5, 8 с закачанным воздухом, и имели одинаковые жесткости, то при демпфировании колебаний резца в оболочках 5, 8 возникли две пары демпфирующих сил с одинаковыми моментами, но недостаточными, чтобы минимизировать вибрации до желаемого уровня.

Так как жесткости оболочек 5, 8 с закачанным в них воздухом различны, причем жесткость цилиндрической оболочки 8 меньше жесткости оболочки 5, то в оболочке 5 возникает пара сил, модули которых больше модулей пары сил в оболочке 8. Поэтому в оболочке 5 действует дополнительный восстанавливающий момент от пары сил, равных разности модулей сил в оболочках 5, 8, что повышает эффективность демпфирования колебаний резца.

Таким образом, происходит высокоэффективное демпфирование продольных, поперечных вибраций и ударных нагрузок, возникающих в процессе резания, что повышает надежность протекания этого процесса, как в токарных, так и в строгальных технологических операциях. Поэтому путем варьирования разностью жесткостей оболочек 5, 8 с закачанным в них воздухом, можно минимизировать вибрации резца до необходимого уровня и достигнуть требуемого качества обработки. Снижение расхода вулканизированного материала происходит за счет того, что высота l_1 оболочки 5 от внутренней стенки днища и протяженность l_2 оболочки 8 меньше половины длины $L/2$ конца державки 3 с выборкой. Появляется возможность дистанционного бесступенчатого варьирования жесткостью цилиндрической оболочки 8 за счет изменения в ней давления сжатого воздуха, с соблюдением условия, что ее жесткость меньше жесткости оболочки 5 в форме параллелепипеда из вулканизированного материала. Это позволяет:

1. Повысить качество обработки путем увеличения эффективности демпфирования колебания резца за счет того, что один конец державки с выборкой установлен в оболочке с полыми днищем и боковыми стенками, а второй конец державки размещен в цилиндрической оболочке с полыми боковыми стенками. Закачкой воздуха в полости оболочек дистанционно бесступенчато варьируют жесткостями оболочек с соблюдением условия, что жесткость цилиндрической оболочки меньше жесткости второй оболочки.

2. Снизить расход вулканизированного материала, так как оболочки с концами державки с выборкой расположены на расстоянии друг от друга, высота одной оболочки от внутренней стенки днища и протяженность другой цилиндрической оболочки меньше половины длины державки с выборкой (заявка на изобретение).

Таким образом, предлагаемый демпфирующий резец с варьируемой жесткостью позволяет достичь технического результата по повышению качества обработки и снижению расхода вулканизированного материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Инструментальное обеспечение механической обработки твердыми сплавами и композитами: монография / Е. И. Яцун, В. В. Малыхин, О. С. Зубкова, С. Г. Новиков. – Курск: ЗАО «Университетская книга» – 2016. – С. 160–224.
2. Демпфирующий резец: патент 2457077 Рос. Федерация: МПК В23 В27/00 / С. Г. Новиков, В. В. Малыхин, Е. И. Яцун и др. №2011106621/02; заявл.22.02.2011; опубл. 27.07.2012. Бюл. № 21.
3. Повышение эксплуатационных характеристик демпфирующих резцов / В. В. Малыхин, Е. И. Яцун, С. Г. Новиков // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. – Курск, 2012. – № 2. – С. 43–46.
4. Виброакустическая диагностика состояния режущего инструмента и микронеровностей обработанной поверхности: Справочник / В. В. Малыхин, Е. И. Яцун, С. Г. Новиков // Инженерный журнал № 14, 2014. – ООО «Издательский дом «Спектр». – С. 31–35.
5. Демпфирующий резец с управляемой жесткостью: патент 2535196 Рос. Федерация: МПК В23 В27/00/ С. Г. Новиков, В. В. Малыхин, Е. И. Яцун и др. №2013113649/02; заявл. 26.03.2013; опубл. 10.12.2014. Бюл. № 34.
6. Повышение устойчивости процесса точения демпфирующим резцом / С. Г. Новиков, В. В. Малыхин, Е. И. Яцун и др. // Известия Юго-Западного государственного университета. – № 3(36). – Курск, 2011. – С. 122–125.
7. Разработка конструкций демпфирующих резцов / В. В. Малыхин, Е. И. Яцун, Ю. Н. Селезнев, С. Г. Новиков // Химическая и нефтегазовое машиностроение № 11. – Москва: ООО «Тисо Принт», 2016. – С. 25–27.
8. Демпфирующие резцы постоянной жесткости и упругой связью с системой «Станок–инструмент–деталь» / С. Г. Емельянов, В. В. Малыхин, Е. И. Яцун, С. Г. Новиков // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. Вып. 8: в 2 ч. Ч.2. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2017. – С. 22–31.

Новиков Ф. В.

Харьковский национальный экономический университет
имени Семена Кузнеця, г. Харьков, Украина

Клочко А. А., Камчатная-Степанова Е. В., Старченко Е. П.

Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ЗУБОФРЕЗЕРОВАНИЯ КРУПНОМОДУЛЬНЫХ ШЕВРОННЫХ ЗАКАЛЕННЫХ КОЛЕС

Технологические схемы зубофрезерования крупномодульных шевронных закаленных колес являются перспективным направлением и направлены на повышение производительности зубофрезерования червячными фрезами увеличением подачи инструмента и увеличением скорости резания с обеспечением параметров шероховатости поверхностного слоя эвольвентных поверхностей зубьев.

Для чистовых червячных фрез рост величины подачи ограничивается условиями требуемой чистоты обработки профиля зубьев. Поэтому используя этот путь, в конструкции фрезы производились изменения, главным образом, с точки зрения уменьшения волнистости на обработанной поверхности зубьев колеса. Корреляционная связь между высотой гребешков волнистости h_s , подачей фрезы S , профильным углом зубьев инструмента α_u и радиусом вращения рассматриваемой точки зуба фрезы r определяется формулой

$$h_s = \frac{s^2 \sin \alpha}{8r} \quad (1)$$

Из (1) видно, что при неизменной подаче S высота гребешков уменьшается наиболее интенсивно с уменьшением профильного угла зубьев фрезы α_u . Следовательно, при уменьшении угла, можно увеличивать подачу S не увеличивая высоты гребешков h_s , снижающих точность профиля. Уменьшить величину волнистости можно и за счет роста размеров фрезы (r). Но этот путь менее эффективен, так как для достижения экономичной стойкости инструмента придется уменьшать обороты инструмента, а, следовательно, снижать и производительность процесса.

Предложенные технологические схемы формообразования с применением червячных фрез с уменьшенным либо равным 0° углом профиля зубьев конструкции Кельнера А.Н., фрезы "Байкал" конструкции Печерских А.И. имеют «нулевой» угол профиля зубьев. Фреза с уменьшенным либо равным 0° углом профиля зубьев конструкции Кельнера А.Н. предназначена для чернового и чистового нарезания зубьев шевронного колеса, имеет скорректированные по высоте зубья. Фреза "Байкал" - только чистовая. Обе фрезы состоят из двух корпусов, каждый из которых обрабатывает только одну из боковых сторон зуба колеса. Серьезным недостатком рассмотренных конструкций является пов-

реждение ранее обработанной поверхности зуба колеса на верхнем участке траектории движения зуба инструмента. Однако отдельную обработку противоположных боковых сторон зубьев колеса и отсутствие резания вершинными кромками зубьев инструмента при чистовом фрезеровании следует считать прогрессивными решениями. Первое позволяет улучшить условия резания боковых кромок за счет создания разнонаправленных стружечных канавок, второе исключает стесненность процесса резания (коробчатые стружки) и тем самым улучшает динамику резания, повышает стойкость инструмента и точность нарезаемых зубьев.

Стремление к улучшению геометрических параметров режущей части червячных фрез, главным образом к увеличению задних углов резания на вершинных и боковых кромках, привело исследователей к созданию острозаточенного сборного инструмента.

Лабораторные исследования и промышленное внедрение инструмента показали, что по сравнению с дисковыми модульными и червячными затылованными фрезами, режимы резания при работе острозаточенными фрезами выше: скорость резания на 10-20%, подача на 50-80%. Машинное время обработки колеса сокращается в среднем на 40%. При повышенных режимах резания, стойкость острозаточенных фрез в 3-4 раза выше стойкости дисковых модульных фрез и в 2 раза выше стойкости червячных затылованных фрез. Однако, такие технологические схемы чистовой обработки закаленных шевронных колес не получили широкого применения на машиностроительных заводах ввиду сложности изготовления и эксплуатации острозаточенных фрез.

Предложена технология чистового нарезания закаленных шевронных колес обкаточными резцами (рис. 1).

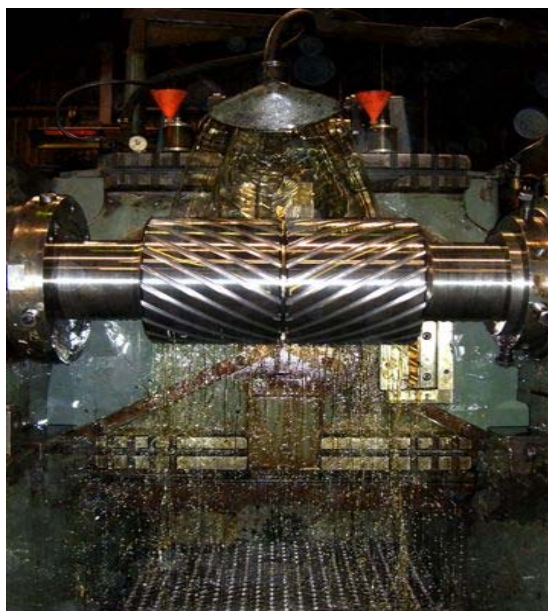


Рисунок 1 – Обработка шевронной вал-шестерни обкаточными резцами

При работе обкаточными резцами настройка всех кинематических цепей горизонтального зубофрезерного станка производится так же, как при фрезеро-

вании червячными фрезами. Обработка каждой стороны зуба может осуществляться как поочередно, так и одновременно. Конструкция инструмента позволяет обеспечить передний и задний углы режущей части значительно большими, чем у затылованных червячных фрез.

Обкаточные резцы нашли применение в производстве при нарезании сравнительно небольших крупномодульных вал-шестерен $m = 20-28$ мм: $Z = 20-47$. Шевронные вал-шестерни (рис. 2) изготавливают из поковок, имеющих более высокую твердость и лучшую структуру материала, чем у крупногабаритных колес, получаемых, как правило, литьем.



Рисунок 2 – Шевронные вал-шестерни

В последнее время появились и совершенствуются различные сборные конструкции так называемых незатылованных червячных фрез, у которых зубья вместо затылования подвергаются шлифовке по задним поверхностям на резьбошлифовальных или червячношлифовальных станках. Зубья шлифуются при установке их либо в рабочем корпусе фрезы, либо в специальном приспособлении. Рациональные задние углы обеспечиваются путем изменения положения зубьев в рабочем корпусе по отношению к положению при их шлифовании.

Способ шлифования зубчатых реек на резьбо или червячно-шлифовальных станках позволяет обеспечить высокую точность профиля по всей длине зуба, высокую точность шага витка и шероховатость рабочих поверхностей не более $R_a = 0,63$ мкм. Современные червячношлифовальные станки в состоянии шлифовать фрезы до $m = 25$ мм.

Чистовое зубофрезерование червячными твердосплавными фрезами (рис. 3) используется для обработки зубчатых колес 7-8 степени точности по DIN 3962, что соответствует, примерно, 7-8 степени по ГОСТ 1643-81. Зубообработка закаленных шевронных колес на современных зубофрезерных станках с ЧПУ позволяет нарезать зубья без ограничения скорости резания, в зависимости от стойкости твердосплавной фрезы и позволяет обрабатывать на скорости до $v=5$ м/с.

Конструктивные особенности и возрастающие требования к точности зуборезного инструмента накладывают свой отпечаток на технологию его изготовления, применяемое оборудование и измерительные приборы. Большинство

фирм, выпускающих зуборезный инструмент, решают эти вопросы комплексно, т.е. изготавливают инструмент, специальные зубофрезерные станки, а также станки и измерительные приборы для изготовления инструмента. Ведущее место в производстве оборудования, приборов и инструмента занимают станкостроительные и инструментальные фирмы Германии. Червячные фрезы любой точности и размеров существующих стандартов, шлифовально-затыловочные и заточные станки, а также измерительные приборы производятся в основном двумя фирмами - "Klingelnberg" и "Fette". Кроме этих, имеется еще ряд фирм, такие как "Pfauter" (Германия), "David Broun" (Англия) изготавливающих червячные фрезы, по своим качествам уступающие фрезам фирм "Klingelnberg" и "Fette". В Германии и Франции получили наибольшее распространение сборные конструкции червячных фрез, в то время как в США и Англии предпочтение отдается монолитным конструкциям.

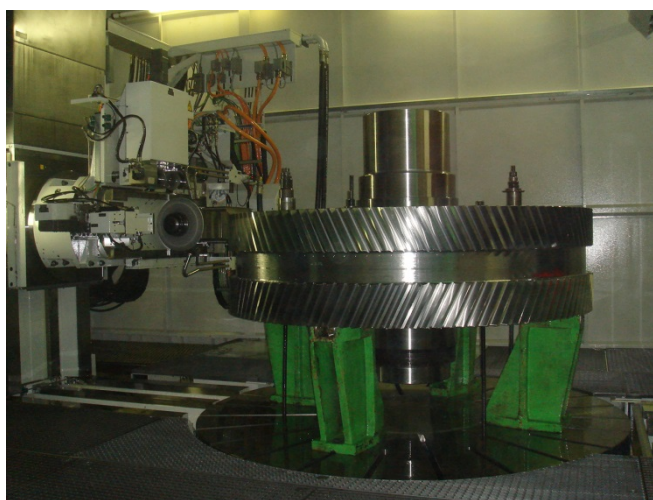


Рисунок 3 – Обработка шевронного колеса червячной твердосплавной фрезой

Чистовые крупномодульные червячные фрезы немецкими фирмами изготавливаются сборными. Профиль зубчатых реек этих фрез может шлифоваться непосредственно после их окончательной сборки в рабочем корпусе на шлифовально-затыловочных станках, как правило, пальцевыми кругами или, для отдельных конструкций, в специальных технологических корпусах на резьбошлифовальных станках (незатылованные червячные фрезы). Отдельные конструкции фрез фирмы "Klingelnberg" позволяют осуществить оба вышеизложенных способа шлифования. В конструкциях сборных фрез с поворотными рейками фирмы "Fette" используются рабочие корпуса, а в них одна база для шлифования профиля зубьев и установки зубчатых реек. Такие конструкции хотя и трудоемки в изготовлении, но более экономичны, чем использующие технологические корпуса.

Повышение производительности зубофрезерования тесно связано с обеспечением рациональных геометрических параметров режущей части червячных фрез. Исследования нарезания зубчатых колес $m=10$ мм, сталь 45, НВ 170-210 червячными затылованными фрезами с положительным передним углом

$\varphi = 10^\circ$ при режимах резания: $V = 24\text{--}23$ м/мин, $S = 1,6\text{--}2,47$ мм/об. показали, что стойкость данных фрез повышается по сравнению со стойкостью фрез, имеющих $\varphi = 0^\circ$, в 1,5 раза. Расход мощности, потребляемой станком на процесс резания, уменьшается на 15–20%, что позволяет увеличить подачу инструмента /34/. Однако при работе на скоростях свыше 28 м/мин это различие сокращается, а при $V = 37$ м/мин наблюдается обратное явление.

При обработке шевронных колес из стали 18ХГТ $m = 4,5$ мм, $Z = 35$ за один проход червячными фрезами с различными передними ($\varphi = 0^\circ\text{--}15^\circ$) задними ($\alpha_b = 15^\circ - 18^\circ$) углами были получены следующие данные. Увеличение переднего угла фрезы до $\varphi = 15^\circ$ уменьшает тангенциальную составляющую усилия резания P_z на 16%. Увеличение заднего угла на 5° снижает P_z на 28,6%. Одновременное изменение переднего и заднего углов в вышеуказанных пределах уменьшает силу P_z на 40%. Последняя конструкция фрезы ($\varphi = 15^\circ$, $\alpha_b = 18^\circ$) имела износ в 3 раза меньше по задней поверхности зубьев, чем фреза с $\varphi = 0^\circ$, $\alpha_b = 15^\circ$, несмотря на то, что подача на каждый ее зуб была в 2 раза больше, т.к. фреза была двухзаходной.

Макроотклонения в профиле зубьев колеса, связанные с органическими погрешностями профилирования фрез, имеют несколько методик расчета. Под органическими погрешностями червячной фрезы понимают отклонения профиля ее зубьев от профиля теоретического эвольвентного червяка в определенном сечении – осевом или отстоящем от осевого на расстоянии, равном радиусу основного цилиндра эвольвентного червяка. Органические погрешности полностью переносятся на профиль нарезаемых зубьев колеса. Величина их резко возрастает с увеличением модуля фрезы. Так с увеличением модуля от 8 мм до 16 мм, т.е. в 2 раза, органические погрешности архимедовых червячных фрез по ГОСТ 9324-60 возрастают почти в 5 раз, составляя соответственно: 11 мкм и 53 мкм. Поэтому вопросы точности профилирования крупномодульных червячных фрез имеют особо важное значение.

Значительное влияние на точность нарезания зубьев оказывают технологические факторы обработки. В зависимости от режимов резания и срезаемого припуска технологическая система подвергается действию различных по величине сил резания. Под действием упругих деформаций, вызываемых силами резания, происходит смещение исходного контура инструмента, упругий поворот фрезы вокруг своей оси, дополнительный поворот обрабатываемого колеса и т.д. Все эти отклонения в кинематике относительных движений инструмента и детали приводят к погрешностям зубьев нарезаемого колеса.

Изменение подачи в пределах $S = 0,5\text{--}1,4$ мм/об оказывает незначительное влияние на точность зубофрезерования. При $S = 1,5$ мм/об наблюдается существенный рост погрешности профиля нарезаемых зубьев, отклонения длины общей нормали, накопленной погрешности окружных шагов зубьев. Например, при увеличении подачи с 1,5 мм/об до 2,5 мм/об, т.е. в 1,6 раза, погрешность профиля зубьев возросла с 18 мкм до 40 мкм, т.е. в 2,2 раза, а накопленная погрешность окружного шага зубьев увеличилась с 30 мкм до 65 мкм, т.е. в 2 раза.

Скорость резания оказывает наиболее существенное влияние на погреш-

ность профиля зубьев. Так при увеличении скорости резания с 20 м/мин до 40 м/мин, т.е. в 2 раза, погрешность профиля зубьев возросла с 16 мкм до 60 мкм, т.е. в 3,7 раза. Точность фрезерования червячными фрезами повышается с уменьшением глубины резания (припуска на чистовую обработку). При $t = 0,5-1$ мм отклонения показателей точности колеса не выходили за пределы 7-й степени точности. Погрешности профиля зубьев колеса, возникающие под действием сил резания, меньше погрешностей, являющихся следствием недостаточно точного изготовления самой фрезы. Только в условиях недостаточной жесткости эти погрешности становятся сравнимыми.

Результаты работ по исследованию влияния технологических факторов обработки на точность нарезания зубьев не всегда совпадают, а иногда носят и противоречивый характер. С увеличением скорости резания точность обработки зубьев может повышаться, но могут иметь обратные результаты. Противоречивость данных свидетельствует, прежде всего, о недостаточно глубоком изучении технологических подходов к обработке закаленных шевронных зубчатых колес. Следует отметить, что в области обработки шевронных колес крупных модулей такие исследования практически отсутствуют.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ключко А. А. Технологические основы обеспечения процесса зубообработки закаленных крупномодульных зубчатых колес [Текст] / А. А. Ключко, А. Н. Кравцов; Донбасская государственная машиностроительная академия; Закрытое акционерное об-во "ОНИКС". – Краматорск: ДГМА; Ирбит: ОНИКС, 2014 – 299 с.: ил., табл.; – (Серия: «Проектирование и применение режущего инструмента в машиностроении» / Общ. ред. Ю. М. Соломенцев). ISBN 978-5-906703-02-6.
2. Технологические процессы формирования поверхностного слоя зубчатых колес тяжелых токарных станков с ЧПУ / А. А. Ключко, Е. В. Мироненко, О. А. Анцыферова., Л. А. Макастрова., В. Е. Киреев // Надежность инструмента и оптимизация технологических систем : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2015. – Вып. 37. – С. 105–112.
3. Конструкторско-технологические способы повышения производительности и качества зубообработки крупногабаритных зубчатых венцов / Е. В. Мироненко, В. Ф. Шаповалов, А. А. Ключко, С. Ю. Палашек, Е. В. Остапович // Вісник НТУ «ХП». Серія: Технології в машинобудуванні. – Х. : НТУ «ХП», 2015. – № 4 (1113). – С. 28–32. – Бібліогр.: 3 назв.
4. Исследование процессов зубофрезерования закаленных шевронных зубчатых колес / А. А. Ключко, М. И. Гасанов, Е. В. Басова, С. Ю. Палашек, А. Л. Невмержицкий // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем: зб. наук. праць. – Краматорськ: ДДМА, 2017. – Вип. 40. – С. 90–101.
5. Shapovalov V., Klochko A., Gasanov M., Antsyferova O., Belovol A. Optimizing the technology of reconditioning large high precision gear rims. The current state of scientific research and technology in the industry. – Kharkiv. 2018. – № 3 (3). – P. 59–70.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ СВЕТООТРАЖАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ДЕТАЛЕЙ

С целью повышения отражательной способности и производительности обработки прецизионных деталей получены технологические решения, связанные с применением улучшенных технологических сред и конструкций инструментов и полировальников.

Улучшение технологических сред возможно путем применения в абразивных суспензиях всевозможных компонентов, которые в процессе обработки зеркал приводят к улучшению физико-химических параметров поверхности. В результате повышения однородности обработанной поверхности уменьшается работа выхода электрона (увеличивается величина контактной разности потенциалов).

Для обработки металлических зеркал из меди, алюминиевых сплавов и молибдена разработаны оптимальные технологические составы, обеспечивающие повышение их отражательной способности за счет улучшения параметров поверхностного слоя. Разработанные составы с полимерными добавками обеспечивают повышение отражательной способности по сравнению с применявшимися ранее составами. Состав алмазно-абразивной суспензии защищен авторским свидетельством [1]. В качестве полимерной добавки выбрана поливинилацетатная дисперсия (ГОСТ 18992-73), наличие которой в суспензии при оптимальном содержании 5 – 7 вес % обеспечивает фиксацию абразивных зерен на полировальнике.

Продукты механической деструкции поливинилацетата химически взаимодействует с металлом обрабатываемой поверхности, особенно с гребешками, и обеспечивают сглаживание этих гребешков, а также образуют на поверхности тончайшую оптически прозрачную пленку. При этом образуется ювенильная поверхность с благоприятным физико-химическим состоянием, с тончайшей пленкой окислов, которая практически не влияет на отражательную способность. Работа выхода электрона у такой поверхности гораздо меньше, чем у поверхностей, обработанных абразивной суспензией, например, с добавками различных поверхностно-активных веществ (ПАВ).

Наличие полимерных добавок повышает в 2 раза съём металла по сравнению с применяющимися ранее добавками ПАВ и повышает производительность процесса.

Кроме того, предложен состав на основе оксихинолиновых соединений при следующем соотношении компонентов (вес %): алмазный порошок 2 – 4; насыщенный раствор 8-оксихинолина – остальное.

Введение комплексообразующего компонента 8-оксихинолина обеспечивает увеличение производительности обработки за счет подавления сдвиговых деформаций и селективности воздействия на поверхностный слой обрабатываемого материала комплексообразующих компонентов (КК). Эти КК взаимодействуют с обрабатываемой поверхностью и при этом вначале адсорбируются поверхностью, а затем координационные центры КК образуют комплексные образования (еще не ставшие комплексными соединениями) с наиболее активными центрами поверхности. В результате активные центры, представляющие собой узлы кристаллической решетки материала, все более вовлекаются в координационную сферу КК. При этом все более ослабевают связи, удерживающие ионы в узлах кристаллической решетки.

Таким образом, существенно снижается энергетический порог отрыва ионов. Для этого достаточно небольших энергий сдвиговых деформаций в процессе полирования, т.е. съем поверхностного слоя может происходить не только путем царапания абразивными частицами, но и за счет сдвиговых деформаций. В результате значительно увеличивается производительность обработки в процессе полирования с участием КК.

Еще одной особенностью является селективность воздействия на поверхностный слой обрабатываемого материала. Наиболее уязвимыми местами для комплексообразования являются дефектные области поверхности, особенно наклонные гребни выступов, а также впадины, в которые затруднено проникновение громоздких молекул комплексообразователей. За счет этого максимальное количество КК взаимодействует с наиболее доступными узлами дефектных зон (гребни выступов), обеспечивая максимальный съем этих участков. При этом происходит сглаживание рельефа поверхности выступов, уменьшается крутизна и высота профиля.

Особенно важным моментом является то, что поверхность в процессе обработки в среде КК 8-оксихинолина не изменяет своего состава. В результате этого работа выхода электрона такой поверхности минимальна. Важным моментом также является выбор материала и конструкции полировальника.

Условия взаимодействия абразивных зерен с материалом заготовки и полировальника зависят от свойств и состояния всех элементов системы "полировальник – абразивная прослойка – заготовка".

При полировании незакрепленным абразивом поверхности заготовок деталей с высокой отражательной способностью из меди марки МОБ применяют различные полировальники, например, из технической шерсти, фторопласта, полихлорвинила или пеко-канифольной смолы (рис. 1).

Проведенные исследования показали, что эти материалы обладают рядом недостатков, вызывающих снижение эффективности процесса полирования. Так, полировальник, изготовленный из фторопласта, обеспечивает получение деталей с высокой отражательной способностью, однако съем материала при этом невысокий, так как фторопласт плохо удерживает абразив в зоне обработки. Полировальники из пеко-канифольной смолы быстро изнашиваются, поэтому не позволяют интенсивно удалять припуск на обработку в начальный пе-

риод процесса, когда параметр шероховатости обрабатываемой поверхности $R_a = 0,40 \dots 0,50$ мкм.

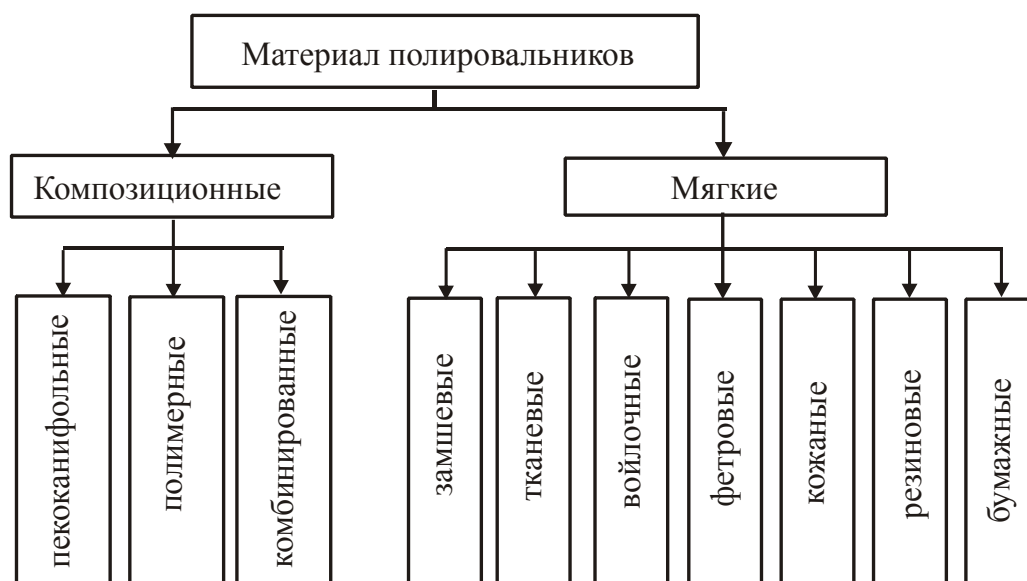


Рисунок 1 – Классификатор полировальников для обработки деталей с оптическими характеристиками

Прочностные свойства полировальника, износостойкость его рабочей поверхности, эффективное удержание абразивной суспензии в зоне обработки и равномерность ее распределения можно обеспечить введением в состав полировальной смолы марки СП-18 ТУ (СТБ 47-71), изготавливаемой Красногорским оптико-механическим заводом, а также добавки в виде износостойких мелкодисперсных частиц фторопласта-4. В связи с этим, разработана конструкция полировальника, состоящая из композиции смолы СП18 и фторопласта-4 (ГОСТ 1006-80). Фторопласт-4, как и древесно-смоляной пек, упрочняет канифольную матрицу.

Материал полировальника такого состава имеет гетерогенную структуру, состоящую из менее износостойкой основы (пеко-канифольной смолы и более износостойких частиц фторопласта-4). Благодаря мягкой основе в процессе обработки на рабочей поверхности такого полировальника образуются лунки, обеспечивающие значительное удержание зерен абразива. Частицы фторопласта-4, обладающие более высокой износостойкостью, способствуют сохранению заданной формы поверхности полировальника и повышению отражательной способности обрабатываемой детали. Применение такого полировальника благоприятно влияет на физико-химическую структуру поверхности – способствует меньшему шаржированию и окислению поверхности благодаря интенсивному съему материала. Установлено, что производительность обработки при этом повысилась на 20 – 25 %, а износостойкость – на 23 – 26 % по сравнению с обработкой полировальником на основе пеко-канифольной смолы.

Для определения оптимального содержания фторопласта-4 были изготовлены полировальники из пеко-канифольной смолы марки СП-18 с различным содержанием мелкодисперсного порошка фторопласта-4 (2,5; 5; 7,5; 10; 12,5 и

15 % массовые доли). Зависимости съема меди и износа полировальника от содержания фторопласта-4 в пеко-канифольной смоле приведены на рис. 2, рис. 3.

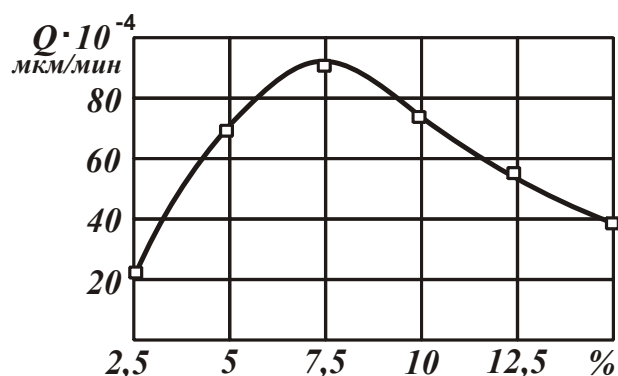


Рисунок 2 – Зависимость съема меди марки МОБ от содержания износостойкого мелкодисперсного порошка фторопласта 4 в композиционном составе полировальника

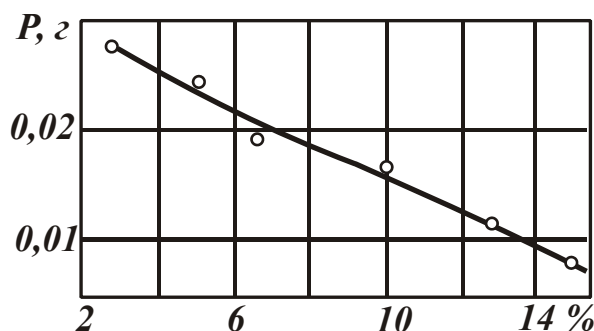


Рисунок 3 – Зависимость износа полировальника от содержания износостойкого мелкодисперсного порошка фторопласта-4

На основании результатов исследований для изготовления полировальника можно рекомендовать композиционный материал следующего состава (% массовые доли): 90 – 95 пеко-канифольной смолы; 5 – 10 мелкодисперсного порошка фторопласта-4. Эксплуатационные характеристики полировальников этого состава выше, чем у ранее применявшихся полировальников на основе пеко-канифольной смолы.

Частицы фторопласта-4 способствуют сохранению заданной формы поверхности полировальника и обеспечивают повышение отражательной способности за счет благоприятного влияния на физико-химические параметры поверхностного слоя, так как фторопласт-4 практически не взаимодействует с обрабатываемой поверхностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. С. 905256 СССР, М.Кл³. С09К3НЧ. Доводочный алмазно-абразивный состав / П. Д. Дудко, Ю. Ф. Назаров, В. Г. Шкурупий, В. С. Коваленко, В. М. Рубан, А. И. Соловьев (СССР). – № 2861281/23-26. Опубл. 15.02.82. Бюл. № 6 // Открытия. Изобретения. – 1982. – № 6. – С. 121.

Пермяков А.А., Клочко А.А., Набока Е.В., Перминов Е.В.
Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина
Новиков Ф. В.
Харьковский национальный экономический университет
имени Семена Кузнеця, г. Харьков, Украина

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ СНИЖЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК И ШУМА ЗА СЧЕТ СОЗДАНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ АПРИОРНЫХ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ЧИСЕЛ С ФОРМИРОВАНИЕМ ОПТИМАЛЬНОГО ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

Цилиндрические зубчатые передачи ГОСТ 1643-81 формируют и обеспечивают надежную и безопасную работу станков, машин, агрегатов. Как составная часть изделий зубчатые передачи во многом определяют технико-экономические показатели изделий: надежность, ресурс, шум, массу, габариты, стоимость [1, 2].

Зубчатые передачи, как продукт производства, являются наукоемкой продукцией и характеризуются значительной виброактивностью и являются одним из основных источников шума в приводах машин.

Масштабы производства и применения зубчатых передач при постоянно растущих требованиях к их надежности и качеству делают проблему обеспечения и повышения качества передач, в частности их нагрузочной способности и ресурса, очень важной научно технической задачей. При решении подобной задачи важная роль принадлежит науке, составляющей теоретическую основу поиска решения данной проблемы. Одним из направлений такого поиска является дальнейшее развитие технологических методов снижения динамических нагрузок и шума, с целью обеспечения более высокого качества передач еще на стадии проектирования. В рамках общей задачи анализа и синтеза зубчатых передач важное значение имеет проведение динамического расчета, на основе которого определяются основные рабочие характеристики передач: кинематические, силовые, габаритно-прочностные, а также уровень их шума и вибраций,

В общем виде анализ динамики зубчатых передач заключается в построении математической модели (уравнений динамики) передач, отображающей основные динамические свойства передач, и решении полученных характеристических их уравнений. Начальной задачей динамического анализа передач является выбор расчетной схемы, используемой для получения математической модели. В качестве расчетных схем используются кинематические схемы передач, а также схемы в виде идеализированных физических систем с сосредоточенными параметрами. Схемы с распределенными параметрами для указанных целей не применяются. Составление динамических моделей передач в зависимости от их сложности и требований к расчету может осуществляться как тра-

диционными средствами (путем прямого использования положений и методов классической механики и теории машин и механизмов) так и альтернативными методами, в частности, с помощью моделей на графах. Качественная и количественная оценка динамической эквивалентности математической модели и реальной передачи производится по выбранным критериям эквивалентности, в частности, по уровню информативности модели или по условию совпадении частот и форм свободных колебаний модели и ее прототипа в заданном частотном диапазоне. В зависимости от требований к точности динамического расчета расчетные схемы передач могут рассматриваться как с абсолютно жесткими, так и упругими звеньями. В последнем случае принимается, что деформации звеньев при действии заданных возмущений являются малыми, а остаточные деформации отсутствуют, т.е. конфигурация расчетной схемы мод действием нагрузки не меняется. Ввиду неформального характера многих расчетных процедур процесс динамического анализа передач представляет собой весьма сложную и трудоемкую задачу, что нередко приводит к необоснованным упрощениям задачи и в итоге к качественно и количественно неверным результатам. Повышение доступности и результативности динамического расчета может осуществляться путем совершенствования традиционных методов анализа, а также на основе новых более эффективных методов расчета, обеспечивающих как приемлемую точность, так и меньшую трудоемкость расчета, например, за счет большей формализации расчетных процедур.

В современных условиях наиболее эффективным способом достижения высокого качества проектирования зубчатых передач является автоматизация проектных работ на основе компьютерных технологий. Автоматизация проектирования позволяет не только минимизировать ошибки и сокращать сроки проектирования, но и осуществлять качественно новый вид проектирования – оптимальное проектирование. Одним из условий, необходимых для реализации автоматизированного проектирования, является требование формализации проектных и технологических процедур, определяющее возможности и уровень автоматизации проектирования. Такое условие актуально для динамического расчета и расчета на шум зубчатых передач.

Проблемы уменьшения шума и вибрации зубчатых передач, отрицательно влияющих на работоспособность передач и окружающую среду, непосредственно связаны с задачами их динамики. В общем случае вибрации и шум возникают вследствие неравномерного контактирования зубьев при параметрических колебаниях зубчатых колес, опорных подшипников и валов. Их возбуждение вызывается объективными причинами упругой податливостью звеньев передач и переменностью нагрузки, а также погрешностями изготовления и отсутствием полной приработки зубьев шестерни со всеми зубьями сопрягаемого зубчатого колеса [2, 3] .

Основными способами снижения их уровня шума и вибраций передач является минимизация причин их возникновения и демпфирование колебаний. Определение уровней шума и вибраций передач осуществляется в основном экспериментальными методами. Расчетные методы анализа шума и вибраций

передач еще не обеспечивают достаточно точной их оценки при параметрическом синтезе передач. В этой связи совершенствование и поиск новых методов расчета технологических параметров, обеспечивающих снижение шума и вибраций, имеет важное прикладное значение для повышения точности их прогноза и минимизации при проектировании передач.

Применительно к зубчатым передачам улучшение их качества осуществляется за счет повышения надежности, потребительских свойств и снижения стоимости изготовления и эксплуатации. Отказы передач, например, вследствие износа зубьев, в общем случае вызывается разными причинами. Анализ причин отказов зубчатых передач (рис. 1) показывает, что основными факторами являются ошибки при проектировании. К числу таких ошибок можно отнести, в частности, неточное определение показателей качества передач ввиду существенной условности многих видов параметрического расчета, что характерно для эвристического метода проектирования.



Рисунок 1 – Причины отказов зубчатых передач

Причины отказов зубчатых передач в качественном отношении весьма точно характеризуют существующее положение с проектными расчетами передач. Производятся в основном такие расчеты передач, без которых невозможно их проектирование и изготовление, в частности определение массы и исполнительных и контрольных размеров передач. Другие виды расчетов, такие как анализ динамики и шума передач, ввиду их значительной сложности и трудоемкости производятся очень приближенно, что существенно влияет на уровень качества передач. Регулярность проведения таких сложных расчетов, как динамический и виброакустический анализ, потребует в свою очередь обеспечения их точности.

Зубчатые передачи как объект исследования представляют собой источник вибраций и звукового шума в звуковом диапазоне частот. Динамические силы, возникающие при контакте зубьев, нарушают закон движения точки контакта по линии зацепления, возбуждают крутильные и изгибные колебания вращающихся масс колес и порождают инерционные силы и моменты, суммирующиеся с силами внешней нагрузки. Через валы и подшипники эти перемен-

ные силы передаются на опорные конструкции, вызывая в них соответствующие упругие колебания, что представляет собой первый путь распространения шума и вибраций. Передача колебаний непосредственно через воздушное пространство – это второй путь распространения шума. На долю первичного (структурного) шума приходится 80-95 % процентов энергии, а на вторичный (воздушный) – 20 – 5%. Излучаемая при этом энергия определяется величинами внешней нагрузки, динамическими характеристиками передач и режимом их работы. При совпадении частот вынужденных колебаний с собственными частотами колебаний зубчатых колес могут возникнуть резонансные явления. Вынужденные и резонансные колебания колес могут вызывать дополнительные шумы и значительные вибрации. Возбуждение колебаний происходит вследствие изменения нагрузки и жесткости контакта, соударении зубьев и погрешностей геометрии зацепления. Кроме этого, генерируются изгибные колебания валов вследствие дисбаланса валов и колес, которые могут быть критическими при сверхбольших скоростях вращения. Интенсивные поперечные колебания колес возникают также из-за переменных сил трения в зацеплении, что проявляется и основном на резонансных частотах.

Подобные динамические явления, характерные для работы зубчатых передач, при критических значениях могут приводить к снижению надежности и отказу передач, что вызывает потребность проведения анализа динамики, шумности и вибраций передач и их прогнозирования при проектировании.

Целями и задачами динамического и акустического расчета зубчатых передач является определение динамических и шумовых характеристик передач под воздействием переменных во времени внешних и внутренних возмущений. Задачи динамики и акустики зубчатых передач осуществляются по единой методике, различаются только физической природой результатов расчета и могут быть объединены в одну общую задачу динамического анализа передач. При динамическом расчете передача может рассматриваться как подсистема в составе системы привода, так и в виде отдельной динамической системы (рис. 2). Сам процесс динамического анализа передач в методическом отношении условно подразделяется на ряд отдельных этапов, с собственными целями и задачами и выполняемых в определенной последовательности.

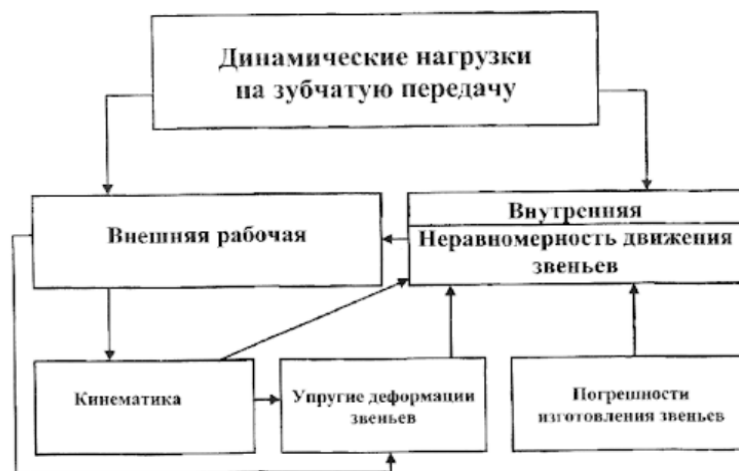


Рисунок 2 – Динамические нагрузки, действующие на зубчатую передачу

На этапе динамического расчета предлагается учитывать технологические параметры поверхностного слоя контактируемых эвольвентных поверхностей зубчатых колес и прогнозирования априорных передаточных чисел [1, 2], что обеспечит полную прирабатываемость всех зубьев шестерни со всеми зубьями колеса.

К числу задач динамического анализа передач относится также установление величины расчетной нагрузки на зубья, неточное определение которой является одной из основных причин возможных отказов передач. При статическом расчете передач расчетная нагрузка и зубья рассматриваются как постоянная, эквивалентная среднему значению нагрузочной характеристики на определенном временном интервале.

При динамическом расчете нагрузочная характеристика передач должна учитывать как внешние, так и внутренние силы, возникающие из-за погрешностей изготовления, упругой податливости и трения элементов передач, а также кинематики всей приводной системы.

Следующим шагом является математическое описание расчетной схемы, т.е. разработка системы уравнений (математической модели), характеризующих динамику передачи в произвольный момент времени.

На третьем этапе расчета осуществляется поиск решения полученных уравнений динамики (реализация математической модели), в частности, интегрирование дифференциальных уравнений движения с целью определения числовых значений искомых параметров передач. Завершающим этапом расчета является обработка и анализ полученных результатов с учетом априорности передаточного отношения и формированием оптимального поверхностного слоя зубчатых передач, обеспечивающих эксплуатационные характеристики исполнительных механизмов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Математичне моделювання технологічних процесів обробки великогабаритних зубчастих коліс / Ф. В. Новіков, Д. Ф. Новіков, О. О. Ключко, О. Г. Соколов, Д. М. Туманов, А. О. Скоркін // *Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції 31 жовтня – 02 листопада 2018 року* / Під заг. ред. В. Д. Ковальова. – Краматорськ: ДДМА, 2018. – С. 143 – 145.
2. Декларативний пат. на корисну модель u 2018 02191 UA, МПК F16H 5i9/04 (2016.01). Спосіб забезпечення контактування зубів ведучої шестерні з зубами веденого колеса / В. Д. Ковальов, О. О. Ключко, Д. О. Кравченко, О. А. Пермяков, М. І. Гасанов, А. О. Скоркін, О. Л. Кондратюк. – 4 с. : ил.
3. Ключко А. А. Аспекты формирования имитационного моделирования как науки / А. А. Ключко, Е. В. Набока, В. Д. Пепеля // *Всеукраїнська наукова конференція «Розвиток прикладної науки, освіти та студентського самоврядування на Буковині» (26-27 травня 2017 р., м. Чернівці)* : матеріали конф. – Харків: НТУ «ХПІ», 2017. – С. 193–195. – ISBN 978-617-05-0241

СОВРЕМЕННЫЕ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ДЕТАЛЕЙ ПРИВОДОВ МАШИН

Снижение материалоемкости и энергопотребления приводов машин при одновременном улучшении их динамического качества, которые могут быть достигнуты применением полимерных композитов и использованием вторичной их переработки при производстве деталей приводов машин, является одной из актуальнейших проблем современного машиностроения.

Высший класс технологического процесса – малооперационность, малоотходность, ресурсосбережение, когда инструмент или среда сразу воздействуют на всю поверхность или на весь объем детали; длительность воздействия инструмента или среды на деталь в несколько десятков раз сокращается и во столько же раз повышается производительность оборудования.

Применение полимерных композитов вместо металлов приводит к снижению металлоемкости и веса конструкции, потерь от коррозии. Кроме того, процессы производства деталей машин из полимерных композитов хорошо поддаются автоматизации.

На рис. 1 представлены: натяжные звездочки на подшипниках качения (вверху) и скольжения (внизу), цилиндрическое зубчатое колесо (слева) и косо-зубое сегментное колесо механизма открытия–закрытия дверей лифта фирмы ОТИС с углом наклона зуба $4^{\circ}36'$, работающее в паре с червяком, и коническая прямозубая шестерня (внизу справа).



Рисунок 1 – Полимерные детали приводов машин

Представлены типоразмеры звездочек цепных передач (табл. 1), цепей (табл. 2), зубчатых колес (табл. 3) из полимерных композитов, разработанных и внедренных в серийное производство лабораторией полимерных деталей машин ЧНТУ на машиностроительных предприятиях России, Украины и Белоруссии.

Таблица 1 – Полимерные и металлополимерные звездочки

№	Код детали и литевой формы	z	t, мм	B, мм	d, мм	l, мм	Тип
1	ЧФ-201	8	12,7	5,4	6	12	Н
2	ЧФ-33	12	12,7	3,3	16	20	П
3	ЧФ-27	13	12,7	5,4	18	34	П м/н
4	ЧФ-28	13	12,7	5,4	20	20	Пм
5	ЧФ-220	14	12,7	3,3	12\20	24	П
6	ЧФ-410	16	12,7	7,75	20	22	Н
7	ЧФ-431	16	12,7	7,75	20\28	28	Н
8	ЧФ-29	26	12,7	5,4	20	28	Пм
9	ЧФ-100	12	15,875	9,65	16	28	П м/н
10	ЧФ-1004	14	15,875	6,48	28	34	П
11	ЧФ-507	20	15,875	6,48	28	48	П
12	ЧФ-140	20	15,875	9,65	25	40	П
13	ЧФ-300	20	15,875	9,65	42*	16	Пб
14	ЧФ-1006	22	15,875	6,48	25***	34	Н
15	ЧФ-424	22	15,875	6,48	52*	16	Пб
16	ЧФ-405	25	15,875	9,65	36*	16	Пб
17	ЧФ-401	25	15,875	9,65	20	28	П м/н
18	ЧФ-37	30	15,875	9,65	36*	16	Пб
19	ЧФ-206	14	25,4	15,88	25**	25	Н

Зубчатые и цепные передачи из полимерных композитов находят все большее применение во многих отраслях машиностроения, в частности, в роботостроении, текстильном, полиграфическом, пищеперерабатывающем, сельскохозяйственном машиностроении. Это открывает возможности работы машин и оборудования без вибраций, рабочего шума, смазки, позволяет гасить ударные и динамические нагрузки.

Таблица 2 – Полимерные и металлополимерные приводные цепи

№	Код детали и литевой формы	t , мм	B , мм	h , мм	m	Исполнение
1	ПЛ-39	12,7	7,75	10,0	1	Металлические внешние и полимерные внутренние звенья
2	ПЛ-40	19,05	12,7	14,8	1.....6	Полностью полимерное
3	ПЛ-41	12,7	7,75	14,8	2	Полимерные звенья и металлические валики
4	ПЛ-42	19,05	12,7	24,2	1	Полимерные звенья и металлические валики

где t – шаг цепи; B – расстояние между внутренними пластинами; h – ширина звена цепи; m – рядность цепи.

Таблица 3 – Ассортимент шестерен из полиамидных композиций

N пп	Номер детали и прессы-формы	Модуль m , мм	Число зубьев z	Диаметр отверстия под вал d , мм	Тип
1.	ЧФ-32	1	216	38	цилиндр.
2.	ЧФ-101	3	27	25	цилиндр.
3.	ЧФ-38	3	20	25*	цилиндр.
4.	ЧФ-600	3	31	25	цилиндр.
5.	ЧФ-36	3	80	30	цилиндр.
6.	ЧФ-39	3	20	30	цилиндр.
7.	ЧФ-30	3	20	25	конич.
8.	ЧФ-31	3	40	30	конич.
9.	ЧФ-34	3	20	20	конич.

Представленные примеры деталей приводов машин из полимерных композитов позволяют сделать вывод о том, что применение интегрированных конструкций деталей машин и изготовление их за одну технологическую операцию литьем под давлением на термопластавтоматах дает возможность кардинально (в разы, а не на проценты) снизить трудоемкость изготовления деталей приводов машин, получая при этом ряд преимуществ конструктивного, технологического и эксплуатационного характера.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ЗУБОШЛИФОВАНИЯ ПО МЕТОДУ ПРОФИЛЬНОГО КОПИРОВАНИЯ

Зубошлифование – один из наиболее сложных процессов шлифования, предназначен для повышения качества и точности обрабатываемых поверхностей зубчатых колес. Существенным его недостатком является образование на обрабатываемых поверхностях прижогов и других температурных дефектов. Поэтому поиску путей повышения эффективности зубошлифования в научно-технической литературе постоянно уделяется большое внимание. В настоящее время на машиностроительных предприятиях Украины получила применение схема зубошлифования по методу профильного копирования на современных зубошлифовальных станках с ЧПУ зарубежного производства, например, на станке модели HOFLER RAPID 1250 с применением специального высокопористого профильного абразивного круга (с двухсторонним коническим профилем и с углом при вершине), обладающего высокой режущей способностью. По сравнению с традиционно применяемой схемой зубошлифования по методу обката, эта схема зубошлифования высокопористыми кругами обеспечивает увеличение до 5 раз производительности обработки при высоком качестве обрабатываемых поверхностей.

Как известно, схема зубошлифования по методу профильного копирования реализует условия глубинного шлифования – съем припуска за один проход круга, например, с глубиной шлифования $t=0,4$ мм и скоростью перемещения круга вдоль зуба $V_{дем} = 3$ м/мин, что позволило реализовать удельную производительность обработки $Q_{уд} = 1200$ мм²/мин [1].

При зубошлифовании по методу обката съем припуска величиной 0,4 мм производился за 5 проходов круга со скоростью его перемещения вдоль зуба $V_{дем} = 8$ м/мин и с глубиной шлифования $t=0,08$ мм. Соответственно, $Q_{уд} = 680$ мм²/мин, т.е. удельная производительность обработки при зубошлифовании по методу профильного копирования (в условиях глубинного шлифования) в 2 раза больше, чем при зубошлифовании по методу обката (в условиях многопроходного шлифования).

Эффект глубинного шлифования по сравнению с многопроходным шлифованием состоит главным образом в уменьшении вспомогательного времени, затрачиваемого на реверсирование круга [2], в данном случае примерно в 2 раза, а также в возможности уменьшения количества тепла, уходящего в поверхностный слой обрабатываемой детали. Как показано в работе [1], с переходом в область глубинного шлифования фактически все выделяющееся при резании тепло уходит в образующиеся стружки, а это способствует повышению качества обрабатываемой поверхности. Поэтому при глубинном шлифовании бес-

прижоговую (бездефектную) обработку можно обеспечить при большей температуре резания, чем при многопроходном шлифовании, которое характеризуется тем, что фактически все выделяющееся при резании тепло уходит в поверхностный слой обрабатываемой детали. Очевидно, это может привести к образованию температурных дефектов на обрабатываемой поверхности при меньшей температуре резания, чем при глубинном шлифовании. Следовательно, реализуя глубинное шлифование в пределах, не превышающих критическую температуру резания, можно добиться бесприжоговой (бездефектной) обработки, фактически не ухудшая физическое состояние поверхностного слоя обрабатываемой детали, при одновременном увеличении производительности обработки. В этом и состоит основное преимущество от применения схемы зубошлифования по методу профильного копирования по сравнению со схемой зубошлифования по методу обката.

Для теоретического анализа предложенного решения на рис. 1 приведен график изменения скорости детали $V_{дет}$ от температуры резания θ , полученный на основе решения следующего уравнения (рис. 2) [3]:

$$\left(1 - \frac{\theta}{\theta_{max}}\right) \cdot e^{\frac{\theta}{\theta_{max}}} = e^{-\frac{c \cdot \rho}{\lambda} \cdot Q_{уд} \cdot \sqrt{\frac{t}{2 \cdot R_{кр}}}}, \quad (1)$$

где c – удельная теплоемкость обрабатываемого материала, Дж/(кг·град); ρ – плотность обрабатываемого материала, кг/м³; λ – коэффициент теплопроводности обрабатываемого материала, Вт/(м·град); $\theta_{max} = \sigma / (c \cdot \rho)$ – максимальная температура резания, град; $Q_{уд} = V_{дет} \cdot t$ – удельная производительность обработки, м²/с; σ – условное напряжение резания, Н/м²; t – глубина шлифования, м; $R_{кр}$ – радиус круга, м.

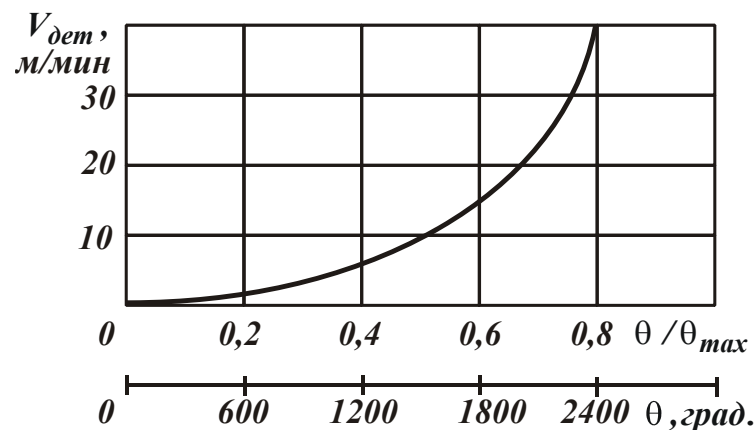


Рисунок 1 – Зависимость скорости детали $V_{дет}$ от отношения θ / θ_{max} и температуры резания θ

Исходные данные для расчета: зубошлифование зубчатого колеса из стали 18ХГН2МФБ; $(c \cdot \rho) = 5 \cdot 10^6$ Дж/(м³·градус); $\sigma = 15 \cdot 10^3$ Н/мм²; $R_{кр} = 0,3$ м; $\theta_{max} = \sigma / (c \cdot \rho) = 3000$ °С.

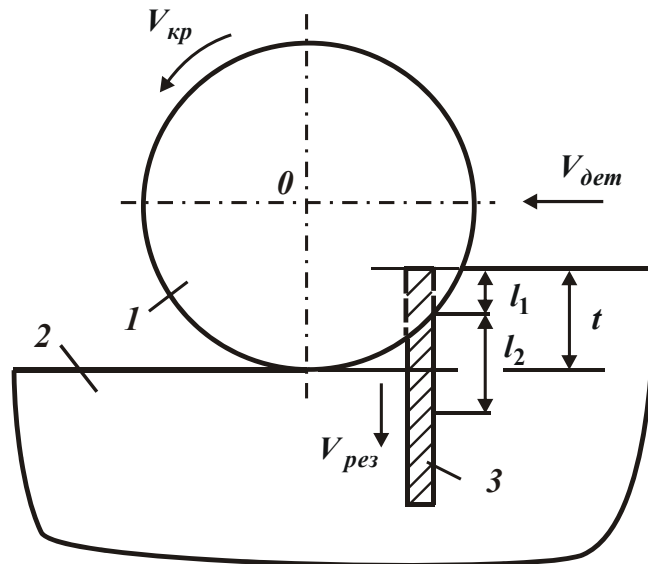


Рисунок 2 – Расчетная схема температуры резания при плоском шлифовании с учетом перерезания кругом адиабатических стержней, набором которых представлен снимаемый припуск: 1 – шлифовальный круг; 2 – обрабатываемый материал; 3 – адиабатический стержень (l_1 – длина срезанной части адиабатического стержня; l_2 – глубина проникновения тепла в поверхностный слой обрабатываемой детали; $V_{кр}$ – скорость круга; $V_{рез} = V_{дет} \cdot \sqrt{0,5 \cdot t / R_{кр}}$ – скорость перемещения теплового источника вглубь поверхностного слоя обрабатываемого материала в момент контакта круга с деталью при плоском шлифовании)

Расчетами установлено, что при глубине шлифования $t=0,4$ мм (т.е. в условиях глубинного шлифования) и температуре резания $\theta=900$ °С (т.е. при $\theta / \theta_{max} = 0,3$) скорость детали $V_{дет} = 3$ м/мин. При этом удельная производительность обработки равна $Q_{yд} = 1200$ мм²/мин.

При многопроходном шлифовании с глубиной шлифования $t=0,08$ мм и температурой резания $\theta=900$ °С (т.е. при $\theta / \theta_{max} = 0,3$), согласно уравнению (1), удельная производительность обработки равна $Q_{yд}$ будет больше, чем при глубинном шлифовании. Однако, как показано выше, критическая температура резания (при которой на обрабатываемых поверхностях образуются прижоги и другие температурные дефекты) для многопроходного шлифования по сравнению с глубинным шлифованием меньше и может быть равна, например, $\theta=600$ °С (т.е. при $\theta / \theta_{max} = 0,2$). В этом случае, согласно уравнению (1), при значениях $t=0,08$ мм; $R_{кр}=0,3$ м; $\theta=600$ °С и $\lambda / (c \cdot \rho) = 8,4 \cdot 10^{-6}$ м²/с (для стали 18ХГН2МФБ) расчетами установлено $Q_{yд} = 873$ мм²/мин, соответственно, скорость детали $V_{дет} = 10,9$ м/мин. Следовательно, удельная производительность обработки $Q_{yд}$ при многопроходном шлифовании меньше, чем при глубинном шлифовании ($Q_{yд} = 1200$ мм²/мин).

Превышение расчетной скорости детали $V_{dem} = 10,9$ м/мин экспериментально установленного значения $V_{dem} = 8$ м/мин указывает на то, что при многопроходном шлифовании реализуется температура резания меньше $\theta = 600$ °С и, соответственно, меньшая, чем при глубинном шлифовании, удельная производительность обработки, равная $Q_{y\partial} = 680$ мм²/мин. Этим теоретически показана возможность повышения производительности обработки при глубинном шлифовании по сравнению с многопроходным шлифованием в условиях действия ограничения по температурному критерию. По сути, теоретически обоснованы условия осуществления высокопроизводительной и высококачественной схемы зубошлифования по методу профильного копирования, реализующей глубинное шлифование.

Соответствие расчетных значений параметров режима шлифования экспериментальным данным [1] указывает на возможность аналитического определения скорости детали, исходя из температурного критерия, исключающего образование на обрабатываемых поверхностях прижогов и других температурных дефектов.

Согласно уравнению (1), уменьшить температуру резания θ без снижения производительности обработки или, наоборот, увеличить производительность обработки без увеличения температуры резания θ можно за счет уменьшения максимальной температуры резания $\theta_{max} = \sigma / (c \cdot \rho)$ путем уменьшения условного напряжения резания σ , применяя для этого шлифовальные круги, характеризующиеся высокой режущей способностью, например, высокопористые круги или круги с прерывистой рабочей поверхностью.

В общем случае максимальная температура резания $\theta_{max} = \sigma / (c \cdot \rho)$, особенно при шлифовании, может быть больше температуры плавления обрабатываемого материала. В этом случае необходимо за счет уменьшения условного напряжения резания σ добиваться уменьшения температуры резания θ до значения, не превышающего критическую температуру, которая, очевидно, не должна быть больше температуры плавления обрабатываемого материала.

Как показывает практика, при резании лезвийными инструментами максимальная температура резания $\theta_{max} = \sigma / (c \cdot \rho)$ меньше, чем при шлифовании, что способствует снижению тепловой напряженности механической обработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новиков Ф. В. Основы математического моделирования технологических процессов механической обработки : монография / Ф. В. Новиков. – Днепр : ЛИРА, 2018. – 400 с.
2. Werner G. Technologische und Konstruktive Voraussetzungen für das Tief Schleifen / Werner G. – "Werkstattstechnik", 1979. – Nr. 10. – s. 613–620.
3. Полянский В.И. Расчет температуры шлифования с учетом баланса тепла, уходящего в стружки и обрабатываемую деталь / В. И. Полянский // Сучасні технології в машинобудуванні [Текст]: зб. наук. праць. – Вип. 13 / редкол.: В. О. Федорович (голова) [та ін.]. – Харків: НТУ «ХП», 2018. – С. 51–59.

СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ У СТВОРЕННІ БЕЗПЕЧНИХ УМОВ ДІЯЛЬНОСТІ ПРАЦІВНИКА

Питання дослідження й оцінювання екологічності середовища на робочому місці останнім часом набули актуальності, що обумовлено кількома причинами. По-перше, сучасні виробничі технології швидко змінюються, з'являються абсолютно нові види виробництва, наслідком чого є зміни умов праці на робочому місці (у тому числі й екологічних), що потребує проведення досліджень із визначення їхнього впливу на здоров'я працівника. По-друге, змінилися соціально-економічні, психологічні, культурні потреби сучасного працівника, що проявляється у зміні сприйняття ним поняття "безпека". Підтвердженням цього є той факт, що сьогодні для відчуття власної безпеки працівнику недостатньо лише відповідних діючим стандартам умов праці та певного соціального забезпечення, у нього з'явилась потреба у відчутті екологічної безпеки. Таким чином, екологічні аспекти життєдіяльності людини на сьогодні значною мірою впливають на її безпеку, тому екологічність середовища на сьогодні стала важливим елементом забезпечення безпеки людини на робочому місці.

Актуальність дослідження питання екологічності середовища підкреслюють дослідники у різних наукових галузях. Наприклад, у роботі Тіма Кассера (*Psychological need satisfaction, personal well-being, and ecological sustainability, 2009*) з позиції психології досліджено взаємозв'язок екологічного стану середовища з благополуччям людини. На підставі теоретичних і емпіричних даних доведено, що екологічна деградація середовища є перешкодою для задоволення потреби людини у відчутті безпеки, для її розвитку і самореалізації. У роботі Тетяни Тимошенко (*Экология и потребности человека, 2013*) з позицій психології, соціології і філософії досліджено питання екологічних потреб сучасної людини та їхній вплив на її життєдіяльність. У продовження розмірковувань з цього питання у роботі висловлена необхідність формування екологічного мислення і культури в суспільстві.

Водночас дослідники у галузях ергономіки, інженерної психології, екологічної безпеки вказують на зростання екологічних запитів працівників на виробництві, що має прояву не лише у бажанні робітників працювати у комфортних умовах, які відповідають вимогам з охорони праці, а й розуміти, чи є матеріали, з якими вони постійно контактують під час діяльності, екологічно безпечними для них і навколишнього середовища, яким чином вони можуть впливати на стан їхнього здоров'я тощо. На підставі цього запропоновано при дослідженні якості організації і безпеки робочих місць оцінювати таку складову, як екологія (або екологічність) середовища.

З метою визначення ролі екологічності середовища у створенні безпечних умов діяльності людини застосовано ергономічні принципи організації безпечного робочого місця працівника (рис. 1).

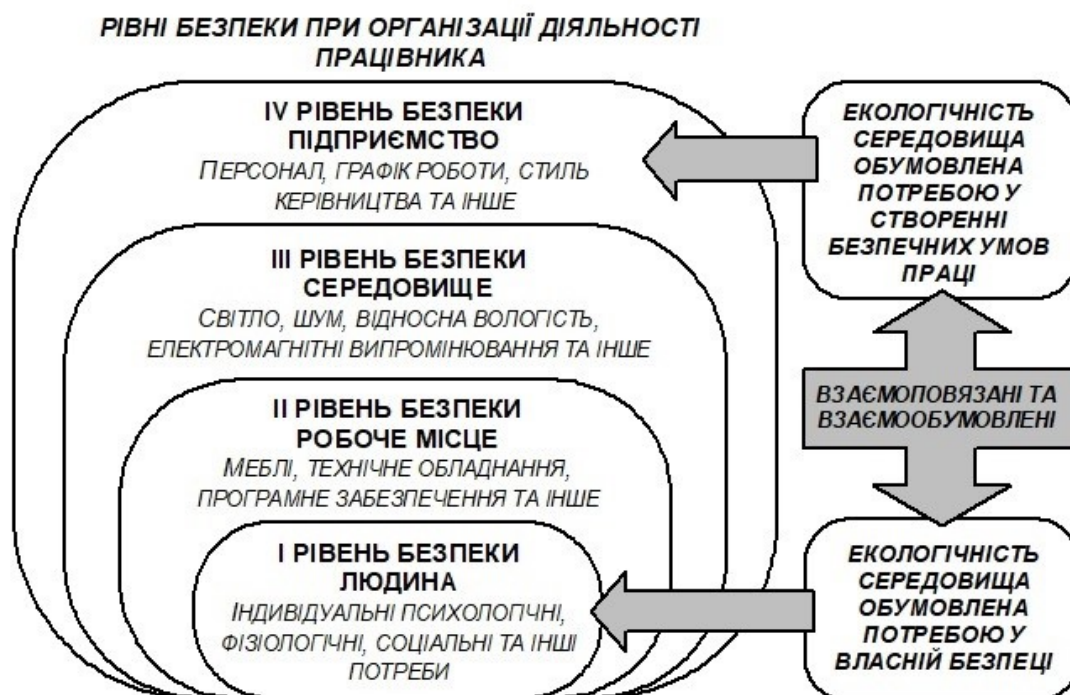


Рисунок 1 – Екологічність середовища і безпека умов діяльності людини

Виходячи з представленої на рис. 1 схеми, екологічне середовище має стати обов'язковою складовою двох рівнів безпеки: людини (працівника) і підприємства (роботодавця).

На рівні працівника екологічність має реалізацію через усвідомлення ним потреби у власній екологічній безпеці, яка на сьогодні є необхідною умовою забезпечення загальної безпеки працівника. Більше того, екологічність середовища має стати частиною екологічної культури суспільства, що забезпечить у подальшому більш свідомий підхід людини до власної екобезпеки як у робочих, так і у побутових умовах діяльності.

На рівні підприємства екологічність повинна мати реалізацію через контроль екологічної якості технічного обладнання, матеріалів та інших елементів робочого процесу. Такий підхід з боку підприємства також дозволить підвищити психологічний комфорт працівника під час діяльності, оскільки в нього з'явиться відчуття турботи з боку роботодавця. Це створює умови для підвищення у подальшому якості діяльності працівника.

Таким чином, підсумовуючи сказане, можна зробити такі висновки: по-перше, дослідження й оцінювання екологічності середовища на робочому місці є необхідною умовою підвищення безпеки сучасного виробництва, по-друге, за умови двостороннього підходу до питання екологічності середовища (як з боку працівника, так і роботодавця) можна суттєво підвищити рівень безпеки людини і досягти більш ефективних результатів діяльності.

РОЛЬ ХАРАКТЕРИСТИКИ АЛМАЗНОГО КРУГА В КОМБИНИРОВАННЫХ ПРОЦЕССАХ ШЛИФОВАНИЯ СВЕРХТВЕРДЫХ ПОЛИКРИСТАЛЛОВ

Метод формообразования лезвийных инструментов и других изделий из поликристаллических сверхтвердых материалов (ПСТМ), основанный на шлифовании алмазными кругами, до настоящего момента является одним из эффективных процессов в плане обеспечения таких выходных показателей как производительность себестоимость и качество обработки. Однако по сравнению с обработкой традиционных материалов он является значительно более трудо- и энергоемким процессом, что в первую очередь связано с примерно одинаковой твердостью обрабатываемого (ПСТМ) и обрабатывающего (алмазных зерен в кругах) материалов. В этих условиях съём припуска с ПСТМ осуществляется в основном за счет хрупкого микроразрушения ПСТМ при высокоскоростном контактном взаимодействии с острыми микро- и субмикроромками алмазных зерен. Поскольку рабочая поверхность зерен чрезвычайно быстро изнашивается и, в конце концов, сглаживается с образованием устойчивых площадок износа, процесс съема припуска прекращается и трансформируется в трение высокоизносостойкой пары «алмаз–алмаз». Для возобновления съема необходимо принудительным образом непрерывно в процессе шлифования поддерживать высоту выступания зерен над уровнем связки на таком уровне, при котором для конкретных условий обработки они будут самозатачиваться с образованием на их поверхности острых микро- и субмикроромок. Поэтому нахождение путей интенсификации процесса самозатачивания алмазных зерен, а, следовательно, повышения эффективности процесса шлифования ПСТМ является актуальной научно-технической задачей, решение которой сулит значительный экономический эффект.

Исследованиями многих авторов установлено, что на сегодняшний день наиболее перспективным методом алмазного шлифования следует считать комбинированный процесс, основанный на управлении рабочей поверхностью токопроводящего круга (РПК) путем электрохимического удаления (растворения) металлической связки в автономной зоне. Как показали выполненные исследования, этот процесс имеет широкие технологические возможности. Однако, несмотря на достаточную изученность, его потенциальные возможности еще далеко не раскрыты.

Существенная роль остальных составляющих условий обработки (характеристика круга, режимы шлифования и др.) может проявиться только в условиях комбинированного процесса, когда непрерывно поддерживается требуемая высота выступания алмазных зерен над уровнем связки круга достаточная

для реализации непрерывности процесса самозатачивания зерен. Среди этих условий особое место занимает характеристика алмазного круга [1]. Так в работах [2], [3] авторы отмечают, что путем правильного выбора концентрации алмазного круга в условиях комбинированного процесса шлифования можно существенно снизить удельный расход алмазов кругов и силовую напряженность процесса шлифования в целом и предлагают ориентировочную формула для определения оптимальной концентрации [2]:

$$K = 25 \cdot \frac{\sigma_1}{\sigma_2},$$

где K – концентрация алмазов в круге, %; σ_1, σ_2 – пределы прочности на сжатие ПСТМ и алмазных зерен круга соответственно, ГПа ($\sigma_1 = 0,5 - 8$ ГПа).

По данным различных источников величина предела прочности синтетического алмаза на сжатие может значительно колебаться в зависимости от марки алмаза (в интервале 0,5 – 8 ГПа). Для природного алмаза его значение примерно равно 2 ГПа.

Эта идея нашла свое развитие в работе [4] в которой предлагается учитывать прочность связки круга. Формула имеет при этом вид:

$$K = 17,4 \cdot \frac{\sigma_1}{\sigma_2 + 1,3 \cdot \sigma_3},$$

где σ_1, σ_2 – пределы прочности на растяжение ПСТМ и алмазных зерен круга соответственно, ГПа; σ_3 – предел текучести связки круга, ГПа.

Практика шлифования ПСТМ показывает, что выбор концентрации должен быть связан с учетом других параметров, характеризующих характеристику круга, например, зернистости и марки зерен [1].

Если экспериментальным путем определить число зерен n , находившихся в контакте со сверхтвёрдым материалом, то можно расчетным путем определить требуемое значение оптимальной концентрации алмазного круга [1]:

$$K = \frac{n \cdot 200 \cdot \pi \cdot 0.6^{3/2} \cdot (0,96 \cdot Z)^2}{3},$$

где n – число зерен (оптимальное), находящихся в контакте со сверхтвёрдым материалом, шт./мм²; Z – средний размер алмазного зерна, мм.

Таким образом, предложенный способ определения оптимальной концентрации алмазного круга основан на учете зависимости числа зерен n в контакте с ПСТМ от высоты их выступания над уровнем связки.

В рассмотренных случаях установления оптимальной концентрации алмазного круга K такой важный параметр его характеристики как зернистость имеет чисто геометрический смысл. Дальнейшие исследования показали, что зернистость играет важную самостоятельную роль, поскольку размер алмазных зерен с одной стороны влияет на их прочность, а с другой на количество зерен на рабочей поверхности круга (при его неизменной концентрации). В реальном процессе шлифования, когда практически отсутствует внедрение зерен в обрабатываемый материал, при прочих равных условиях обработки этот факт будет

определять уровень силовой напряженности в зоне контакта ПСТМ с кругом. Прочность ПСТМ на сжатие должна являться ограничительным фактором при определении оптимальной характеристики алмазного круга. Проведенные экспериментальные исследования позволили для случая обработки сверхтвердых материалов на основе алмаза установить эмпирическую зависимость, связывающую зернистость с концентрацией алмазного круга и пределом прочности обрабатываемого ПСТМ на сжатие:

$$Z = K_{нз.} \cdot \frac{1,5 \cdot K + \sqrt{0,5 \cdot K^2 + 200 \cdot \sigma_1 \cdot K}}{\sigma_1},$$

где $K_{нз.}$ – коэффициент, учитывающий марку (прочность) алмазного зерна.

Следует учитывать тот факт, что при шлифовании более реальным параметром является не статическая ($P_{ст.}$), а динамическая ($K_{нз. \text{ дин.}}$) прочность алмазных зерен, которые связаны друг с другом зависимостью:

$$K_{нз. \text{ дин.}} = 0,55 \cdot \exp(0,1 \cdot P_{ст.}).$$

Тогда, зная оптимальное значение для марки зерна АС6 ($K_{АС6}$), можно установить оптимальную концентрацию для зерен других марок:

$$K = \frac{K_{опт. АС6}}{K_{нз. \text{ дин.}}}.$$

В дальнейшем представляет интерес установление обобщенной зависимости для выбора оптимальной характеристики алмазного круга.

ЛИТЕРАТУРА

1. Грабченко А. И. Роль характеристики алмазного круга в комбинированных процессах алмазного шлифования поликристаллических сверхтвердых материалов / А. И. Грабченко, И. Н. Пыжов, Д. М. Алексеенко // Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки. – 2010. – № 3, Т. 1. – С. 38–48.
2. А.с. № 1148761, В24В1/00 (СССР). Материал абразивного круга / А. И. Грабченко, И. Н. Пыжов, В. А. Федорович, Н. Ф. Наконечный. – Заявлено 06.08.82. Опубл. 07.04.85. Бюл. №13. – 2 с.
3. Грабченко А. И. Роль концентрации алмазов в круге при шлифовании поликристаллов сверхтвердых материалов / А. И. Грабченко, В. А. Федорович, Б. В. Образков // Сверхтвердые материалы. – 1984. – Вып.1. – С. 49–52.
4. Патент 69218 Україна, МПК (2006) В24В 1/00, В24Д 7/00, В24Д 5/00. Материал абразивного круга / А. И. Грабченко (UA); В. О. Федорович (UA); Н. В. Козакова (UA). Власник Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». – № u20031211637; заявл. 16.12.2003, опубл. 16.08.2004, бюл. № 8.
5. Патент 67850 Україна, МПК (2011.01) В24В 1/00. Спосіб визначення оптимальної концентрації алмазних кругів на металевих зв'язках / Д. М. Алексеенко, А. И. Грабченко, І. М. Пижов, В. О. Федорович. – Власник Сумський державний університет. – № u201108966; заявл. 18.07.2011; опубл. 12.03.2012. – Бюл. № 5.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ПРЕРЫВИСТОГО ШЛИФОВАНИЯ

Разработанный профессором Якимовым А. В. метод прерывистого шлифования является наиболее эффективным методом финишной обработки деталей машин, изготовленных из материалов с повышенными физико-механическими свойствами, обеспечивающим повышение качества и производительности обработки. Поэтому настоящая работа посвящена теоретическому определению оптимальных условий прерывистого шлифования.

В работе [1] эффективность прерывистого шлифования предложено оценивать с позиции влияния на силы и температуру резания множителя $(1 + l_2 / l_1)$, характеризующего время прерывания процесса шлифования в момент прохождения впадиной прерывистого круга зоны резания, а в работе [2] показано, что условное напряжение резания (энергоемкость механической обработки) σ , в частности процесса шлифования, зависит от суммы условного переднего угла режущего зерна γ и условного угла трения зерна с материалом ψ :

$$\sigma = \frac{2 \cdot \tau_{сдв}}{\operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{(\psi + \gamma)}{2}\right)}, \quad (1)$$

где l_1, l_2 – длины рабочего выступа и впадины прерывистого круга, м; $\tau_{сдв}$ – предел прочности на сдвиг обрабатываемого материала, Н/м².

Чем меньше эти углы, тем меньше энергоемкость обработки σ и выше эффективность шлифования. Очевидно, при прерывистом шлифовании, вследствие ударного характера взаимодействия рабочего выступа прерывистого круга с обрабатываемым материалом, процесс обновления режущего контура круга будет происходить интенсивнее, режущие зерна будут выступать над уровнем связки на большую высоту и будут острее. Поэтому условные углы γ и ψ будут меньше, чем при обычном шлифовании сплошным кругом. Согласно зависимости (1), это приведет к уменьшению энергоемкости обработки σ . Однако это может не привести к уменьшению тангенциальной составляющей силы резания $P_z = \sigma \cdot S_{мгн}$, которая зависит от производительности обработки $Q = Q_0 \cdot (1 + l_2 / l_1)$, достигаемой в момент контакта рабочего выступа прерывистого круга с обрабатываемым материалом:

$$P_z = \sigma \cdot \frac{Q_0 \cdot \left(1 + \frac{l_2}{l_1}\right)}{V_{кр}}, \quad (2)$$

где $S_{\text{мгн}} = Q/V_{\text{кр}}$ – мгновенная суммарная площадь поперечного сечения среза всеми одновременно работающими зернами круга, м^2 ; Q_0 – производительность обработки при шлифовании сплошным кругом, $\text{м}^3/\text{с}$; $V_{\text{кр}}$ – скорость круга, $\text{м}/\text{с}$.

Поскольку рабочий выступ прерывистого круга вынужден удалять оставшийся после прохождения впадины слой металла, то, очевидно, производительность обработки Q в момент прохождения рабочего выступа круга больше, чем при обычном шлифовании сплошным кругом Q_0 . Это приводит к увеличению тангенциальной составляющей силы резания P_z . Поэтому P_z зависит от двух противоположно изменяющихся параметров: σ и Q , первый из которых уменьшается, а второй увеличивается при прерывистом шлифовании.

Экспериментально установлено [3], что при прерывистом шлифовании, как правило, тангенциальная составляющая силы резания P_z меньше, чем при обычном шлифовании сплошным кругом. Следовательно, интенсивность уменьшения энергоемкости обработки σ выше интенсивности увеличения множителя $(1 + l_2/l_1)$. Это связано с тем, что отношение (l_2/l_1) изменяется в небольших пределах и не приводит к существенному увеличению множителя $(1 + l_2/l_1)$ и, соответственно, тангенциальной составляющей силы резания P_z , тогда как даже незначительное уменьшение σ приводит к ощутимому (пропорциональному) уменьшению P_z . В этом и состоит физическая сущность снижения силовой напряженности прерывистого шлифования: за счет уменьшения суммы углов $(\psi + \gamma)$ уменьшается σ , а это предопределяет уменьшение P_z и, соответственно, температуры резания.

В работе [4] показано, что в общем случае тангенциальная составляющая силы резания P_z определяется двумя составляющими, обусловленными процессом резания и процессом трения связки круга с материалом (рис. 1):

$$P_z = \frac{\sigma \cdot F \cdot V_{\text{дем0}}}{V_{\text{кр}}} + f_1 \cdot c \cdot (V_{\text{дем}} - V_{\text{дем0}}) \cdot \tau, \quad (3)$$

где F – площадь поперечного сечения среза обрабатываемого прямолинейного образца (детали), м^2 ; $V_{\text{дем}}$ – скорость детали, $\text{м}/\text{с}$; $V_{\text{дем0}}$ – фактическая линейная скорость съема материала, $\text{м}/\text{с}$ ($V_{\text{дем0}} \leq V_{\text{дем}}$); f_1 – коэффициент трения связки круга с обрабатываемым материалом; c – жесткость технологической системы, $\text{Н}/\text{м}$; τ – время контакта круга с фиксированным сечением обрабатываемой поверхности, с .

Данная зависимость справедлива для обычного шлифования сплошным кругом [5]. При прерывистом шлифовании, вследствие более высокого выступления режущих зерен над уровнем связки круга и их более высокой остроты, как установлено профессором Якимовым А. В., трение связки круга с обрабатываемым материалом будет меньше, чем при обычном шлифовании сплошным кругом. Поэтому в первом приближении вторым слагаемым зависимости (3)

можно пренебречь, т.к. $V_{дет0} \approx V_{дет}$. В итоге это приведет к снижению тангенциальной составляющей силы резания P_z .

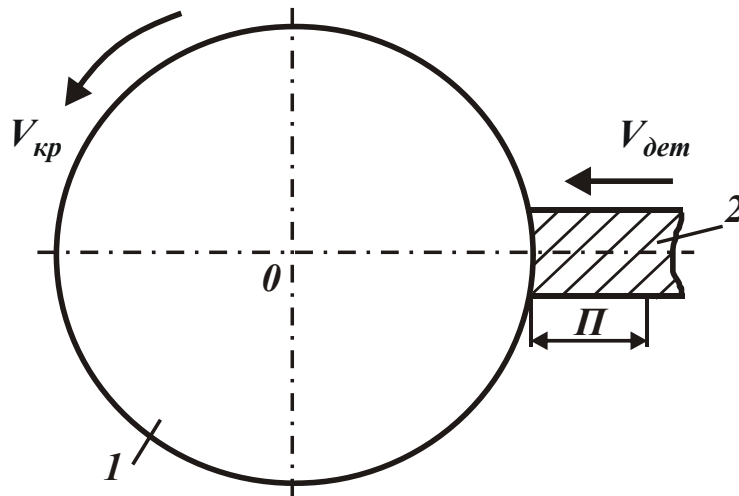


Рисунок 1 – Расчетная схема процесса шлифования прямолинейного образца, движущегося по нормали к рабочей поверхности круга:
1 – круг; 2 – деталь

Кроме того, уменьшение энергоемкости обработки σ в первом слагаемом зависимости (3) также приведет к снижению тангенциальной составляющей силы резания P_z при прерывистом шлифовании. Однако при этом необходимо вместо параметра $V_{дет0}$ рассматривать $V_{дет0} \cdot (1 + l_2 / l_1)$. Тогда зависимость (3) примет вид:

$$P_z = \frac{\sigma \cdot F \cdot V_{дет0} \cdot \left(1 + \frac{l_2}{l_1}\right)}{V_{кр}}. \quad (4)$$

Температура резания θ при прерывистом шлифовании описывается:

$$\theta = \frac{q \cdot l}{\lambda} = \frac{\sigma \cdot V_{дет0} \cdot \left(1 + \frac{l_2}{l_1}\right)}{\lambda} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda \cdot \tau}{c_m \cdot \rho}}, \quad (5)$$

где $q = \frac{N}{F} = \frac{P_z \cdot V_{кр}}{F}$ – плотность теплового потока, Вт/м²; $l = \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda \cdot \tau}{c \cdot \rho}}$ – глубина

проникновения образующегося в процессе шлифования тепла в поверхностный слой обрабатываемой детали, м; $N = P_z \cdot V_{кр}$ – мощность шлифования, Вт; λ – коэффициент теплопроводности обрабатываемого материала, Вт/м·К; c_m – удельная теплоемкость обрабатываемого материала, Дж/кг·К; ρ – плотность обрабатываемого материала, кг/м³.

С учетом выражения $\tau = l_1 / V_{кр}$ зависимость (5) выразится:

$$\theta = \sigma \cdot V_{\text{дем}0} \cdot \left(\sqrt{l_1} + \frac{l_2}{\sqrt{l_1}} \right) \cdot \sqrt{\frac{2}{c_m \cdot \rho \cdot \lambda \cdot V_{\text{кр}}}}. \quad (6)$$

Как видно, имеет место экстремум температуры резания θ от длины рабочего выступа прерывистого круга l_1 .

Подчиняя функцию θ необходимому условию экстремума $\theta'_{l_1} = 0$, получено: $l_1 = l_2$, т.е. экстремальные значения длины рабочего выступа и впадины прерывистого круга одинаковы.

Вторая производная $\theta''_{l_1} > 0$, следовательно, в точке экстремума достигается минимум температуры резания θ . Поэтому добиться наименьшей температуры резания при прерывистом шлифовании можно при обеспечении условия $l_1 = l_2$:

$$\theta_{\text{min}} = \sigma \cdot V_{\text{дем}0} \cdot \sqrt{\frac{8 \cdot l_1}{c_m \cdot \rho \cdot \lambda \cdot V_{\text{кр}}}}. \quad (7)$$

Применительно к шлифованию сплошным кругом при условиях $l_2 = 0$ и $\tau = 2 \cdot l_1 / V_{\text{кр}}$ зависимость (5) принимает вид:

$$\theta = \sigma \cdot V_{\text{дем}0} \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot l_1}{c_m \cdot \rho \cdot \lambda \cdot V_{\text{кр}}}}. \quad (8)$$

Как видно, при шлифовании сплошным кругом температура резания θ меньше, чем при прерывистом шлифовании. Однако при этом следует учитывать, что энергоемкость обработки σ при прерывистом шлифовании меньше, а дополнительное охлаждение зоны резания в момент прерывания процесса шлифования также приводит к снижению температуры резания θ_{min} . Поэтому, очевидно, температура резания θ_{min} при прерывистом шлифовании будет меньше, чем при шлифовании сплошным кругом, что подтверждается известными экспериментальными данными. Таким образом, увеличение температуры резания θ_{min} при прерывистом шлифовании вследствие того, что рабочий выступ прерывистого круга вынужден удалять оставшийся после прохождения впадины слой металла, с избытком компенсируется уменьшением энергоемкости обработки σ и дополнительным охлаждением зоны резания в момент прерывания процесса шлифования. Это приводит к снижению температуры резания θ_{min} при прерывистом шлифовании, что согласуется с экспериментальными данными.

Из проведенного анализа следует, что температура резания зависит в основном от двух параметров: P_z и $l = \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda \cdot \tau}{c \cdot \rho}}$. Как показано выше, тангенциальная составляющая силы резания P_z при прерывистом шлифовании может быть меньше, чем при обычном шлифовании сплошным кругом. Время контакта рабочего выступа прерывистого круга с обрабатываемым материалом τ и соответственно параметр l также меньше при прерывистом шлифовании вслед-

ствие периодичности процесса резания. Поэтому температура резания θ_{min} при прерывистом шлифовании меньше, что подтверждается известными экспериментальными данными. Как видно, уменьшение температуры резания θ_{min} при прерывистом шлифовании происходит путем уменьшения P_z и τ . Это указывает на значительные технологические возможности прерывистого шлифования, так как ни один из известных методов шлифования не обладает таким преимуществом – одновременно за счет снижения энергоемкости обработки и обеспечения дополнительного охлаждения зоны резания в момент прохождения впадины прерывистого круга – добиться существенного снижения температуры резания и исключить образование температурных дефектов на обрабатываемых поверхностях без снижения производительности обработки. Этим подтверждается высокая эффективность практического применения предложенного профессором Якимовым А. В. прогрессивного метода прерывистого шлифования. Полученные решения использованы в производстве на операции прерывистого шлифования твердосплавных пластин, в результате чего достигнуто повышение качества и производительности обработки.

Выводы. Показано, что при прерывистом шлифовании можно существенно уменьшить интенсивность трения связки круга с обрабатываемым материалом, являющегося основным источником силовой и тепловой напряженности процесса шлифования. На этой основе раскрыты закономерности формирования тангенциальной составляющей силы резания и температуры резания при прерывистом шлифовании. Доказано, что существует оптимальное значение времени контакта рабочего выступа прерывистого круга с обрабатываемым материалом, обеспечивающее достижение минимальной температуры резания, и которое может быть использовано для расчета оптимального количества рабочих выступов и впадин на рабочей поверхности прерывистого круга.

ЛИТЕРАТУРА

1. Якимов А. В. Физическая сущность и технологические возможности прерывистого шлифования / А. В. Якимов, Ф. В. Новиков, Г. В. Новиков // Сучасні системи технологій у машинобудуванні. Збірник наукових праць, присвячений 90-річчю з дня народження професора Одеського національного політехнічного університету (ОНПУ) Якімова О. В. – Д.: ЛІРА. – 2015. – С. 38–43.
2. Новіков Ф. В. Теоретичні основи механічної обробки високоточних деталей : монографія / Ф. В. Новіков, І. О. Рябенков. – Х. : Вид. ХНЕУ, 2013. – 352 с.
3. Якимов А. В. Оптимизация процесса шлифования / А. В. Якимов. – М.: Машиностроение, 1975. – 175 с.
4. Новіков Ф. В. Фінішна обробка деталей різанням: монографія / Ф. В. Новіков, І. О. Рябенков. – Харків: ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2016. – 270 с.
5. Рябенков І. О. Підвищення ефективності фінішної обробки деталей гідроапаратури на основі вибору раціональної структури і параметрів операцій: автореф. дис. ... канд. техн. наук за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування / І. О. Рябенков. – Одеса: ОНПУ, 2009. – 21 с.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ШЛИФОВАНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Зубошлифование является одним из основных способов финишной обработки закаленных зубчатых колес. Шлифованием обеспечивается 3–6 степень точности зубчатых колес и шероховатость поверхности Ra 0,20–1,2. Шлифование зубчатых колес является, в основном, осуществляется абразивными кругами из белого электрокорунда.

Проведенные нами исследования показали, что в некоторых случаях можно использовать при шлифовании высокоточных зубчатых колес шлифовальные круги из электрокорунда хромистого.

Из всего многообразия абразивных материалов, из которых изготавливаются шлифовальные круги для зубошлифования, особое место принадлежит хромистому электрокорунду. У нас имеется большой опыт использования хромистого электрокорунда при шлифовании закаленных до высокой твердости (HRC 62) зубчатых колес на станках «Maag», «Niles» и «Reishauer». Например, результаты использования тарельчатых кругов на станках «Maag» показали, что при шлифовании зубчатых колес кругами из хромистого электрокорунда производительность обработки повышается в 1,2 раза по сравнению с кругами из белого электрокорунда при сохранении необходимой точности и качества обработки (рис. 1а). Аналогичные результаты получены при шлифовании зубчатых колес на станках «Niles» коническими кругами из хромистого электрокорунда (рис. 1б). Шлифование зубчатых колес может производиться методом обката с непрерывным или периодическим делением и методом копирования с периодическим делением.

Зубошлифование методом обката двумя тарельчатыми кругами позволяет шлифовать высокоточные колеса (3–4 степень точности), что не обеспечивает шлифование другими методами шероховатость поверхности зубьев – Ra 0,2–1,0. Шлифовальные круги могут занимать различные положения относительно обрабатываемого колеса, а именно, параллельно между собой на расстоянии, равном длине общей нормали обрабатываемого колеса (0-градусный метод шлифования) или под различными углами (как правило, 15° или 20°).

Опытно-промышленные испытания тарельчатых шлифовальных кругов были проведены в условиях ГП ЗМКБ «Ивченко–Прогресс» (г. Запорожье). Шлифовались зубчатые колеса из закаленной стали ДИ-3А: модуль $m = 1,5–6,0$ мм, число зубьев z от 24 до 80, ширина венца $B = 15–100$ мм. Шлифование зубчатых колес производилось на зубошлифовальном станке фирмы «Maag» HSS-30. Испытывались шлифовальные круги диаметром 280 мм из хромистого электрокорунда А89 60К 8V и рубин-корунда А98 60К 8V.



а



б

Рисунок 1 – Шлифовальные круги из хромистого корунда: а) тарельчатые круги для станка «Maag», б) конический круг для станка «Niles» - «ZSTZ»

Результаты испытаний, показали, что производительность обработки при шлифовании зубчатых колес тарельчатыми кругами из рубин-корунда повышается в 1,2 раза по сравнению с кругами из хромистого электрокорунда, при сохранении необходимой точности и качества обработанной поверхности эвольвентного профиля зуба.

Опробование технологии зубошлифования было проведено на ПАО «Мотор-Сич» (г. Запорожье) при шлифовании высокоточных зубчатых колес из закаленной стали 12Х2Н4А: модуль $m = 3$ мм, число зубьев $z = 31$, ширина венца $B = 45$ мм. При шлифовании использовались тарельчатые круги диаметром 225 мм из рубин-корунда А98 46L.

Результаты испытаний показали, что производительность обработки зубчатых колес тарельчатыми кругами из рубин-корунда повышается в 1,3 раза по сравнению с кругами из белого электрокорунда, применяемого в данный момент на предприятии. При этом сохраняется необходимая точность эвольвентного профиля зуба и качество обработанной поверхности.

Савченко Н. Ф.
Харьковский национальный экономический
университет имени Семена Кузнеця, г. Харьков, Украина
Третьяк В. В.
ХНАУ им. Н. Е. Жуковского, г. Харьков, Украина

К РАЗРАБОТКЕ НАПРАВЛЕНИЙ ВЫБОРА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ВЗРЫВНОЙ ШТАМПОВКИ

Важнейшими задачами, стоящими перед технологией машиностроения в условиях нестабильности рынка новых технологий, можно считать, с одной стороны, необходимость повышения эффективности использования ресурсов, а с другой – возрастание издержек из-за необходимости их возобновления. Особую сложность представляют технологические процессы создания все более точных и качественных изделий (или оказания услуг).

С этой целью в промышленности могут быть широко востребованы, особенно в условиях малых предприятий или предприятий, специализирующихся на многономенклатурном производстве, но с ограниченными возможностями в капиталоемком оборудовании, процессы взрывной обработки материалов, основателем которых был Пихтовников Р. В. [1, 2]. В дальнейшем его многочисленными учениками, среди которых, в первую очередь, можно выделить работы Кириченко Л. Р., Борисевича В. К., Молодых С. И., Исаенко В. И. и многих-многих других исследователей, были разработаны различные типы оборудования, усовершенствованы варианты технологического оснащения взрывной металлообработки.

При разработке вариантов оборудования можно исходить из того, что взрывная обработка материалов – это часть технологической системы предприятия, а подходы к разработке технологических процессов в ней должны рассматриваться, как и для любой технологической системы. Прежде всего, необходимо учитывать общие представления об импульсной технологической системе (ИТС) как совокупности функционально взаимосвязанных предметов производства, средств технологического оснащения и исполнителей. При этом при разработке средств технологического оснащения необходимо учитывать и специфические явления, возникающие при разработке наиболее капиталозатратных элементов для взрывной обработки металлов и сплавов (оборудования, оснастки) – это совокупность волновых явлений при взрывной обработке, таких как возможность откола, эффекты экранирования, кумулятивные эффекты, влияние пульсаций газового пузыря и другие. В ряде случаев, они могут свести на нет преимущества использования энергии взрыва. Наиболее типичны дефекты, обусловленные неблагоприятным влиянием кратковременных взрывных нагрузок, таких, как:

а) штамповка детали в виде конуса с локализацией утонения в купольной зоне детали и малой степенью вытяжки фланца ($k_{\phi} \leq 1,08$);

б) возможность квазихрупкого растрескивания чувствительных к скорости деформирования материалов (например, молибден МЧ).

При разработке направлений выбора оборудования для технологических процессов взрывной штамповки важной составляющей может быть представление процесса проектирования, исходя из системных представлений об особенностях функционирования ИТС.

Эволюционное изменение параметров такой технологической системы, например по принципу «жизненного цикла» (рис. 1) свидетельствует о необходимости учитывать тенденцию совершенствования параметров импульсных технологических систем (ИТС). Важнейшими из них могут быть:

интенсивность воздействий на обрабатываемый материал;

длительность воздействия;

возможность групповой обработки;

возможность изменения параметров ИТС в самых широких пределах;

возможность взаимосогласования в широких пределах параметров изделия и устройства для выполнения различных операций;

возможность минимизации нерационального использования энергоносителей, используемого для выполнения технологических операций (основных и дополнительных).

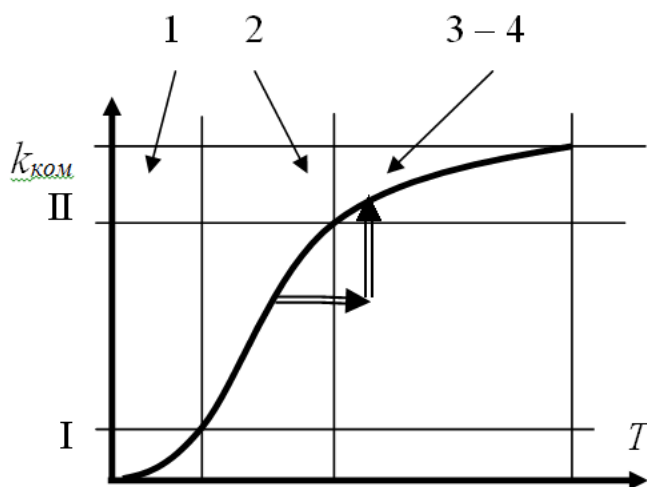


Рисунок 1 – Эволюционное изменение параметров технологической системы (ИТС): 1, 2, 3, 4 – этапы изменения в течение периода времени T эффективности ИТС

Как основное положение при выборе направлений разработки и совершенствования методов взрывной обработки материалов, принято представление о целесообразности максимализации их преимуществ как гибких технологических комплексов [2 – 4]. При этом многообразие вариантов взрывчатого превращения (продукты реакции, вода, углекислый газ, сажа, ядовитый газ) свидетельствует о необходимости рассмотрения импульсных устройств как специального типа гибких технологических систем.

Такого типа импульсные устройства, являющиеся мобильными и многофункциональными, можно классифицировать как многофункциональные системы или могущие преобразовываться в них с интеллектуально программируемым комплексом технологических операций. При классификации и проектировании ИТС с использованием импульсных устройств следует исходить из того, что эти комплексы могут быть не только пассивными системами определенного технологического назначения, но и активными многофункциональными системами, специально оснащенными для адаптации к изменению ситуации в технологической зоне энергоаккумулирующими устройствами, например по принципу использования отходов производства. Общим с позиции построения различных типов ИТС можно считать наличие универсального рабочего органа (или нескольких), привода и специального типа устройств управления работой рабочего органа для выполнения при необходимости нескольких различных технологических операций. Эффективность использования ИТС существенно может быть увеличена благодаря их адаптации к изменяющимся условиям технологической среды, что обеспечивается управляющими системами с использованием специальных датчиков. Существенно и то, что важным преимуществом ИТС может также считаться и возможность встраивания в существующие технологические комплексы без ухудшения их функционирования. Именно эти признаки и позволяют классифицировать предлагаемые устройства как гибкие технологические системы.

Для разработки направлений проектирования и классификации ИТС необходимо также учесть назначение изделия, энергозатраты на его изготовление, особенности пространственного размещения в технологической зоне, совместимость имеющегося (традиционного для предприятия) оборудования и ИТС.

Как основные признаки классификации могут быть выбраны конструктивные особенности ИТС, а также применяемые средства их технологического оснащения. При этом все элементы такой системы могут быть двух основных видов исполнения по отношению к производственному технологическому комплексу: внешнего (вне цеха) или внутреннего.

Дальнейший выбор решений при необходимости может проводиться как:

- 1) общий структурный синтез всей ИТС, если определяется ее компоновка и принцип применения;
- 2) элементный синтез, если предполагается формирование каких-то узлов, частей ИТС.

Таким образом, на первом этапе следует разработать матрицы элементов, столбцы которых – составные части ИТС, а строки – альтернативные варианты локальных решений. Примерами такого подхода можно считать варианты ИТС, в составе которых имеется:

привод – электрический, гидравлический, пневматический, термический, химические взрывчатые вещества;

передача – волновая, упруго механическая, импульсно-циклическая, комбинированная;

рабочий орган – высокоскоростной поток газовой, жидкой и комбинированной среды, твердое тело (снаряд, технологический блок), изменяющие в техногенной зоне агрегатное состояние среды или нет;

системы и устройства аккумуляирования и обеспечения функционирования ИТС – термические, пневмовакуумные, электрические или могут отсутствовать;

управляющие устройства – механические, пневматические, электромагнитные, тепловые и возможные их комбинации.

Дополнительные функции ИТС, обеспечиваемые ее элементами – дробление и утилизация отходов производства в технологической или интегрированной к ней зоне, возможность их вторичного использования.

Общее количество вариантов решений может определяться как произведение количества элементов в каждой строке создаваемой морфологической таблицы как приложение к паспорту предприятия или техногенного объекта:

$$N = Z_{otj} \cdot Z_{6e} \cdot \dots \cdot Z_{m_w},$$

где a, q, \dots, m – элемент в соответствующей строке с характерными признаками, $j, e, w = 1, 2 \dots k \dots n$ – их количество.

Так можно выбрать в качестве возможных решений рациональные приемы, на которых может базироваться в последующем создание каждой ИТС:

перевооружение производства и пересмотр существующих технологий (их паспортизация) с позиций экологической безопасности, максимального ресурсо- и энергосбережения;

создание новых технологий на основе последних научных достижений;

экономическая эффективность;

пересмотр организационно-экономических принципов;

внедрение готовых технологических систем, способных к автономному функционированию;

высокий уровень надежности систем и их гибкость, под которой понимается способность технологической системы к дальнейшему ее функционированию, безопасному для окружающей среды даже в случае выхода из строя отдельных элементов системы;

минимальные затраты на технологическое переоснащение производства;

возможность взаимодействия с автоматизированными системами управления производством.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пихтовников Р. В. Штамповка листового металла взрывом / Р. В. Пихтовников, В. И. Завьялова. – М.: Машиностроение, 1964. – 175 с.
2. Пихтовников Р. В. Безбассейновая листовая штамповка взрывом / Р. В. Пихтовников, Б. А. Хохлов. – Харьков: Прапор, 1972. – 168 с.
3. Модульное оборудование для гибких производственных систем механической обработки: Справочник / Р. Э. Сафраган, Г. А. Кривов, В. Н. Татаренко и др. – К.: Техника, 1989. – 175 с.
4. Технологичность конструкции изделия / Ю. Д. Амиров, Т. К. Алферова, П. Н. Волков и др. – М.: Машиностроение, 1990. – 768 с.

ПЛАЗМЕННОЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЕ РЕЖУЩИХ КРОМОК РЕЗЬБОНАРЕЗНОЙ ГРЕБЕНКИ ИЗ СТАЛИ Р6М5

Среди новейших технологий поверхностного упрочнения металлорежущего инструмента рядом технико-экономических преимуществ обладает плазменное поверхностное модифицирование [1, 2]. Эффект упрочнения при данном методе реализуется при нагреве режущей кромки инструмента высококонцентрированной плазменной струей и протекании при этом процессов сверхбыстрой кристаллизации (в случае обработки с микроплавлением) или сверхбыстрой закалки (в случае обработки без оплавления). Для быстрорежущих сталей дополнительное упрочнение возможно за счет дисперсионного твердения в процессе финишного отпуска (после плазменной обработки) и выделения в металле модифицированной зоны ультрадисперсных вторичных карбидов [1, 2].

Одним из наиболее сложных типов режущего инструмента, подвергающегося плазменному модифицированию, является резьбонарезной инструмент – метчики, гребенки, резцы и т.п. [3]. Резьба является сложной винтовой поверхностью, к которой предъявляются высокие требования по точности и чистоте обработки. Для уменьшения числа рабочих ходов и повышения производительности резьбонарезания применяют резьбовые гребенки (рис.1), принятые в настоящей работе в качестве объекта исследований.

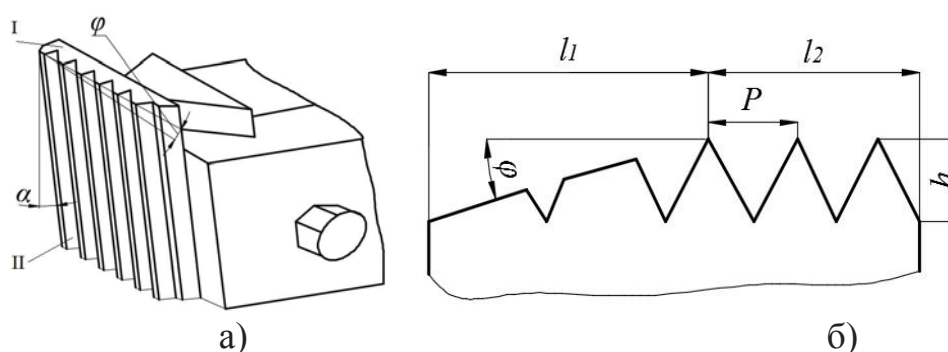


Рисунок 1 – Призматическая резьбовая гребенка (а) и параметры ее рабочей части (б); I – передняя поверхность; II – задняя поверхность [4, 5]

Как установлено ранее [6], при высококонцентрированном плазменном нагреве поверхности гребенки температура в поверхностных объемах металла распределяется неравномерно: наиболее быстро нагреваются и также наиболее быстро охлаждаются вершины и впадины зубчиков на калибрующей части. Эти же места являются и наиболее уязвимыми при резьбонарезании, определяющи-

ми точность и качество поверхности резьбы. Учитывая сказанное, на рис. 2 показаны точки исследований структуры и свойств.

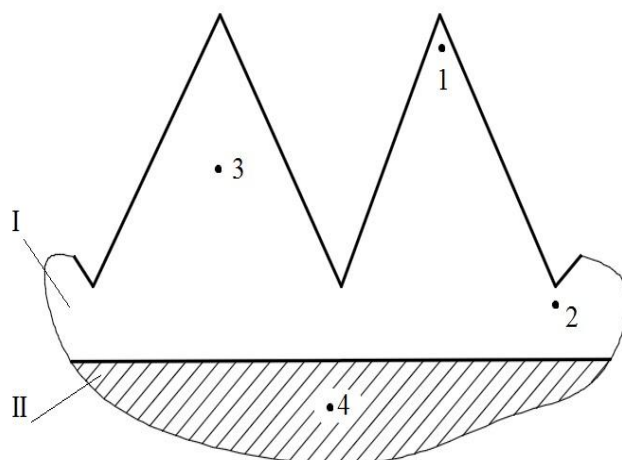


Рисунок 2 – Точки исследований на поперечных шлифах резьбонарезных гребенок из стали Р6М5 после плазменного модифицирования; I - модифицированная зона; II - исходный металл

В соответствии с рекомендациями [3, 6] выполнялась плазменная обработка резьбонарезных гребенок из стали Р6М5 без оплавления поверхности. На стадии изготовления гребенки прошли стандартную объемную термообработку – закалку от 1220 °С + трехкратный объемный отпуск при 550 °С. Часть гребенок после плазменной обработки подвергались стандартному трехкратному объемному отпуску при 550 °С.

Металлографические исследования показали, что микроструктура стали Р6М5 после стандартной объемной термообработки состоит из легированного мартенсита, эвтектических и вторичных карбидов и следов остаточного аустенита. Такая структура и соответствующие ей значения твердости и теплостойкости считаются оптимальными для термообработанной быстрорежущей стали. После нагрева поверхности гребенки высококонцентрированной плазменной струей твердость и теплостойкость стали Р6М5 повышаются. В зоне плазменного воздействия происходит растворение сохранившихся первичных карбидов и части вторичных карбидов.

Твердый раствор дополнительно насыщается углеродом и легирующими элементами, что приводит к подавлению самоотпуска мартенсита, и, как следствие, увеличению периода его решетки. В свою очередь из-за очень малой длительности выдержки в нагретом состоянии, гомогенизация твердого раствора не протекает, и металл модифицированной зоны характеризуется структурной и химической неоднородностью. Кроме того, дисперсность структуры увеличивается, уменьшается размер блоков и почти на порядок увеличивается плотность дислокаций.

Таким образом, исследования показали, что повышение твердости и теплостойкости режущих кромок гребенок из стали Р6М5 при плазменном моди-

фицировании (после стандартной объемной термообработки) обусловлено действием субструктурного, дислокационного и твердорастворного механизмов упрочнения [1].

Сопоставляя результаты исследований, полученные в данной работе, с результатами работы [2], можно сделать заключение, что при определенных технологических условиях плазменного модифицирования инструмента из быстрорежущей стали создаются возможности дополнительного повышения твердости и теплостойкости за счет образования в модифицированной зоне после финишного отпуска ультрадисперсной субмикроструктурной мартенситно-карбидной структуры.

Тип структуры, образующейся в модифицированной зоне в результате комплексного объемно-поверхностного упрочнения гребенок из стали Р6М5, по классификации, предложенной в работе [7], занимает промежуточное положение между нанокристаллической (до 100 нм) и субмикроструктурной (100-1000 нм или 0,1-1,0 мкм). Модификация поверхностного слоя названа в работе [8] одним из наиболее перспективных методов получения (или нанесения) наноматериалов на рабочие поверхности инструмента. Представленные выше результаты исследований свидетельствуют о возможности реализации указанных новейших технологий при использовании высококонцентрированного плазменного нагрева.

ЛИТЕРАТУРА

1. Самоутугин С. С. Плазменное упрочнение инструментальных материалов / С. С. Самоутугин, Л. К. Лещинский. – Донецк: Новый мир, 2003. – 338 с.
2. Самоутугин С. С. Плазменное микро- и наноструктурирование поверхности инструментальных сталей / С. С. Самоутугин, В. А. Мазур // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2013. – №4. – С. 29–37.
3. Самоутугин С. С. Плазменное модифицирование резбонарезного инструмента / С. С. Самоутугин, О. А. Христенко // Вестник Приазовского государственного технического университета. – 2017. – №34. – С.105–112.
4. Иноземцев Г. Г. Проектирование металлорежущих инструментов / Г. Г. Иноземцев – М: Машиностроение, 1984. – 272 с.
5. Родин П. Р. Металлорежущие инструменты / П. Р. Родин. – М.: Высшая школа, 1974. – 400 с.
6. Самоутугин С. С. Математическая модель процесса поверхностного плазменного упрочнения резбонарезной гребенки / С. С. Самоутугин, О. А. Христенко, В. А. Мазур // Захист металургійних машин від поломок: Збірник наукових праць. – 2014. – Вип.16.
7. Молотилев Б. В. Нанотехнологии – новое направление в прецизионной металлургии / Б. В. Молотилев // Сталь. – 2005. – №1. – С. 97–100.
8. Шулаев В. М. Инженерия неорганических наноматериалов / В. М. Шулаев // Мир техники и технологий. – 2007. – №2. – С. 62–64.

ДОСЛІДЖЕННЯ НАСКРІЗНОЇ ПОРИСТОСТІ ПОКРИТТІВ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ АК6 І Д16Т ПІСЛЯ МІКРОДУГОВОГО ОКСИДУВАННЯ

Дослідження наскрізної пористості актуально для покриттів з електроізоляційною функцією, оскільки цей показник впливає на діелектричні властивості, зокрема, електричну міцність (напругу пробою). Саме наскрізні пори є «слабким місцем» в захисному шарі, тому що електрична міцність повітря в них складає ~ 3 В/мкм, що набагато менше, ніж цей показник для основної субстанції.

Наскрізну пористість оцінювали методом планіметрії за відомою методикою. Досліджували зразки після процесу мікродугового оксидування (МДО) в режимах довільно падаючої потужності (ДПП), тривалістю 1 і 2 год., і гальваностатичному (ГС), керуючись принципом перебігу однакової кількості електрики в кожному із експериментів за умов різних значень густини струму, а саме 5; 7,5; 10; 15 А/дм². Робочим середовищем процесу МДО використовували 3 типи розчинів [1] – 1-й – власне силікатний, 12 г/л РС (РС – технічний розчин натрієвого рідкого скла, з густиною 1,4 г/л), в згадуваннях надалі також скорочуємо – електроліт 0:12; 2-й – лужно-силікатний – 2 г/л КОН + 12 г/л РС, надалі – електроліт 2:12; 3-й – більш розбавлений лужно-силікатний – 1 г/л КОН + 6 г/л РС (надалі – електроліт 1:6).

Після оксидування зразки детально промивали проточною водою, потім впродовж 1 хвилини знежирювали в розігрітому до 45...50°C розчині кальцинованої соди (40 г/л). Після промивання зразки занурювали на 15 секунд в розчин для травлення – суміш азотної та плавикової кислот (1:1), а після цього – на 5 хвилин в розчин для контактного виділення міді, який містив 20 г/л сульфату міді та по 10 г/л сульфатної і соляної кислот. Промиті та висушені зразки з ділянками червонуватих плям міді досліджували за допомогою мікроскопа USB Supereyes V008.

Аналіз результатів мікроскопічного дослідження поверхні ізоляційних покриттів на славі Д16Т, сформованих в гальваностатичному режимі в різних електролітах за ідентичної густини струму $j = 10$ А/дм² (див. рис. 1) дозволяє зробити відповідні узагальнення. Зокрема, можна стверджувати, що найменшою регулярною відкритою пористістю характеризуються МДО-покриття, сформовані в розчині 0:12 (рис. 1,а). Осади контактної міді в них (за збільшення $\sim 70^{\times}$) спостерігались тільки в кратерних дефектах, розміром 14...27 мкм, які, імовірно, утворюються під час зриву мікродугового розряду в дуговий.

За ідентичного збільшення на покриттях, сформованих в розчині 2:12, фіксується велика кількість системних відкритих пор розміром 2...4 мкм

і включень міді 1...2 мкм (див. рис. 1,б). Порівняно з поверхнею покриттів із розчину 0:12 осади міді на ній розташовані більш рівномірно.

Відносно меншою (за кількістю і лінійним розміром) відкритою пористістю характеризуються оксидні шари, сформовані в розчині 1:6 (рис. 1,в). Включення міді відповідно теж менші, ~ 1 мкм. Слід зазначити, що середня товщина покриттів у цьому електроліті порівняно найменша і складає 37 мкм (43 і 44 мкм відповідно в розчинах 0:12 і 2:12). Цей фактор теж впливає на показник наскрізної пористості, погіршує його, нівелюючи вплив складу розчину.

x40

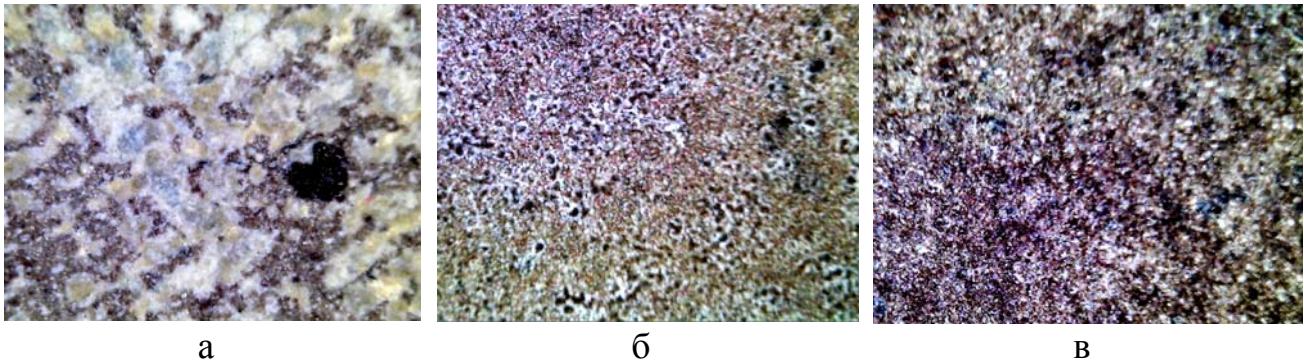


Рисунок 1 – Стан поверхні зразків з МДО-покриттями на сплаві Д16Т після проявлення наскрізної пористості внаслідок режиму ГС за $j = 10 \text{ А/дм}^2$ в різних електролітах: а – 0:12; б – 2:12; в – 1:6

Загалом, якщо оцінювати якість поверхні покриттів за кількістю осередків міді та їх розмірів, можна зробити висновок, що наскрізна пористість зростає в ряду розчинів: 0:12 < 1:6 < 2:12.

Аналіз серії знімків, які відображують стан поверхні покриттів, сформованих в ГС режимі за різної густини струму (рис. 2), показує, що в кожному електроліті наскрізна пористість збільшується з її зростанням від 5 до 15 А/дм². Про це свідчить збільшена кількість осередків та сумарна площа контактно виділеної міді: від рис. 2,а до рис. 2,г для розчину 0:12, від рис. 2,б до рис. 2,д для розчину 2:12 та від рис. 2,в до рис. 2,е для розчину 1:6.

Ці результати якісно корегують з показниками діелектричних властивостей МДО-покриттів (питомого опору ρ та електричної міцності τ) дослідженими раніше [1, 2].

Таким чином, можна зробити висновок, що саме збільшена наскрізна пористість є однією із відповідальних причин за погіршення діелектричних властивостей, зокрема електричної міцності, в розчині 2:12.

Дослідження наскрізної пористості МДО-покриттів, сформованих протягом 1 год. в режимі ДПП показало, що за умов ідентичної попередньої обробки зразків (обезжирення, травлення, витримки в розчині йонів) окремі осередки мідних осадів можна було помітити тільки на поверхнях оксидних шарів, сформованих на обох сплавах в розчині 1:6. Тобто там, де товщина покриттів була найменшою: 40 мкм на АК6 і 70 мкм на Д16Т [2]. В розчині 2:12, в якому покриття, сформовані за обома режимами, характеризувались найнижчими показ-

никами діелектричних властивостей, товщина оксидних шарів була максимальною і сягала відповідно на АК6 і Д16Т 55-60 та 100 мкм [2], наскрізна пористість не проявилась. Це не дозволило знайти очевидну кореляцію між досліджуваними критеріями, але в цілому можна зробити висновок, що поверхня МДО-покриттів, сформована на змінному струмі в режимі ДПП порівняно з поверхнею в ГС режимі рівномірніша за рельєфом і структурою, на ній відсутні дефекти кратерного типу, які зазвичай свідчать про перебіг дугових процесів.

х40

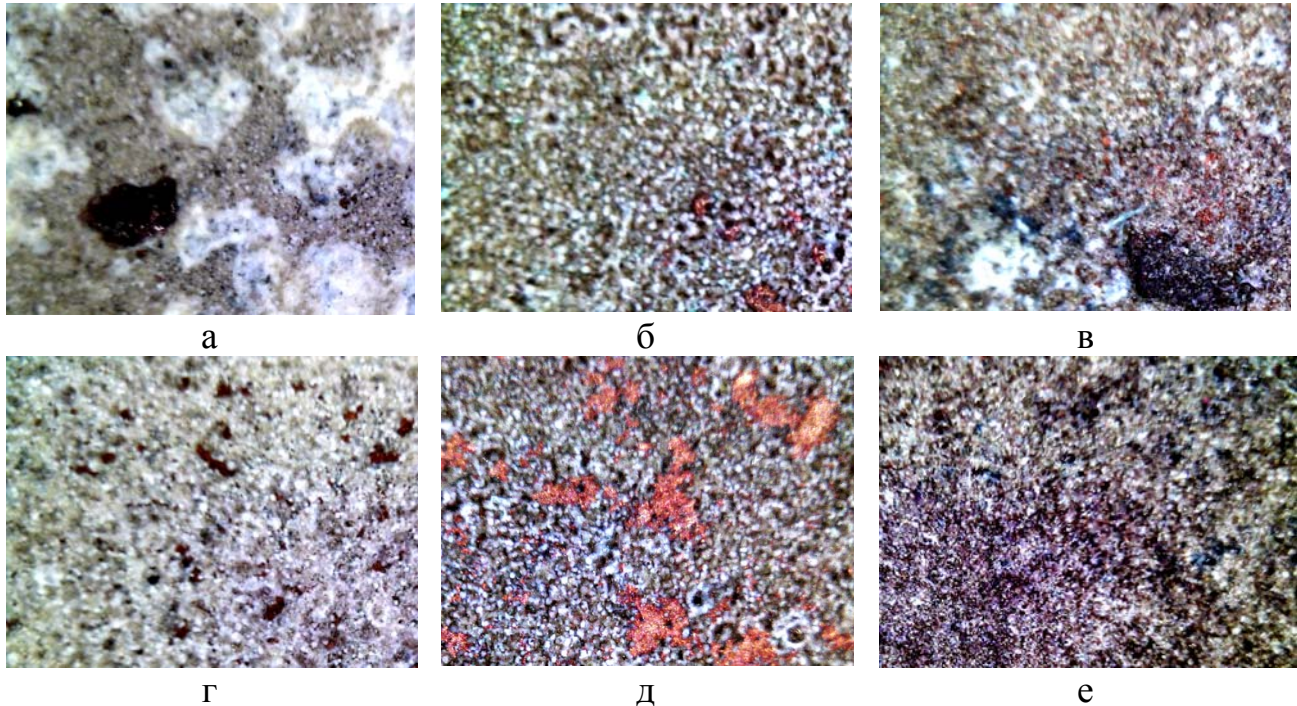


Рисунок 2 – Вплив густини струму j формування МДО-покриттів на стан поверхні Д16Т після проявлення наскрізної пористості внаслідок режиму ГС за j : а, б, в – 5 А/дм²; г, д, е – 15 А/дм² (електроліти: а, г – 0:12; б, д – 2:12; в, е – 1:6)

Таким чином, результати досліджень наскрізної пористості дозволили, по-перше, відмітити її якісну кореляцію з показниками діелектричних властивостей МДО-покриттів, а, по-друге, підтвердити перевагу за цим показником якості оксидних шарів, сформованих в режимі ДПП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Розробка конструкційно-технологічних основ і технічних рішень алмазних інструментів підвищеної функціональності в реалізації електрофізикохімічних методів шліфування: Звіт про НДР (пром. інв.) / кер. теми А. І. Грабченко. – № держ. реєстрації 0117U004883; інв. № 0218U001286. – Нац. техн. ун-т "Харк. політехн. ін-т". – Х., 2017. – 256 с.
2. Діелектричні характеристики покриттів алюмінієвих сплавів АК6 і Д16Т після мікродугового оксидування / В. Є. Стрельницький, Ю. Г. Гуцаленко, О. К. Севидова, І. І. Степанова // Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении: Материалы междунар. науч.-техн. конф., 26–29 сентября 2018 г., г. Одесса. – Одесса: ОНПУ, 2018. – С. 180–182.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НАПЛАВКИ ЛИСТОВЫХ ДЕТАЛЕЙ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ РАСТУЩИХ ТЕЛ

Коробление тонкостенных элементов конструкций при наплавке, в отличие от случая массивных деталей, является недостаточно изученной проблемой [1, 2]. В настоящей работе на основе теории растущих тел [3], унифицированной модели течения Боднера-Партома [4], термокинетических диаграмм распада переохлажденного аустенита и метода конечных элементов разработана методика расчета НДС и прогибов листовых деталей при наплавке различными сталями. Исследовано влияние различных факторов на остаточный прогиб.

Натурный и модельный объекты исследования представлены на рис. 1а, б.

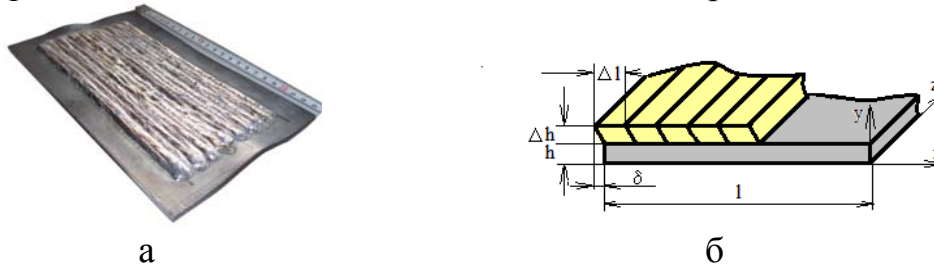


Рисунок 1

Принимается $l_x = 100 \text{ мм}$, $l_y = 3 \text{ мм}$, $l_z = 200 \text{ мм}$, $\Delta h = 2.3 \text{ мм}$.

В прямоугольной системе координат $Oxyz$ Лагранжева формулировка задачи записывается в виде

$$\delta I = \int_F [\bar{\lambda} \left(\frac{\partial \theta}{\partial x} \delta \left(\frac{\partial \theta}{\partial x} \right) + \frac{\partial \theta}{\partial y} \delta \left(\frac{\partial \theta}{\partial y} \right) + \frac{\partial \theta}{\partial z} \delta \left(\frac{\partial \theta}{\partial z} \right) \right) + (\bar{c}_v \dot{\theta} - Q) \delta \theta] dx dy dz + \int_S (-q + \gamma(\theta - \theta_c) + c_0 c(\theta^4 - \theta_c^4)) \delta \theta ds = 0, \quad (1)$$

$$\delta \Phi = \int_F (\sigma_{xx} \delta \varepsilon_{xx} + \sigma_{yy} \delta \varepsilon_{yy} + \sigma_{zz} \delta \varepsilon_{zz} + 2\sigma_{xy} \varepsilon_{xy} + 2\sigma_{yz} \varepsilon_{yz} + 2\sigma_{zx} \varepsilon_{zx}) dx dy dz - \int_S (t_{nx} \delta u_x + t_{ny} \delta u_y + t_{nz} \delta u_z) ds = 0. \quad (2)$$

причем

$$s_{ij} = 2\bar{G}(e_{ij} - \varepsilon_{ij}^p - e_{ij}^*), \quad \sigma_{kk} = 3\bar{K}_V (\varepsilon_{kk} - \varepsilon_{kk}^{\theta ph} - \varepsilon_{kk}^*) \quad (3)$$

Здесь θ – температура, ε_{ij} , σ_{ij} , e_{ij} , s_{ij} – тензоры деформации, напряжения и девиаторы соответствующих тензоров, u_i – перемещения, q – тепловой поток на поверхности, Q – объемный тепловой источник, γ , c_1 и c_0 – параметры кон-

вективного и лучистого теплообмена, \bar{G} и \bar{K}_V – сдвиговой и объемный модули, $\bar{\lambda}$ и \bar{c}_V – коэффициенты теплопроводности и объемной теплоемкости, ε_{ij}^p , $\varepsilon_{kk}^{\theta ph}$ – неупругая (вязко-пластическая) и термофазовая деформация, ε_{ij}^* и θ^* – деформация и температура элемента объема в процессе заполнения наращиваемым материалом [4]. Для основного металла $\varepsilon_{ij}^* \equiv 0$. Расчеты проводились в рамках задачи о плоской деформации. Черточки сверху означают осреднение по текущему фазовому составу.

Определенные надлежащим образом величины ε_{ij}^* и θ^* позволяют удовлетворить на поверхности наращивания S^* неклассическим граничным условиям

$$\sigma_{ij}(\varepsilon_{kl}^*, \theta^*) = 0; \quad i, j, k, l = x, y, z, \quad t = t^*, \quad (4)$$

где t^* – момент времени присоединения наплавочного материала в точке x, y, z на поверхности S^* .

Микроструктурные превращения в сталях при охлаждении после наращивания определяются с помощью термокинетических диаграмм [5]. Термомеханическое поведение основного и наращиваемого материалов описывается моделью течения Боднера-Партома [6].

Задача (1) – (4) решается методом конечных элементов. На основе представленной постановки исследована задача наплавки пластин из стали СтЗсп тремя сталями: Св08А, 1Х8Н10, и 25Х5ФМС. Размеры приведены на рис. 1 б.

На рис. 2 показаны изменения температуры и перемещений точки пластины под 11-м валиком (всего наплавляется 20 валиков) при наплавке сталью 1Х18Н10.

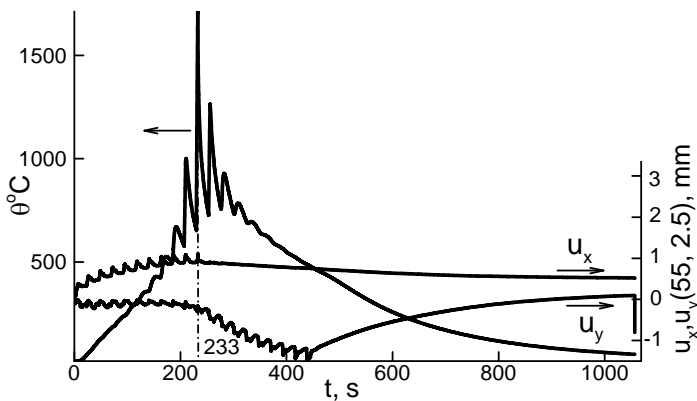


Рисунок 2

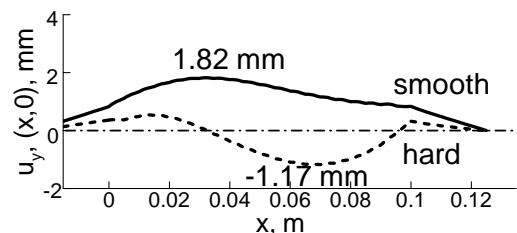


Рисунок 3

Видно, что в процессе наплавки элемент имеет отрицательный прогиб, а в процессе остывания выпучивается в сторону наплавленного металла.

На рис. 3 показаны прогибы элемента после охлаждения и освобождения правого торца. Сплошная линия отвечает случаю наплавки с гладкой заделкой (smooth), а штриховая – с жесткой заделкой (hard) на правой кромке.

Цифрами указаны максимальные значения остаточного прогиба u_y . Отметим, что при освобождении кромок от закрепления при наплавке происходит

существенное перераспределение напряжений в основном и наплавленном материалах, а также дополнительная упругая деформация наплавленной пластины. На рис. 4 показаны изменения температуры и перемещений пластины под 11-м валиком при наплавке сталью 25Х5ФМС.

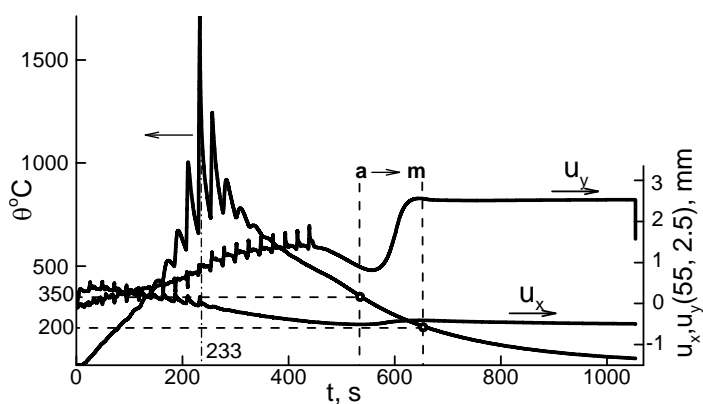


Рисунок 4

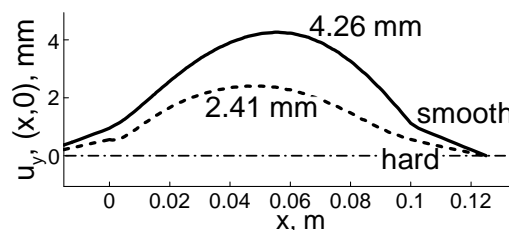


Рисунок 5

Для этого случая определяющим механизмом формирования остаточного прогиба пластины является наличие мартенситного превращения в наплавленном металле. Температурно-временная область мартенситного превращения показана штриховыми линиями.

На рис. 5 показан прогиб при короблении пластины. Сплошная линия отвечает случаю наплавки при гладком закреплении правой кромки (рис. 1), а штриховая – жесткому заземлению. В обоих случаях левый конец заземлен жестко. Видно, что жесткая заделка кромок обеспечивает меньший остаточный прогиб.

Отметим, что в материалах без мартенситных превращений прогибы заметно меньше (рис. 3).

Развитый подход позволяет на основе численного моделирования дать практические рекомендации по материалам наплавки, условиям закрепления элементов и параметрам режима с целью минимизации остаточных напряжений и коробления листовых элементов при наплавке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рябцев И. А. Теория и практика наплавочных работ / И. А. Рябцев, И. К. Сенченков. – К.: Экотехнология, 2013. – 400 с.
2. Рябцев И. А. Наплавка. Материалы, технологии, математическое моделирование / И. А. Рябцев, И. К. Сенченков, Э. В. Турык. – Gliwice: Wydawnictwo politechniki slaskiej, 2015. – 590 с.
3. Сенченков И. К. Термомеханическая модель растущих цилиндрических тел из физически нелинейных материалов / И. К. Сенченков // Прикладная механика, 2005. – 41, №9. – С. 118–126.
4. Bodner S.R. Unified plasticity – an engineering approach. Final Rep. Technion – Israel Inst. Of Tech., Haifa, 2000. – 106 p.

РАЗМЕРНАЯ СТОЙКОСТЬ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ И ПУТИ ЕЕ ПОВЫШЕНИЯ

Точность профильной алмазно-абразивной обработки в значительной степени зависит от размерной стойкости шлифовального инструмента, которая, в свою очередь, определяется износостойкостью абразивосодержащего слоя (абразивных зерен и связки), характером распределения припуска по профилю и условиями работы различных участков профиля алмазно-абразивного инструмента.

Характер распределения припуска определяется выбранным способом обработки изделия: «по целому» или по предварительно подготовленному профилю. Большое значение имеет также метод шлифования: глубинное или многопроходное. Однако очевидно, что в любом случае величина удаляемого припуска является одним из основных факторов, определяющих неравномерность износа профильного алмазно-абразивного инструмента, а, следовательно, и точность обработки.

Следует отметить, что очевидный факт влияния распределения припуска на неравномерность износа заслоняет собой другой важный фактор: различные условия работы абразивных зерен, расположенных на разных участках профиля. Так в работе [1] утверждается, что износ фасонного профиля шлифовального инструмента пропорционален лишь величине припуска, удаляемого в соответствующей точке.

В этих работах учитывают только неравномерную площадь среза и площадь контакта круга с изделием, а также основное внимание уделяется влиянию комплекса технологических параметров, в частности, соотношению врезной подачи, скорости круга и изделия. Это, безусловно, справедливо для рассмотренного случая, но носит частный характер и не учитывает влияние формы профиля рабочей поверхности.

Взаимодействие зерна с обрабатываемой поверхностью применительно к фасонному профилю рассмотрено в работе [2]. Однако, распространение закономерностей, присущих глубинному шлифованию, на обычное многопроходное, представляется не совсем корректным.

В работе [3] предлагается осуществлять повышение стойкости алмазно-абразивных инструментов за счет формирования затылка на задней поверхности зерен в процессе электроэрозионного профилирования. Однако это может привести к возрастанию трения между связкой и обрабатываемым материалом, к снижению режущих свойств инструмента и качества поверхности.

Повышение размерной стойкости может быть достигнуто посредством улучшения работы зерен. Например, увеличение стойкости и режущей способ-

ности шлифовальных кругов радиусного профиля достигается за счет импрегнирования, снижающего засаливание рабочей поверхности. В процессе шлифования предлагается использовать специальные связки, содержащие поверхностно-активные вещества, снижающие поверхностную энергию и работу, затрачиваемую на шлифование.

Перечисленные способы повышают общую стойкость алмазно-абразивных инструментов, однако не позволяют устранить неравномерность износа на различных участках профиля.

Для достижения равномерного износа профиля фасонного алмазного круга в работе [4] предлагается увеличить концентрацию алмазов на малостойких участках до 150%. Вместе с тем, изготовление профильных кругов с различной концентрацией на разных участках профиля связано со значительными трудностями.

В процессе врезного шлифования фасонных и ступенчатых поверхностей рассматривается в качественной и количественной связи статических и режимных характеристик системы «шлифовальный инструмент – деталь». При этом профили инструмента и детали представляют собой непрерывное множество составляющих их сечений, для каждого из которых закладывается в статическую систему такое сочетание технологически регулируемых характеристик, при котором обеспечивается синхронизация радиального износа шлифовального круга и удаляемого припуска по профилю обрабатываемой поверхности с выходом на наибольшее соответствие реального профиля номинальному в конце обработки. Реализация этой технологически регулируемой характеристики осуществляется за счет применения кругов с прерывистой рабочей поверхностью.

Более равномерный износ фасонного профиля достигается при использовании прерывистого круга с радиальными пазами по торцу или прерывистого круга с выступами и впадинами переменной протяженности по профилю. Равномерность износа обеспечивается за счет того, что суммарная длина выступов в каждом сечении профиля прямо пропорциональна величине припуска, снимаемого в данном сечении. Однако при шлифовании кругами с прерывистой рабочей поверхностью на зерна действуют ударные нагрузки, вызывающие интенсивное выкрашивание их из связки.

Для компенсации неизбежной неравномерности радиального износа профиля фасонного шлифовального круга корректируется на величину неравномерности износа. При шлифовании к моменту окончания обработки профиль рабочей поверхности круга и, соответственно, профиль обработанной детали принимают заданную форму.

При шлифовании прецизионных фасонных поверхностей предлагается производить разделение цикла шлифования на предварительное и окончательное, которые осуществляются различными фасонными кругами.

Аналогично решение, согласно которому профиль шлифовального круга совпадает с окончательной формой профиля детали, а для компенсации неравномерного износа используется заготовка с скорректированным распределением припуска, величина которого определяется так, чтобы радиальный износ круга по профилю имел постоянную величину.

Оптимальное распределение припуска по полукруглому профилю определяется, исходя из соблюдения условия:

$$L_{\varphi} t_{\varphi} = L_0 t_0 = \text{const},$$

где L_{φ}, L_0 – длина дуги контакта круга с деталью, соответственно, во впадине и в текущей точке профиля; t_{φ}, t_0 – величина припуска на заготовке, соответственно, во впадине и по нормали в текущей точке профиля.

Недостатком приведенных решений является их частный характер, поскольку при коррекции профиля круга или припуска на заготовке учитываются только кинематические соотношения.

В работе [5] предпринята попытка управлять износом профильного круга за счет регулирования соотношения элементов режимов резания (скорости круга, скорости изделия и глубины шлифования). Подобные методы просты в реализации, однако очевидно, что управлять износом шлифовального круга со сложной конфигурацией профиля с их помощью невозможно.

Таким образом, стабильные точностные параметры изделия могут быть обеспечены при непрерывном управлении геометрией рабочей поверхности в процессе шлифования. Это может быть достигнуто дозированным воздействием на рабочую поверхность, обеспечивающим сохранение неизменной конфигурации профиля алмазно-абразивного инструмента в течение длительного времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алиханян Э. С. К определению характера износа профильных кругов / Э. С. Алиханян // Алмазы и сверхтвердые материалы, 1983. – Вып. 3. – С. 7–8.
2. Влияние зернистости и концентрации алмазов на износ фасонных кругов для врезного шлифования твердых сплавов / А. И. Талькоп, Л. Н. Кабановский, В. В. Коломиец и др. // Сверхтвердые материалы, 1985. – Вып. 1. – С. 30–34.
3. А.с. 704746 (СССР). Способ электроэрозионной правки шлифовальных кругов / Р. Б. Мартиросян, С. Р. Маркарян, Р. В. Князян. – Оpubл. бюл. №47, 1979.
4. Попов С. А. Тепловые явления при врезном алмазном шлифовании твердого сплава алмазным кругом / С. А. Попов, Ф. Н. Исмаилов // Алмазы и сверхтвердые материалы. – 1977. – Вып. 4. – С. 12–13.
5. Шлифование фасонных поверхностей / А. И. Исаев, А. Н. Филин, М. С. Злотников и др. – М.: Машиностроение, 1980. – 152 с.

ВПЛИВ УПРАВЛІННЯ ПОГРАНИЧНИМ ШАРОМ НА АЕРОДИНАМІЧНИЙ ОПІР МОТОГОНДОЛИ ТРИКОНТУРНОГО ГАЗОТУРБІННОГО ДВИГУНА

Оптимальна інтеграція газотурбінного двигуна, мотогондоли і повітряного судна є однією з актуальних проблем, вирішення якої значною мірою визначає економічність, ефективність і надійність літальних апаратів. Теоретичні дослідження показали, що одною із перспективних схем газотурбінних двигунів є триконтурний двигун з турбовентиляторною приставкою, який має вищу ефективність і економічність в порівнянні з двоконтурними газотурбінними двигунами. Специфічна форма мотогондоли силової установки з триконтурним двигуном з турбовентиляторною приставкою дозволяє зменшити зовнішній опір в порівнянні з двоконтурним газотурбінним двигуном. Управління пограничним шаром на поверхні мотогондоли газогенератора суттєво зменшити зовнішній опір авіаційної силової установки. Основним параметром, який характеризує інтенсивність відсмоктування пограничного шару є коефіцієнт відсмоктування $C_\delta = m_\delta/m_0$, який є відношенням маси частини пограничного шару (m_δ), що відсмоктується, до маси повітря, що відповідає товщині витіснення пограничного шару (m_0). На основі проведених експериментальних досліджень була побудована залежність коефіцієнта опору C_x від коефіцієнта відсмоктування C_δ для різних схем мотогондол авіаційних двигунів (рис.1).

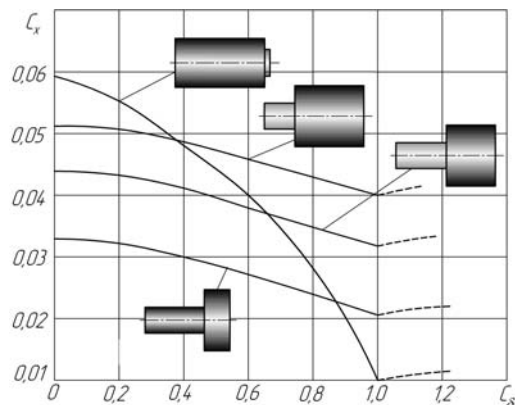


Рисунок 1 – Залежність коефіцієнта опору C_x від коефіцієнта відсмоктування C_δ для різних схем мотогондол авіаційних двигунів

Аналіз результатів показав, що відсмоктування пограничного шару з поверхні мотогондоли газогенератора приводить до зменшення аеродинамічного опору мотогондоли газогенератора. При коефіцієнті відсмоктування пограничного шару витрати, що дорівнює $C_\delta=1,0$ практично весь опір мотогондоли авіаційної силової установки в основному визначається зовнішнім аеродинамічним опором мотогондоли турбовентиляторної приставки, тобто зовнішній опір силової установки досягає найменшої величини.

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ РУХУ ПОДАЧІ В ГІДРОПРИВОДАХ ВЕРСТАТІВ

Одним з головних чинників, що визначають функціональні можливості та якість металорізальних верстатів, є робота приводів подач, які здійснюють формоутворюючі рухи робочих органів відповідно до заданої програми. У загальному випадку при конструюванні гідроприводів металорізальних верстатів необхідно забезпечувати стабільність подачі в межах $\pm 5\%$ від встановленого значення незалежно від величини і напрямку сил різання та інших випадкових факторів. Але у сучасних верстатах потрібні як великі, так і вельми малі швидкості руху робочого органу порядку 1 ... 10 мм/хв. Забезпечення стабільності руху на таких низьких швидкостях є досить складною задачею.

Як показують результати експериментальних досліджень при розточуванні довгих отворів на обробно-розточувальних і агрегатних верстатах швидкість робочої подачі з часом знижується, що впливає на продуктивність процесу обробки. Крім того в таких умовах виникає нерівномірність руху, яка може бути у вигляді релаксаційних або гармонічних автоколивань швидкості, що призводить до зниження якості обробки та зменшення стійкості ріжучих інструментів [1]. Ці автоколивання відносяться до стохастичних процесів, на виникнення яких впливають безліч факторів [2]. Наприклад, причиною появи релаксаційних коливань є наявність «падаючої» характеристики тертя в напрямних робочого органу, виникнення гістерезисної характеристики сил тертя за попереднім зміщенням, а також стисливість масла в робочих порожнинах гідроциліндра.

Також існують проблеми стабільності подачі при операціях шліфування (особливо деталей з важкооброблюваних матеріалів). Наприклад, не тільки процес електроерозійного шліфування але й правку струмопровідних абразивних кругів на металевій зв'язці слід проводити на малих величинах подачі столу при рівномірному русі, домагаючись досягнення найкращих результатів шляхом призначення більшої кількості імпульсів технологічного струму [3].

В результаті механічних і гідравлічних втрат в насосі та гідросистемі температура робочої рідини зростає, що призводить по-перше до зниження її в'язкості, а по-друге до підвищення витоків рідини у вузлах гідроприводу та її витрат через дроселюючі елементи. Таким чином, в залежності від схеми і конструкції вузлів гідроприводу, точності виготовлення золотникових пар гідравлічних апаратів, герметичності та температурної характеристики дроселів швидкість переміщення робочого органу при роботі під навантаженням може додатково знижуватися або підвищуватися.

Для зниження впливу температури робочої рідини на швидкість руху доцільно використання в гідросистемі регульованих пластинчастих насосів, які забезпечують найменші втрати потужності, і сучасних конструкцій теплообмінників, що дає можливість підтримувати стабільний тепловий баланс.

Впровадження так званої «холодної» гідравліки (наприклад, насосів з частотно-регульованими приводними електродвигунами) також дозволяє термостабілізацію робочої рідини в гідросистемі.

Перед складанням верстата слід проводити контрольні гідравлічні випробування апаратів загальномашинобудівного застосування, що входять до гідравлічної схеми верстата, з метою відбору екземплярів, які мають мінімальний рівень витоків. У деяких випадках доцільно здійснити доопрацювання гідравлічних апаратів для підвищення герметичності їх рухомих сполук.

Особливу увагу слід приділити поліпшенню ущільнень для герметизації поршневої та штокової порожнини гідравлічних циліндрів. За останні роки з'явилися нові конструкції ущільнень з матеріалів, які мають кращі робочі характеристики ніж традиційні з гумових елементів.

Слід мати на увазі, що на рівномірність руху можуть впливати дефекти виготовлення та складання вузлів подачі, наприклад, непаралельність вісі гідроциліндра напрямним або перекис напрямної втулки штока гідроциліндра.

Перспективним напрямом забезпечення стабільності подачі є використання принципів мехатроніки. Тонке регулювання витрати безперервно дозуємих середовищ, які поступають до гідродвигунів, дає можливість чітко контролювати та стабілізувати параметри руху робочих органів при дії чинників як детермінованого, так і випадкового характеру.

Демпфірування навантаженням в'язкого тертя зі змінним коефіцієнтом підсилення, який знижується зі збільшенням швидкості ковзання, дає найбільш ефективне підвищення стійкості.

Використання швидкодіючих мікропроцесорних пристроїв для керування демпфіруванням дозволяє здійснити «інтелектуальну» поведінку металообробного обладнання, яке функціонує в умовах змінного зовнішнього середовища.

ЛІТЕРАТУРА

1. Тихенко В. Н. Исследование равномерности движения гидропривода стола отделочно-расточного станка / В. Н. Тихенко, А. А. Волков // Промислова гідравліка і пневматика. – Вінниця, 2012. – №1(35). – С. 55–58.
2. Струтинський В. Б. Стохастичні процеси у гідроприводах верстатів: моно-графія / В. Б. Струтинський, В. М. Тіхенко. – Одеса: Астропринт, 2009. – 456 с.
3. Тіхенко В. М. Реалізація електроерозійного шліфування для обробки деталей штампів на плоскошліфувальному верстаті / В. М. Тіхенко // Резание и инструменты в технологических системах. Междунар. научн.-техн. сборник. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2017. – Вып. 88. – С. 212–215.

*Третьяк Т. Є., Шелковой А. Н., Гуцаленко Ю. Г.,
Мироненко А. Л., Мироненко С. А.*

Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НЕЭВОЛЬВЕНТНЫХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

Одной из современных тенденций является исследование зубчатых передач со сложным неэвольвентным профилем боковых поверхностей зубьев. Это связано с тем, что эвольвентные передачи имеют целый ряд недостатков, связанных с их качественными показателями: большие удельные давления на боковых поверхностях зубьев из-за малых радиусов их кривизны и отсюда недостаточная способность по контактной прочности, малый коэффициент перекрытия колес и отсюда недостаточная плавность зацепления.

Нарезание зубьев зубчатых колес можно производить методом копирования или методом огибания (обкатки). При нарезании зубчатых колес более кинематически точным методом обкатки в качестве инструмента может выступать как инструментальная рейка, так и инструментальное зубчатое колесо. Для получения сопрягаемых поверхностей зубьев двух неэвольвентных зубчатых колес требуется два разных инструмента. Так, например, если инструментами являются две инструментальные рейки, то профили боковых поверхностей зубьев реек должны быть обратными по отношению друг к другу, т.е. профиль зуба одной из пары сопрягаемых реек должен совпадать с профилем впадины второй рейки. На основании этого разработана методика получения сопрягаемых поверхностей зубьев неэвольвентных зубчатых колес как огибающих заданных поверхностей зубьев инструмента.

На первом этапе формообразования пары зубчатых колес в качестве инструментов могут рассматриваться инструментальные рейки с обратными по отношению друг к другу нелинейными профилями боковых поверхностей зубьев. С помощью этих реек моделируется процесс изготовления двух неэвольвентных зубчатых колес с заданными количествами зубьев. Эти колеса могут в дальнейшем считаться инструментальными, с помощью которых на следующем этапе формообразования моделируется процесс нарезания других зубчатых колес с другими количествами зубьев. Эта последовательность повторяется до тех пор, пока не будут формообразованы зубчатые колеса, из которых составляется зубчатое зацепление. Кроме того, на первом этапе формообразования каждого из колес зубчатой пары инструментом может быть одна и та же инструментальная рейка. Сопрягаемые боковые поверхности зубьев будут иметь зубчатые колеса, изготовленные в одной последовательности формообразования, в том случае, если количество формообразований для одного колеса будет нечетным, а для другого колеса – четным. Методика получения сопрягаемых поверхностей зубьев неэвольвентных зубчатых колес как огибающих заданных поверхностей

зубьев инструментов в соответствии с предложенной схемой формообразования пар зубчатых колес предполагает следующую последовательность действий:

1. Задается количество этапов формообразования для каждого из обоих колес неэвольвентного зацепления.

2. В репере, связанном с инструментальной рейкой на первом этапе формообразования (или инструментальным зубчатым колесом на последующих этапах формообразования), задается набор координат и геометрических характеристик точек исходного профиля инструмента, так же задаются параметры обрабатываемого зубчатого колеса.

3. На основе алгоритма расчета профиля огибающих поверхностей выполняется расчет координат и геометрических характеристик точек профиля обрабатываемого зубчатого колеса в репере, связанном с зубчатым колесом.

Пункты 2 и 3 выполняются в цикле для заданного количества этапов формообразования каждого из зубчатых колес зацепления. В качестве нелинейного профиля боковой поверхности зуба рейки может быть рассмотрен некоторый участок одной из плоских кинематических кривых, характеризующих работу данного или произвольного зацепления [1].

В данном исследовании рассматриваемыми показателями качества приняты: коэффициент удельного давления ϑ (отношение модуля к приведенному радиусу кривизны; фактор риска – смятие зубьев колес нагруженного зацепления по боковым поверхностям рабочего контакта) и коэффициент перекрытия зубчатого зацепления ψ (фактор риска – непрерывность и плавность осуществления зацепления в его работе). Задача исследования – поиск неэвольвентных формообразующих решений колес–звеньев зубчатого механизма с заданным передаточным отношением, обеспечивающих снижение ϑ и повышение ψ по сравнению со стандартным эвольвентным зацеплением.

В соответствии с описанной выше методикой получения сопрягаемых поверхностей зубьев разработана программа на языке Pascal, результатом реализации которой является расчет координат и геометрических характеристик точек формообразуемых профилей зубчатых колес, составляющих зубчатую пару (в том числе радиусов кривизны в точках профилей зубьев); вывод на экран компьютера изображения профилей боковых поверхностей зубьев, их движений в процессе обкатки с выделением точек, в которых в рассматриваемый момент времени выполнилось условие касания профилей (их совокупность представляет собой линию зацепления). Программа также позволяет проверить правильность сопряжения боковых поверхностей зубьев в зубчатом зацеплении и определить активные участки их профилей; вычислить длину активных участков профилей зубьев, углы перекрытия зубчатых колес и коэффициент перекрытия зубчатого зацепления; вычислить приведенные радиусы кривизны и коэффициент давления в точках касания профилей зубьев.

Были проведены серии численных экспериментов для анализа качественных показателей зубчатых зацеплений, образованных инструментальными рейками с различными профилями боковых поверхностей зубьев: прямолинейными, выпуклыми и вогнутыми, а также выпукло-вогнутыми. В первом случае

профили зубьев зубчатых колес эвольвентные. Как показывают результаты численных экспериментов, неэвольвентные зубчатые зацепления могут иметь большие приведенные радиусы кривизны (и, вследствие этого, меньшие коэффициенты давления) в точках касания профилей по сравнению с эвольвентными зацеплениями при незначительном увеличении или уменьшении коэффициента перекрытия зубчатого зацепления.

В неэвольвентных зубчатых зацеплениях, образованных инструментальными рейками с выпуклым и вогнутым профилями зубьев, а также инструментальными рейками с выпукло-вогнутыми профилями зубьев, коэффициент давления в точках касания профилей меньше в среднем в 1,6 и в 1,9 раза, чем в эвольвентном зацеплении, образованном рейкой с прямолинейными профилями зубьев. При этом коэффициент перекрытия в неэвольвентном зубчатом зацеплении составляет, например, 1,73, тогда как для эвольвентного зацепления с тем же передаточным отношением он равен 1,57. Наиболее предпочтительным представляется вариант реек с выпуклым и вогнутым профилями зубьев, обеспечивающий лучшие значения обоих качественных показателей зацепления – и коэффициента давления, и коэффициента перекрытия.

Представленная разработка может интегрироваться с другими моделями, алгоритмами, программными продуктами, выполненными по компьютерной анимации, конструктивному развитию и исследованию зубчатых передач, формообразованию обкаточных инструментов нарезания зубьев и зубчатых колес по заданному инструменту. Так, в работе [2], выполненной без рассмотрения специфики неэвольвентных зубчатых передач, в основу компьютерного моделирования формообразования зубчатого колеса в CAD-системах (MathCAD и Maple) также положен контур инструментальной рейки, анонсируются соответствующие алгоритмы и их реализация в виде программ, написанных на языке AutoLISP в среде САПР AutoCAD, с вводом исходных данных через диалоговые окна на языке DCL (Dialog Control Language). С позиций развития представленной здесь разработки, интеграционная привлекательность работы [2] связана с реализацией в ней твердотельного моделирования и, на этой основе, наряду с профилированием зубчатого режущего инструмента, продемонстрированным исследованием нарезания им зубьев, с получением качественных и количественных характеристик процесса, соответственно с возможностью выхода на оптимальные расчетно-прогностические решения, перспектива чего особенно интересна применительно к множеству конструкторско-технологических решений неэвольвентных зубчатых зацеплений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Tretyak, T. Structural approach to the mathematical description and computer visualization of plane kinematic curves for the display of gears / T. Tretyak, A. Mironenko, Yu. Gutsalenko et al. // *Fiability & Durability*. – No.1(2018): 7-11.
2. Ляшков, А. А. Моделирование формообразования зубчатых колес методом центроидного огибания / А. А. Ляшков // *Известия Транссиба*. – 2012. – № 2(10). – С. 109–116.

EFFECT OF RPM ON ACOUSTIC EMISSION OF THE GAS TURBINE ENGINE COAXIAL PROPFAN

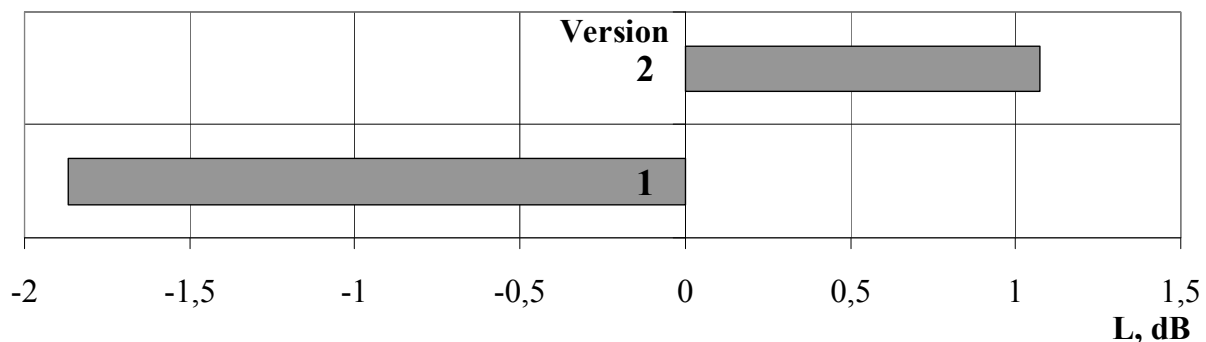
One of the urgent issues in aviation is the reduction of aircraft acoustic emission and the incensement of engine fuel efficiency. The aircraft power plant including turbopropfan engines has high efficiency. However, acoustic emission level of an aircraft equipped with such power plant remains sufficiently high. The coaxial propfan is one of the main noise sources during takeoff and landing of the aircraft equipped with turbopropfan power plant.

The noise of coaxial propfan has complex structure. Primary factors which effect on a coaxial propfan noise level are rpm, geometrical dimensions of the first and the second propfan rows, blades' shape and material, aerodynamic blade loads, inlet air distortion of the first and the second propfan rows, and blade angle. Thus, variation of these factors may result in the propfan noise level decrease.

In the research the influence of rpm of the first and the second propfan rows is considered taking into account the retention of the total thrust and propfan power. As a base-case scenario the coaxial propfan was considered with the rpm of the first and the second prop rows equal to $n_1 = n_2 = 850$ rpm. Derived versions had the following characteristics:

- Version No.1 – $n_1 = 765.0$ rpm; $n_2 = 958.04$ rpm;
- Version No.2 – $n_1 = 935.0$ rpm; $n_2 = 741.97$ rpm.

The research was conducted using numerical experiment method. Picture 1 shows total noise pressure level change ΔL for investigated propfan versions.



Picture 1 Noise pressure level change ΔL when changing the rpm

The calculation results show that total noise pressure level is increased by 1.86 dB when increasing the second row rpm of the coaxial propfan. However, when decreasing the second row rpm and increasing the first row rpm (taking into account the retention of the total thrust and propfan power) the total noise pressure level is decreased by 1.075 dB.

АНАЛІЗ ЗМІНИ ЛІНІЙНИХ РОЗМІРІВ ІНСТРУМЕНТА ПРИ СВЕРДЛЕННІ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

У більшості застосувань головною вимогою до свердління отворів в композитах є його висока якість. Основна частина отворів в композитах – це кріпильні отвори під заклепки або болтові з'єднання різного ступеня точності. У багатьох випадках якість цих сполук визначає міцність або втомну міцність всього виробу в цілому. Тому операція свердління композитів повинна супроводжуватися мінімальною появою різних дефектів з мінімальною величиною і безпечною орієнтацією. Інтенсивність впливу різних композитів і вплив армування на знос інструменту вивчені досить мало. Є приватні експериментальні дослідження, які поки не дозволяють зробити будь-які однозначні висновки і отримати узагальнюючі закономірності. З природи властивостей наповнювача і сполучного можна припустити, що вплив фізико-механічних характеристик наповнювача на зношування інструменту, буде більш значним, ніж сполучного. Тому в дослідженнях з цього питання приділяється більше уваги впливу армування і кількості наповнювача на інтенсивність зносу, ніж сполучного.

Більшість проведених експериментів з визначення закономірностей зносу під час свердління полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) засновано на визначенні втрати ваги інструментом до і після роботи. При цьому зміна форми інструменту не визначається. Незважаючи на численні дані про те, що в більшості випадків найбільш інтенсивний знос спостерігається по задній поверхні інструменту, значні зміни форми спостерігаються по передній грані, у тому разі й заокруглення різальної крайки. Створення математичної моделі розподілу втрати ваги по ріжучих гранях інструменту і передбачення інтенсивності процесів, що протікають, є актуальним завданням і метою цього дослідження.

Однією зі складових дослідження є створення алгоритмів і математичного забезпечення штучних нейронних мереж для оцінювання силових факторів і якісного стану оброблених отворів під час свердління полімерних і «сендвічевих» композитів свердлами різної конструкції і заточки. В якості головного критерію розглядається контроль зносу інструменту, при якому порівнюються фактичні та прогнозовані значення зносу, що сигналізують про початок появи критичних погіршень якості отворів, що, в свою чергу, запобігає пошкодженню інструменту. В якості вихідних експериментальних даних використовуються експериментальні результати різних авторів, опубліковані у відкритому доступі.

В даний час можна сформулювати перелік основних проблем при отриманні отворів в деталях і конструкціях з ПКМ:

– низька продуктивність процесу механічної обробки свердлінням, обумовлена малою швидкістю різання і високим зносом інструменту, багаторазо-

вою перестановкою, перевіркою і закріпленням кондуктора, неприпустимістю застосування мастильно-охолоджуючих рідин на водній основі через вологовбирних властивостей ПКМ;

- низька теплопровідність композиційного матеріалу, що призводить до незадовільного відведення тепла із зони різання;

- інтенсивна абразивна дія волокон тканини армування пластику в комплексі з низькою теплопровідністю полімерної матриці;

- складність досягнення високої якості поверхні без сколів, розшарувань, розкошлячення скляних або вуглецевих волокон тканини пластику, і забезпечення необхідної шорсткості;

- високі пружні віджимання і усадка отворів після обробки;

- поява і розподіл пружних віджимань визначається напрямом армування (в різних напрямках пружні віджимання нерівномірні), щільністю волокон армування, характером розподілу фаз «волокно-наповнювач» і їх адгезійною міцністю. Це призводить до появи значних відхилень від заданої геометричної форми отвору, і навіть виключивши биття інструмента, діаметр обробленого отвору завжди більше діаметра свердла і, потім, з плином часу, відбувається зменшення діаметра – усадка отвору;

- істотно виражена анізотропія властивостей і відносно низький адгезійний зв'язок основи з матрицею;

- виділення дрібнодисперсних часток пластику в процесі обробки, шкідливих для здоров'я людини.

Підвищення продуктивності при виготовленні виробів необхідно реалізувати за рахунок застосування оптимальних режимів різання, нових конструкцій ріжучого інструменту, що в кінцевому результаті повинно привести до підвищення ефективності обробки, якості отворів та зниження собівартості. Запропоновано і реалізуються сьогодні такі основні шляхи вирішення цих проблем:

- при проектуванні технологічного процесу обробки композиційних матеріалів необхідно враховувати особливості обробки наповнювачів для більш ефективної реалізації процесу;

- передбачити підвищення швидкості різання і збільшення перетину зрізаного шару (або подачі осьового інструменту), а також розширення методу широколезвийної обробки;

- впровадження методів точіння з попереднім руйнуванням шару, що зрізується, кінематичних методів обробки (вібраційне різання під час свердління панелей);

- різання з додатковим технологічним покриттям (при точінні корпусів) і обробка терморізанням (охолодження азотом);

- пошук нових, сучасних методів обробки композиційних матеріалів (гідроабразивна обробка та ін.).

Для реалізації цих вимог поперед усього потрібне наступне: отримати аналітичні або напівемпіричні залежності для знаходження силових параметрів та розробити практичні рекомендації за технологічними параметрами механічної обробки, що дозволяють досягати необхідну якість виробів з ПКМ.

Харламов Ю. А.
Восточно-украинский национальный университет имени В. Даля,
г. Северодонецк, Украина
Клименко С. А.
Институт сверхтвердых материалов, НАНУ, г. Киев, Украина
Полонский Л. Г.
Житомирский технологический университет, г. Житомир, Украина

РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ НА ОСНОВЕ ГАЗОВОЙ ДЕТОНАЦИИ

Взрывные технологии находят все более широкое применение в мирных целях, например, в добывающих отраслях промышленности, в машиностроении для сварки и упрочнения и др. Однако использование твердых взрывчатых веществ (ВВ) ограничено, прежде всего, по требованиям безопасности. Поэтому все возрастающее внимание вызывает использование более безопасного и удобного источника энергии в виде газовой детонации (ГД). Уровень давлений, температур и скоростей, развиваемых за детонационными или близкими к ним по интенсивности ударными волнами в газах, а также импульсный характер воздействия указанных факторов, определяют большие потенциальные возможности их технического и технологического использования. Целью данной работы является определение, систематизация и анализ основных тенденций развития и разработки детонационно-газовых технологий и устройств в мире и Украине.

Повышение эффективности прямого сжигания горючих играет важную роль в развитии современной экономики. ГД термодинамически является самым эффективным способом сжигания топлива, что впервые показал академик Я. Б. Зельдович. Это обуславливает разработку, исследование и все более широкое применение разнообразных технологий и технических устройств с использованием управляемой ГД. Проведена систематизация и обзор научных публикаций и патентов отечественных и зарубежных ученых по практическому применению ГД в различных отраслях науки и техники. Ряд приоритетных разработок по технологическому применению ГД в машиностроении выполнены в Украине. Рассмотрим применение ГД в отраслях экономики.

Энергетика и двигатели. Нагревательные устройства импульсно-детонационного горения газо-воздушной смеси могут обеспечить значительную экономию горючего и снижение выхода вредных веществ. Семикратное увеличение скорости истечения продуктов горения повышает теплопередачу от продуктов детонации к теплоносителю из-за резкого увеличения конвективной составляющей.

Импульсная очистка конвективных поверхностей нагрева от золовых отложений выхлопами продуктов ГД обеспечивает повышение эффективности теплообмена и работы паровых и водогрейных котлов, технологических агрегатов, сжигающих различные виды жидкого и твердого топлива, экономию топ-

лива. Золотые отложения из дымовых газов на поверхностях нагрева снижают экономичность работы агрегатов (уменьшают КПД на 2÷3%). Газоимпульсная очистка позволяет поддерживать чистоту поверхностей нагрева и значения КПД агрегатов, близкое к расчетному.

Импульсные детонационные двигатели (ИДД) активно разрабатываются в США и РФ, масштабные работы выполняются в компаниях Pratt & Whitney и General Electric. Силовые установки летательных аппаратов, основанные на принципе газовой детонации, обеспечат экономию топлива до 30% при числе Маха полета 2,5 и до 20% при числе Маха 3, а также увеличение дальности полета аппаратов с такими двигателями или замену значительной части топлива на полезную нагрузку. Разрабатываются энергетические установки на детонации природного газа, в т. ч. силовые установки газоперекачивающих агрегатов для магистральных газопроводов для снижения собственного потребления природного газа газотранспортными компаниями.

Нефтегазовая промышленность. Детонационно-газовое напыление (ДГН) упрочняющих покрытий применяют для повышения абразивной стойкости бурового инструмента (шарошки трехшарошечные и алмазные буровые долота), для восстановления и упрочнения деталей оборудования. Изготовленные с помощью ДГН многослойные кумулятивные облицовки для перфорации нефте- и газодобывающих скважин имеют повышенную на 25 ... 35% пробивную способность. Прорабатываются технические решения по использованию ГД для воздействия на трещиноватый пласт-коллектор углеводородов (нефтяные скважины) для увеличения конечной нефтеотдачи пластов и дебита скважин и для повышения надежности розжига газовых горелок факельных установок высотного и наземного типа для сжигания сбросных газов и многофазных систем промышленных стоков на газовых и нефтяных месторождениях и на предприятиях нефтяной, химической и нефтехимической отраслей промышленности.

Горная промышленность. Термодинамические буры для разрушения крепких горных пород, использующие режим ГД, обеспечивают увеличение в 2–2,5 раза выхода блочного камня (гранитов), причем повышенного его качества. Проводились работы по созданию бульдозеров с газоимпульсным рабочим органом. Для измельчения материалов, в частности для тонкого и сверхтонкого помола, например, пигментов, разрабатываются газодетонационные мельницы.

Металлургическая промышленность. Импульсно-детонационные газовые горелки для промышленных печей и теплоэнергетических установок обеспечивают снижение удельного расхода природного газа не менее чем на 8–10%; увеличение скорости и, соответственно, снижение времени процесса нагрева; уменьшение потерь на окисление; оптимизируют использование производственных площадей, увеличивают срока службы горелок, уменьшают затраты на экологические мероприятия и пр. Для разделения на части сортов горячих стальных заготовок на МНЛЗ, в прокатном производстве внедрены машины импульсной резки, использующие приводы с импульсным выгоранием горючей смеси.

Химическая и нефтехимическая промышленность. Газофазный детонационный синтез применяют для получения поликристаллического и наноразмерного диоксида титана; получения наноглобулярного углерода, в т. ч. прекурсоров для производства фуллеренов, углеродных нанотрубок, графенов, карбинов и пр. *Обработка дисперсных частиц газовой детонацией* применяется для получения оксидов металлов из их солей, перестройки кристаллической структуры металлов или выпаривания жидкости из растворов для получения твердых веществ или твердых растворов, получения аморфных и быстрозакаленных порошков, сфероидизации и восстановления порошков оксидов, получение ацетиленовой сажи; высокодисперсного порошка цирконат-титаната свинца, широко используемого для производства радиокомпонентов на основе электронной керамики и пр.).

Машиностроение является ведущей отраслью по разработке и использованию детонационно-газовых технологий и устройств. Это, прежде всего, ДГН защитных и функциональных покрытий, в т. ч. для балансировки деталей, упрочнения шлифовальных кругов, восстановления изношенных деталей и пр. Высокоскоростные импульсные энергоприводы применяют в оборудовании для выполнения операций свободнойковки или горячей штамповки деталей за один или несколько переходов, изготовления заготовок и деталей из трудно деформируемых материалов, импульсной резки для разделения холодного проката ударом коротких ножей с большим углом клиновидности для получения заготовок из пластичных сталей, а также относительно хрупких сталей с повышенным содержанием углерода, марганца и т.п., получения заготовок для дальнейшей прокатки, облойной штамповки длинномерных изделий, а также и для штамповки в торец, листовой штамповки, брикетирования сыпучих материалов, получение брикетов высокой прочности и плотности для переплава, формирование изделий, например, из стружки чёрных металлов вкладышей-пробок для защиты дна глуходонных изложниц при заливке в них стали, расходуемых электродов из титановой губки и пр. Эффективно применение поверхностной термической обработки с помощью импульсных плазменно-детонационных генераторов. ГД применяют для удаления заусенцев и очистки поверхностей (термохимического и термоимпульсного), притупление деталей произвольным радиусом, размерного скругления, очистки от технологических загрязнений и пр.

Строительство и производство строительных материалов. Уплотнение грунта околосокажинного пространства воздействием ГД повышает несущую способность буронабивных свай более чем в два раза. Бетоны, уплотненные ГД, обладают улучшенными характеристиками, прирост их прочности достигает 20–40%. Известны успешные опыты по использованию ГД для разрушения и разработки грунта, его перемещения, укладки и уплотнения. Разрабатываются технические решения по использованию ГД для обрушения сооружений – сноса ветхих зданий, сооружений, расчистка завалов и пр.

Сельское и лесное хозяйство. ГД позволяет обрабатывать поля с уже проросшими семенами, при этом не повреждаются молодые растения, всхо-

жесть семян хлопчатника и кукурузы возрастает до 15% и сроки полной всхожести уменьшаются на 2-3 дня; сроки созревания хлопчатника сокращались на 10–14 дней, а урожайность возрастала на 10%. Устройства на базе ГД применяют для борьбы с вредителями и сорняками, сбора хлопка, предпосевной обработки семян и умерщвления куколок тутового шелкопряда, отпугивания птиц и диких животных для защиты виноградников, садов, рисовых и зерновых культур, а также в аэропортах (для предотвращения попадания птиц в двигатели самолетов) и рыбных питомниках (для отпугивания птиц от воды).

Технологии на основе ГД применяют и в других сферах – в геологии и разведке недр, ЖКХ, при ликвидации чрезвычайных ситуаций, военном деле и даже в здравоохранении.

Детонационно-газовые технологии и устройства имеют перспективы дальнейшего развития и могут быть использованы в качестве основы современных инновационных проектов.

Харламов Ю. А.

Восточно-украинский национальный университет имени В. Даля,
г. Северодонецк, Украина

ПОЛУЧЕНИЕ МЕТАЛЛОКСИДНЫХ ПОКРЫТИЙ ПРИ ГОРЕНИИ ЧАСТИЦ АЛЮМИНИЯ

Для ряда технических применений перспективно применение алюмокерамических покрытий, получаемых методами газотермического напыления. Такие покрытия получают плазменным напылением алюминиевой порошковой проволокой, в которой керамический сердечник располагается в алюминиевой оболочке или порошками, плакированными алюминием. Однако эти методы получения покрытий отличаются высокой энерго- и трудоемкостью, требуют организации производства специальных расходных материалов, что обуславливает поиск и разработку более эффективных методов получения алюмотермических и других видов композиционных покрытий. Проанализирована возможность получения металлооксидных покрытий методами газотермического напыления порошками чистых металлов в режиме горения и экспериментальная проверка получения алюмокерамических покрытий методом детонационно-газового напыления порошками алюминия. Известно применение дисперсных порошков алюминия в качестве источника энергии для двигателей, а также исходного материала для синтеза нанодисперсных порошков оксида алюминия. В обоих случаях применение порошкообразного алюминия обусловлено процессом экзотермической реакции окисления в турбулентном потоке активного газа. Это предопределяет возможность использования горения металлов при газотермическом напылении для получения металлооксидных и оксидных покрытий.

Эксперименты по напылению опытных образцов выполняли на детонационно-газовой установке ДНП-3 с использованием ацетилено-кислородной смеси.

В предварительных исследованиях в качестве исходных порошков использовали алюминиевую пудру, сферический порошок алюминия с размером частиц 100 – 250 мкм, а также порошки алюминия со средним размером частиц 40 мкм.

При напылении порошками алюминиевой пудры по мере увеличения относительного содержания кислорода в детонирующей смеси) количество α - Al_2O_3 покрытия несколько увеличивается, о чем свидетельствует увеличение интенсивности линий этой фазы на рентгенограммах, а содержание γ - Al_2O_3 возрастает. В покрытиях, полученных при максимальном содержании кислорода, судя по соотношению интенсивностей линий γ - Al_2O_3 , α - Al_2O_3 и Al оксидной фазы больше, чем металлической. Основная составляющая этого покрытия фаза γ - Al_2O_3 , интенсивность линий Al и α - Al_2O_3 значительно меньше.

Основной фазой покрытия из крупнодисперсного порошка Al ($d_p = 100 \dots 250$ мкм) является Al. При максимальном содержании ацетилена на рентгенограммах покрытий имеются линии α - Al_2O_3 и γ - Al_2O_3 , однако интенсивность их на порядок ниже, чем линий Al. Также, как и при напылении алюминиевой пудрой, содержание γ - Al_2O_3 по сравнению с α - Al_2O_3 в покрытиях возрастает с увеличением содержания кислорода.

При микроскопическом исследовании покрытий из порошка Al с размером частиц около 40 мкм обнаружено, что они содержат участки с различной микротвердостью ($P = 0,2$ Н). Микротвердость светлых участков колеблется в пределах 508 – 928 МПа, серых 1028 – 1770 МПа, темных 1770 – 1892 МПа. По данным рентгеноструктурного анализа в покрытии содержится ~20% α - Al_2O_3 , а также γ - Al_2O_3 .

Горение полидисперсных частиц алюминия в кислородсодержащей среде сопровождается протеканием комплекса физико-химических явлений: испарение и окисление алюминия на поверхности частиц; испарение (конденсация) оксида в объеме потока и др. Условие получения оксидных покрытий (при полном сгорания частиц Al) можно записать в виде:

$$\left(L + l_n - l - \frac{l_{об}}{2} \right) \geq \bar{v} \frac{cd_p^{1,8}}{X_{eff} p^{0,1} T^{0,2}}$$

где L – длина детонационной камеры сгорания; l_n – дистанция напыления; l – расстояние между закрытым торцом камеры сгорания и порошковым облачком; $l_{об}$ – длина порошкового облачка; d_p – диаметр частиц, мкм; a_k^0 – концентрация кислорода; \bar{v} – средняя скорость движения частиц; X_{eff} – эффективная концентрация окислителя, $X_{eff} = C_{O_2} + 0.6C_{H_2O} + 0.22C_{CO_2}$, p дано в атмосферах, T – в градусах Кельвина, d_p – в микрометрах, $c = 7,35 \cdot 10^{-6}$ – константа. Это выражение действительно только для микронных и более крупных частиц, которые горят в контролируемых диффузией условиях. Полученные результаты подтверждают целесообразность изучения и разработки способов и устройств для практического использования в промышленных целях горения металлических частиц в потоках продуктов газовой детонации.

Создание специализированных детонационно-газовых установок, использующих горение металлических частиц, требует решения ряда задач, связанных

с организацией рабочего процесса в камере сгорания. В первую очередь это обеспечение надёжного воспламенения металлических частиц потоком продуктов газовой детонации, зажигания облачка металлогазовой смеси с сохранением детонационного режима распространения горения, стабилизации эффективного процесса горения до полного выгорания частиц и формирования напылительной струи, обеспечивающей надежное сцепление частиц с напыляемой поверхностью при образовании покрытий.

Создание детонационно-газовых установок для напыления порошками металлов в режиме горения требует решения комплекса проблем. Прежде всего это разработка систем подачи исходных порошков активных металлов в детонационную камеру сгорания, а более конкретно, в начальный участок зоны реакции. Особую трудность представляет подача мелкодисперсных порошков.

Детонационная камера сгорания (ДКС) должна обеспечить смешение детонирующей смеси газов с исходным порошком, детонационный режим горения газовой смеси и газопорошковой смеси с горением частиц порошка и обеспечение требуемого коэффициента полноты их сгорания

$$K_{\text{ПСГ}} = \frac{M_{\text{ОКС}}}{\beta M_{\text{МЕ}}},$$

где $M_{\text{ОКС}}$ – масса образующихся оксидов; $M_{\text{МЕ}}$ – масса распыленных порошков металла; β – массовый стехиометрический коэффициент реакции окисления (отношение массы образующихся оксидов к массе сгоревшего металла), для реакции Al с O_2 $\beta = 1,89$.

ДКС должна обеспечить также возможность дополнительной подачи вторичных кислородсодержащих газов в зону горения металлических частиц для требуемой степени их выгорания. Возможно получение оксиметаллических и оксидных покрытий из порошков металлов и сплавов по специальным схемам детонационно - газового напыления.

Организуя ту или иную схему горения частиц Al и прерывая ее на том или ином этапе, можно обеспечить различное состояние частиц в момент соударения с поверхностью детали, а тем самым фиксировать содержание оксидной фазы в покрытии и характер ее распределения. При нагреве свыше $1000\text{ }^\circ\text{C}$ наблюдается превращение $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ в $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$. При затвердевании жидких капель в условиях значительного переохлаждения образуется γ -, а не $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$. При ДГНП высокая скорость частиц не ограничивает возможности формирования плотной структуры и образования прочных адгезионных и когезионных связей между частицами, в т.ч. и между образовавшимися оксидными включениями.

Таким образом, показана возможность получения оксиметаллических покрытий из исходных порошков металлов. Для создания промышленных установок потребуется разработка математических моделей каждого этапа переработки металлического порошка: транспортирования в зону реакции, воспламенения и сгорания, охлаждения и отбора целевого продукта из продуктов сгорания (осаждения покрытия). Необходимо также изучить возможность получения наноструктурных составляющих в газотермических покрытиях, получаемых в режиме горения металлических частиц.

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА ПЛАЗМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОЦЕССОВ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Повышению эффективности производственной деятельности служит создание комплексов технологических, транспортных, энергетических и информационных машин на основе новых аддитивных технологий и повышения производительности уже используемых. Разработка технологических комплексов начинается с анализа принципиальной схемы мехатронной системы, имеющей два контура управления, посредством прямой связи с внешней средой и обратной связи по результатам диагностики состояния объекта управления.

Выбор потоков энергии и материалов для послойного синтеза изделия осуществляется в зависимости от свойств материалов или их композиций, геометрических характеристик поверхностей, их точности. При этом особое внимание уделяется фокусировке или распределению потоков в пространстве и во времени. Анализ достижимости точности формирования поверхностей с позиций влияния плотности мощности применяемых концентрированных потоков энергии, позволяет рекомендовать ряд источников энергии для использования в раскройном оборудовании.

Практически непрерывный ряд по плотности мощности обеспечивают следующие технологические источники: газовое пламя и плазменная дуга; сварочная дуга и искровые разряды; непрерывный и импульсно-периодический лазеры. Особый интерес вызывают потоки абразивных частиц, реализующие при взаимодействии высоконапорной струи с поверхностью, процессы аналогичные изнашиванию и выкрашиванию при интенсивном трении и приработке.

Это обусловило, в зависимости от решаемых задач, достаточно активное применение в раскройном оборудовании: газопламенных, плазменных, электроискровых (эрозионных), лазерных источников энергии. Выбор источников для раскройного оборудования определяется как толщиной и материалом листовых заготовок, так и точностью обработки.

Мехатронный технологический комплекс реализует прямую связь при управлении потоком энергии или материала, послойно синтезирующего изделие, а обратную связь по состоянию формируемого слоя или обрабатываемой поверхности сформированного изделия. Рассматривается граф кортежей различных видов обработки проектируемого технологического оборудования, и анализируются налагаемые связи: механические и электрические (привода и источники), электронные и программные (средства контроля и управления) в мехатронной системе. В результате привод источника реализован в качестве многокоординатного манипулятора, а сам комплекс и его средства оснащения представляют собой мехатронную технологическую систему (рис. 1). Данный технологический комплекс позволяет производить как резку, так и последую-

щую послойную листовую сборку готового изделия посредством сварки по контуру плазменной сварочной головкой фирмы Kjellberg (рис. 2).

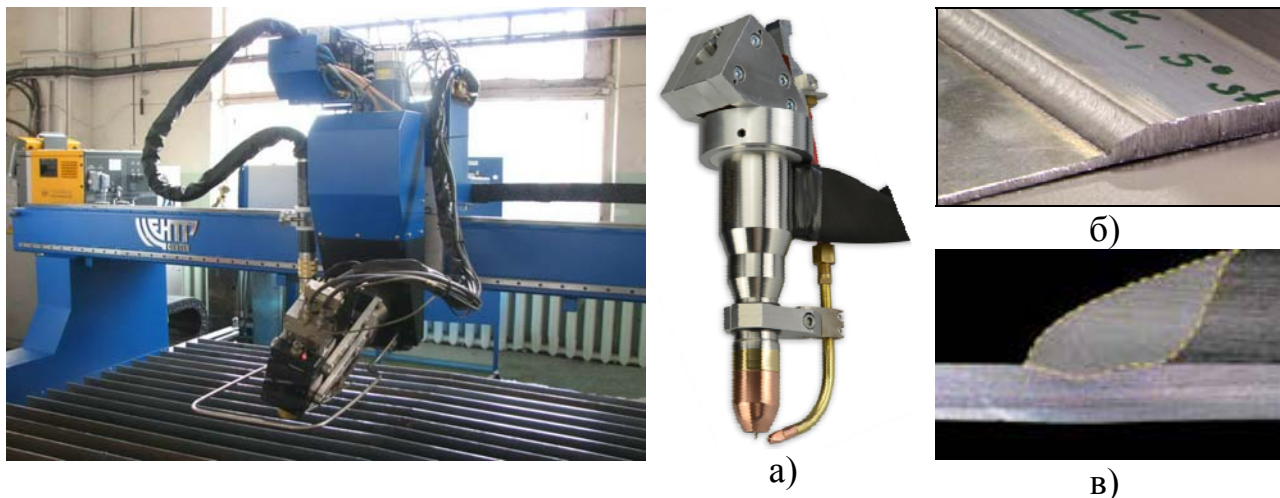


Рисунок 1 – Технологический комплекс плазменного раскроя материала с манипулятором для резки и разделки кромок заготовок под углом

Рисунок 2 – Оборудование для плазменной сварки: а) сварочная головка Kjellberg; б) послойная сварка изделия; в) сечение сварочного шва (информация с сайта www.kjellberg.de)

Для повышения качества поверхности формируемого изделия и снижения длительности процессов макетирования и производства с позиций видов и форм заготовок применяемых материалов рассмотрено рациональное разбиение на слои, с учетом оценки качества поверхности, зависящей от формы изделия. Анализ разбиения в различных методах послойного синтеза обеспечивает выбор наиболее рациональных процессов макетирования и производства конкретного изделия. Схема алгоритма разбиения изделия на слои состоит из блоков:

1. Компьютерная модель изделия, включающая его геометрическое описание, определение критериев оптимальности конструкции путем выявления «мертвых» зон для потоков энергии или вещества, в которых достижение требуемых параметров качества поверхности проблематично.

2. Выделение слоя максимально возможной толщины h_{max} с проверкой и корректировкой слоя, если он является последним. При этом рассматривается разбивка на слои одинаковой толщины и разными углами наклона кромок, вписанных в геометрический профиль и неравномерной толщины различных слоев. Разбивка непосредственно влияет на геометрические параметры качества поверхности (R_{max} , R_z , R_a и др.).

3. Оценка рельефа поверхности R_{max} по периметру слоя осуществляется путем проверки параметров качества поверхности, получаемых в текущем слое.

4. Корректировка путем изменения толщины слоя с использованием коэффициентов понижения α производится при недопустимых параметрах рельефа поверхности (например: $\alpha = 3/4, 1/2, 1/4, \dots$ - для LOM (*Laminated Object Manufacturing*) - технологии; $\alpha = 0,7 \dots 0,8$ для SLS (*Selective Laser Sintering*) - технологии).

5. Присоединение слоя к предыдущему или подложке сопровождается проверкой сцепления текущего слоя с предыдущим по размеру площади перекрытия или скрепления слоев.

6. Проверка завершения синтеза изделия заканчивает цикл послойного «выращивания» и подсчитывает программными средствами общее количество слоев изделия.

7. Верификация модели - завершающий этап компьютерного сопоставления «выращенной» модели и исходной.

Расчет общего количества слоев (блок 6) позволяет оценить эффективность процесса, выбираемого для послойного синтеза изделия заданной формы одним из предлагаемых методов. Верификация модели послойного синтеза (блок 7) дает возможность проверить удовлетворение требований к геометрическим параметрам качества сложнопрофильных поверхностей, заложенных в компьютерную модель изделия (блок 1). Регулирование толщины слоя (блок 4) и угла «разделки» его кромок (блок 2) позволяет управлять геометрическими параметрами качества сложнопрофильной поверхности (блок 3) и вносить корректировки в начальный выбор метода аддитивного производства. Проверка сцепления слоев изделия в ряде случаев требует, помимо определения площади их перекрытия (блок 5), также анализа рельефа плоской или сложнопрофильной поверхности. Последний вариант обычно используется при нанесении оболочек или покрытий на послойно «выращенное» изделие.

Таким образом, анализ методов получения деталей машин без формообразующей оснастки показал, что процессы аддитивного производства требуют, кроме изучения технологии получения изделия из конструкционных материалов, также разработки информационных технологий их моделирования. Для технологии послойного формирования из листового материала, с целью обеспечения высокой точности геометрической формы, рекомендован алгоритм разбиения изделия на слои различной толщины, учитывающий разделку их кромок под углом. Рассмотрено компьютерное проектирование процессов листового раскроя и послойной сборки, на примерах формирования изделий сложной геометрии, с учетом использования 5-координатного манипулятора в автоматизированном раскройном комплексе.

Швагірев П. А., Прокопович І. В. Костіна М. М.

Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЄДНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ ВИТРАТ ПОБУТОВОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Для обліку споживання побутової електроенергії використовують лічильники. З розвитком новітніх технологій навіть побутові лічильники потребують відновлення та покращення характеристик, щоб вимірювати витрати електроенергії максимально точно, що в умовах сучасного ринку споживання електроенергії

нергії є актуальним. Метою проведення досліджень було довести вплив різних чинників при перевірці на розрахунки погрішності приладу. При виконанні досліджень було розглянуто індуктивні, електромеханічні та електронні лічильники для порівняння їх метрологічних характеристик. Основна відносна похибка δ_B лічильників при зміні струму не перевищує межу:

– при активному навантаженні:

$$\delta_B = \pm 1,5 \% \text{ при } 0,05 I_{\text{ном}} \leq I < 0,1 I_{\text{ном}}, \cos\varphi = 1;$$

$$\delta_B = \pm 1,0 \% \text{ при } 0,1 I_{\text{ном}} \leq I < 0,1 I_{\text{макс}}, \cos\varphi = 1;$$

– при індуктивному навантаженні:

$$\delta_B = \pm 1,5 \% \text{ при } 0,1 I_{\text{ном}} \leq I < 0,2 I_{\text{ном}}, \cos\varphi = 0,5;$$

$$\delta_B = \pm 1,0 \% \text{ при } 0,2 I_{\text{ном}} \leq I < I_{\text{макс}}, \cos\varphi = 0,5;$$

– при ємнісному навантаженні:

$$\delta_B = \pm 1,5 \% \text{ при } 0,1 I_{\text{ном}} \leq I < 0,2 I_{\text{ном}}, \cos\varphi = 0,8;$$

$$\delta_B = \pm 1,0 \% \text{ при } 0,2 I_{\text{ном}} \leq I < I_{\text{макс}}, \cos\varphi = 0,8,$$

де I – поточне значення сили струму, А; $I_{\text{ном}}$ – номінальне значення сили струму, А; $I_{\text{макс}}$ – максимальне значення сили струму; $\cos\varphi$ – коефіцієнт потужності.

Перевірку функціонування лічильника проводили на вимірювальній установці ЦУ6800. При підключенні пістрію до вимірювальної установки встановлювали напругу 230 В та струм 20 А і проводили 50 вимірів по 15 хвилин кожне. Визначення основної похибки при симетричному навантаженні проводили при номінальній напрузі при значеннях параметрів симетричного навантаження, вказаних в табл. 1. Результат перевірки вважають позитивним, якщо основна відносна погрішність, при базовому струмі I_0 не перевищує допустимих значень, вказаних в табл. 1.

Таблиця 1 – Значення параметрів симетричного навантаження

Значення сили струму, А	Коефіцієнт потужності	Межа основної похибки, що допускається, для першого класу точності, %
$0,1 I_0 \leq I < I_{\text{макс}}$	1	$\pm 2,0$
$0,2 I_0 \leq I < I_{\text{макс}}$	0,5 (інд.)	$\pm 2,0$

Визначення основної похибки при однофазному навантаженні робити для прямого напрямку енергії при номінальній напрузі і значеннях струму в одній з фаз приведених в табл. 2. Для лічильників першого класу точності (ГОСТ 30207-94) результат перевірки в режимі несиметричного навантаження вважають позитивним, якщо різниця між значеннями погрішності, вираженої у відсотках, при однофазному і симетричному багатofазному навантаженні при базовому струмі I_0 та коефіцієнті потужності, рівному 1, не перевищує 1,5 %.

Таблиця 2 – Значення параметрів несиметричного навантаження

Значення сили струму, А	Коефіцієнт потужності	Межа основної похибки, що допускається, для першого класу точності, %
$0,1 I_0 \leq I < I_{\text{макс}}$	1	$\pm 2,0$
$0,2 I_0 \leq I < I_{\text{макс}}$	0,5 (інд.)	$\pm 2,0$

Для розрахунку похибки перевірки було обрано сучасний лічильник НІК 2102-03 Е2Т. Перевірку відсутності самохода лічильників проводили при симетричному навантаженні 115 % від номінального ($U_p = 1,15U_{ном}$) та при відсутності струму в послідовному ланцюзі при нормальних умовах застосування, тобто згідно вимог ДСТУ EN 62053-21 $U_p = 265$ В при $U_{ном} = 230$ В. Поріг чутливості лічильника оцінювали при симетричному навантаженні 0,1 % та 0,4 % від номінального струму при $\cos\phi=1$ (для активної енергії) і $\sin\phi=1$ (для реактивної енергії). Для перевірки функціонування лічильника застосовували вимірювальну установку ЦУ6800. Випробування проводили при напрузі 230 В та силі струму 20 А. Було проведено 50 вимірів по 15 хвилин кожен [3].

Результаті опрацювання одержаних даних наведені на рис. 1 – рис. 4.

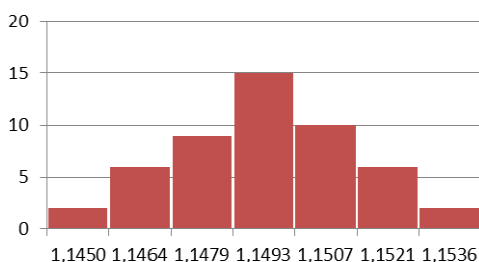


Рис. 1 – Гістограма і полігон частот

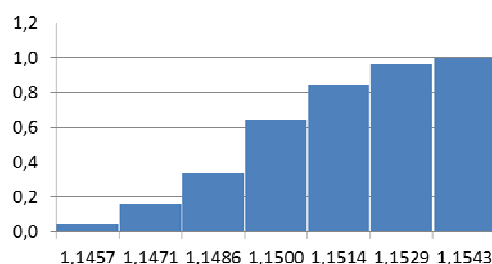


Рис. 3 – Кумулятивна крива

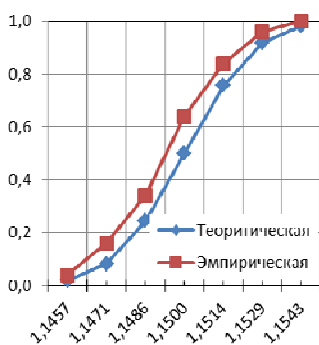


Рис. 2 – Криві інтегральної функції розподілу

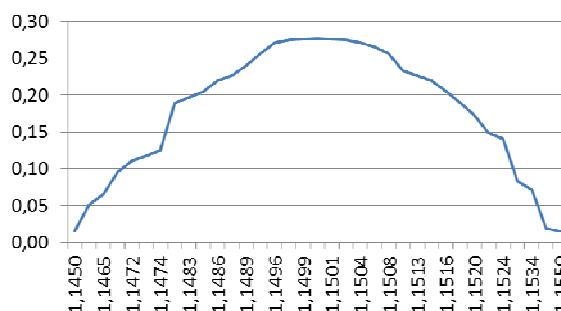


Рис. 4 – Графік закону нормального розподілу

Таким чином проведено аналіз різних засобів виміру побутової електроенергії та принципів перетворення даних. При проведенні дослідження були проведені розрахунки похибки на підставі статистичних ($W=1,1500\pm 0,0021$ кВт/р) даних та розрахунки невизначеності похибки ($Y=1,1500\pm 0,0110$ кВт/г).

При проведенні першого розрахунку було визначено середньоквадратичне відхилення та перевірено вибірку вимірів на нормальний розподіл завдяки критерію Колмогорова. При проведенні другого розрахунку знайдено невизначеність типу А – випадкова похибка, та невизначеність типу Б – систематична похибка.

Аналіз результатів досліджень доводить, що розрахунок невизначеності точніше визначає похибку виміру. Це обумовлено тим, що при розрахунку невизначеності враховують конкретні лабораторні умови перевірки приладу.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Анділахай В. О., Новіков Д. Ф., Новіков Ф. В., Анділахай О. О.</i> ОБРОБКА ВНУТРІШНЬОЇ ПОВЕРХНІ ЦИЛИНДРІВ	3
<i>Бєломитцев А. С., Дружинін Є. І., Морачковський О. К.</i> КРУТИЛЬНІ КОЛИВАННЯ СИЛОВИХ ПЕРЕДАЧ З КАРДАННИМ ВАЛОМ	7
<i>Бондаренко Ю. К., Логінова Ю. В., Артюх К. О.</i> АНАЛІЗ ВИМОГ МІЖНАРОДНИХ НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТІВ З МЕТОЮ СТВОРЕННЯ СТРАТЕГІЇ БЕЗПЕРЕРВНОСТІ ВІТЧИЗНЯ- НОГО ЗВАРЮВАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЙОГО ДІЄЗДАТНОСТІ І КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ	10
<i>Бондаренко Ю. Ю., Андриенко В. А., Бондаренко М. А.</i> ОСОБЕННОСТИ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫМ ДИСЦИПЛИНАМ В ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ	13
<i>Борисенко О. М., Логвінков С. М., Івашура А. А.</i> НАНОТЕХНОЛОГІЇ У ВИРОБНИЦТВІ ВУГЛЕЦЕВОВМІСНИХ ВОГНЕТРИВІВ	17
<i>Бурлаков В. И.</i> ПРОЦЕС ВІБРОМАГНІТНОАБРАЗИВНОЇ ОБРОБКИ ТА ЙОГО ЗАЛЕЖНІСТЬ ВІД ДЕЯКИХ ПАРАМЕТРІВ	18
<i>Бурыкин В.В.</i> ПОВЫШЕНИЕ ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ ВОССТАНОВЛЕННЫХ НАПЛАВКОЙ	20
<i>Буюклі І. М., Колеснік В. М., Шпак Л. В.</i> ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ХОНІНГУВАННЯ ОТВОРІВ	24
<i>Вакуленко І. А., Сагер Л. Ю.</i> ОКРЕМІ ПИТАННЯ ПЛАНОВОГО РОЗГОРТАННЯ «РОЗУМНИХ» ЕНЕРГЕТИЧНИХ МЕРЕЖ ЯК ІННОВАЦІЙНОЇ СКЛАДОВОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ПОЛІТИКИ УКРАЇНИ	28
<i>Виговський Г. М., Громовий О. А., Головня В. Д.</i> ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ОБРОБКИ ПЛОСКИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ	30
<i>Внукова Н. М.</i> ФІНАНСОВЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОЗВИТКУ ІННОВАЦІЙНОГО ПІДПРИЄМСТВА	32
<i>Вовченко А. И., Демиденко Л. Ю., Онацкая Н. А.</i> РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ РАЗРЯДНОИМПУЛЬСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ, СПЛАВОВ И ИХ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ	34

<i>Гусарев В. С.</i> ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ В ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ	37
<i>Гуцаленко Ю. Г., Пупань Л. І., Севидова О. К.</i> МОРФОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКРИТТІВ АЛЮМІНІЄВОГО СПЛАВУ АК6 ПІСЛЯ МІКРОДУГОВОГО ОКСИДУВАННЯ	40
<i>Дерев'янченко О. Г., Фомін О. О., Павленко В. Д.</i> ПИТАННЯ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ АВТОМАТИЗОВАНОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ СТРУКТУР МАТЕРІАЛІВ	43
<i>Дик С. К., Хейфец І. М., Алексеева Т. А.</i> КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ МНОГОФАКТОРНЫМИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ	45
<i>Дитиненко С. А., Новиков Ф. В.</i> МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ ПРИ АЛМАЗНОМ ШЛИФОВАНИИ	48
<i>Жовтобрюх В. А.</i> КРИОГЕННАЯ ОБРАБОТКА – НОВОЕ СЛОВО В АВИАЦИОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	55
<i>Жовтобрюх В. А.</i> ЧЕТВЕРТАЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ РЕВОЛЮЦИЯ СТРЕМИТЕЛЬНО ВХОДИТ В НАШУ ЖИЗНЬ	58
<i>Івашура А. А., Борисенко О. М.</i> ЗЕЛЕНЕ МИСЛЕННЯ ЯК ОСНОВА ЕКОЛОГІЗАЦІЇ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ	66
<i>Клименко С. А., Мельничук Ю. А., Копейкина М. Ю., Манохин А. С., Клименко С. Ан., Чумак А. А.</i> РЕЖУЩИЕ ИНСТРУМЕНТЫ С КОМПОЗИТАМИ НА ОСНОВЕ КУБИЧЕСКОГО НИТРИДА БОРА ПРОИЗВОДСТВА ИСМ ИМЕНИ В. Н. БАКУЛЯ НАН УКРАИНЫ	69
<i>Колмаков А. Г., Кобелева Л. И., Болотова Л. К., Калашников И. Е., Михеев Р. С., Клименко С. А., Копейкина М. Ю., Хейфец М. Л.</i> СТРУКТУРА И СВОЙСТВА АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ СПЛАВА БАББИТА Б83, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ДУГОВОЙ НАПЛАВКИ	71
<i>Коломиец В. В., Ридный Р. В., Антощенков Р. В., Богданович С. А.</i> ОБРАБОТКА НЕМЕТАЛЛОВ И МЕТАЛЛОКЕРАМИКИ РЕЗЦАМИ ИЗ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ	73
<i>Кремнев Г. П., Стрельбицкий В. В., Мохов Е. В., Бердичевский Е. Г.</i> К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ СБОРОЧНОЙ ЕДИНИЦЫ НА ЭТАПЕ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ	76

<i>Крюк А. Г.</i> НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ДОВОДОЧНОГО ШЛИФОВАНИЯ СВОБОДНЫМ АБРАЗИВОМ	79
<i>Кусакин Н. А., Майстер А. И., Хейфец М. Л.</i> ПРОЦЕССЫ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА МНОГОПРОФИЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ	84
<i>Лавінський Д. В., Морачковський О. К.</i> РОЗРАХУНКИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ТА ТЕПЛОВИХ ПОЛІВ У ТЕХНОЛГІЧНИХ СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ОБРОБКИ	87
<i>Лавріненко В. І.</i> ДО ПИТАННЯ ПОПУЛЯРИЗАЦІЇ НАУКОВИХ РОЗРОБОК У НАПРЯМКУ ЗАСТОСУВАННЯ НАДТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ У ПРОМИСЛОВОСТІ	90
<i>Лавриненко В. И., Полторацкий В. Г., Пасичный О. О., Солод В. Ю.</i> ОСОБЕННОСТИ АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ КЕРАМИК – $Si_3N_4+B_4C$	92
<i>Ларшин В. П., Заїка О. І., Ліщенко Н. В.</i> ВПЛИВ ПРУЖНИХ ДЕФОРМАЦІЙ ЗАГОТОВКИ НА РІВЕНЬ ВІБРАЦІЙНОГО І ЗВУКОВОГО СИГНАЛІВ	95
<i>Лебедев В. Г., Клименко Н.Н., Чумаченко Т.В., Фроленкова О.В., Николаева Т.В.</i> СНИЖЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ ПОЯВЛЕНИЯ ПРИЖОГОВ ЗАКАЛКИ ПРИ ШЛИФОВАНИИ ЗАКАЛЕННЫХ СТАЛЕЙ	97
<i>Levchenko V. A., Ying P., Huang M., Wu J., Zhang P.</i> EFFECT OF RECEIVING RESOURCE-SAVING COATINGS WITH USE OF SYMMETRIC STRUCTURES	100
<i>Ліщенко Н. В., Ларшин В. П., Дорожкін О. О.</i> ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ ДИНАМІКИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ РІЗАННЯ	103
<i>Марчук В. І., Марчук І. В., Олексин М. В., Сачковська Л. О., Джугурян Т. Г.</i> ДО ВИЗНАЧЕННЯ ПОХОДЖЕННЯ ТЕПЛОВИХ ДЕФЕКТІВ ПІД ЧАС БЕЗЦЕНТРОВОГО ШЛІФУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПОВЕРХОНЬ ОБЕРТАННЯ	105
<i>Мироненко А. Л., Третьак Т. Е., Мироненко С. А.</i> МЕТОДИКА ПОЛУЧЕНИЯ СОПРЯГАЕМЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЗУБЬЕВ НЕЭВОЛЬВЕНТНЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС	107
<i>Моргун Ю. Б., Прокопович И. В., Оборский Г. А., Моргун Б. А., Костина М. М.</i> ЗОНД ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТОКОПРОВОДЯЩИХ ТЕЛ	109

<i>Неженцев О. Б.</i> СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ВАНТАЖОПІДЪЙМАЛЬНИХ КРАНІВ	112
<i>Новиков Г. В.</i> НОВЫЕ МОНОГРАФИИ О СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ МАШИНОСТРОЕНИЯ	114
<i>Новиков Д. Ф.</i> СОЦИАЛЬНО-ОТВЕТСТВЕННЫЙ МАРКЕТИНГ В МАШИНОСТРОЕНИИ	117
<i>Новиков С. Г., Малыгин В. В.</i> ДЕМПФИРУЮЩИЙ РЕЗЕЦ С ИЗМЕНЯЕМОЙ ЖЕСТКОСТЬЮ ПО ДЛИНЕ ДЕРЖАВКИ	120
<i>Новиков Ф. В., Клочко А. А., Камчатная-Степанова Е. В., Старченко Е. П.</i> АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ЗУБОФРЕЗЕРОВАНИЯ КРУПНОМОДУЛЬНЫХ ШЕВРОННЫХ ЗАКАЛЕННЫХ КОЛЕС	124
<i>Новиков Ф. В., Шкурупий В. Г.</i> ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ СВЕТООТРА- ЖАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ДЕТАЛЕЙ	130
<i>Пермяков А.А., Клочко А.А., Набока Е.В., Перминов Е.В., Новиков Ф. В.</i> ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ СНИЖЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК И ШУМА ЗА СЧЕТ СОЗДАНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ АПРИОРНЫХ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ЧИСЕЛ С ФОРМИРОВАНИЕМ ОПТИМАЛЬНОГО ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ	134
<i>Пилипенко О. И.</i> СОВРЕМЕННЫЕ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ДЕТАЛЕЙ ПРИВОДОВ МАШИН	139
<i>Полянский В. И.</i> ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ЗУБО- ШЛИФОВАНИЯ ПО МЕТОДУ ПРОФИЛЬНОГО КОПИРОВАНИЯ	142
<i>Протасенко О. Ф.</i> СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ У СТВОРЕННІ БЕЗПЕЧНИХ УМОВ ДІЯЛЬНОСТІ ПРАЦІВНИКА	146
<i>Пыжов И. Н., Федорович В. А., Волошкина И. В.</i> РОЛЬ ХАРАКТЕРИСТИКИ АЛМАЗНОГО КРУГА В КОМБИНИРОВАННЫХ ПРОЦЕССАХ ШЛИФОВАНИЯ СВЕРХТВЕРДЫХ ПОЛИКРИСТАЛЛОВ	148

<i>Рябенков И. А.</i> ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ПРЕРЫВИСТОГО ШЛИФОВАНИЯ	151
<i>Рябченко С. В.</i> ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ШЛИФОВАНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС	156
<i>Савченко Н. Ф., Третьяк В. В.</i> К РАЗРАБОТКЕ НАПРАВЛЕНИЙ ВЫБОРА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ВЗРЫВНОЙ ШТАМПОВКИ	158
<i>Самотугин С. С., Безумова (Христенко) О. А., Ткаченко Т. К.</i> ПЛАЗМЕННОЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЕ РЕЖУЩИХ КРОМОК РЕЗЬБОНАРЕЗНОЙ ГРЕБЕНКИ ИЗ СТАЛИ Р6М5	162
<i>Севидова О. К., Пупань Л. І., Гуцаленко Ю. Г.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ НАСКРІЗНОЇ ПОРИСТОСТІ ПОКРИТТІВ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ АК6 І Д16Т ПІСЛЯ МІКРОДУГОВОГО ОКСИДУВАННЯ	165
<i>Сенченков И. К., Червинко О. П., Якименко С. Н.</i> ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НАПЛАВКИ ЛИСТОВЫХ ДЕТАЛЕЙ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ РАСТУЩИХ ТЕЛ	168
<i>Стрельчук Р. М.</i> РАЗМЕРНАЯ СТОЙКОСТЬ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ И ПУТИ ЕЕ ПОВЫШЕНИЯ	171
<i>Терещенко Ю. Ю., Терещенко Ю. М.</i> ВПЛИВ УПРАВЛІННЯ ПОГРАНИЧНИМ ШАРОМ НА АЕРОДИНАМІЧНИЙ ОПІР МОТОГОНДОЛИ ТРИКОНТУРНОГО ГАЗОТУРБІННОГО ДВИГУНА	174
<i>Тіхенко В. М., Волков О. А.</i> ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ РУХУ ПОДАЧІ В ГІДРОПРИВОДАХ ВЕРСТАТІВ	175
<i>Третьяк Т. Є., Шелковой А. Н., Гуцаленко Ю. Г., Мироненко А. Л., Мироненко С. А.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НЕЭВОЛЬВЕНТНЫХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ	177
<i>Usenko V.Y., Doroshenko E.V.</i> EFFECT OF RPM ON ACOUSTIC EMISSION OF THE GAS TURBINE ENGINE COAXIAL PROPFAN	180
<i>Хавін Г.Л.</i> АНАЛІЗ ЗМІНИ ЛІНІЙНИХ РОЗМІРІВ ІНСТРУМЕНТА ПРИ СВЕРДЛЕННІ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ	181

<i>Харламов Ю. А., Клименко С. А., Полонский Л. Г.</i> РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ НА ОСНОВЕ ГАЗОВОЙ ДЕТОНАЦИИ	183
<i>Харламов Ю. А.</i> ПОЛУЧЕНИЕ МЕТАЛЛООКСИДНЫХ ПОКРЫТИЙ ПРИ ГОРЕНИИ ЧАСТИЦ АЛЮМИНИЯ	186
<i>Хейфец М. Л., Бородавко В. И., Пынькин А. М., Грецкий Н. Л., Астапенко А. А.</i> РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА ПЛАЗМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОЦЕССОВ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА	189
<i>Швагірев П. А., Прокопович І. В. Костіна М. М.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЄДНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ ВИТРАТ ПОБУТОВОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ	191

НОВЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИИ

(Материалы международной научно-технической
конференции, 16–18 мая 2019 года, г. Одесса)

Редакторы: Новиков Ф. В.
Яровой Ю. В.

Подписано в печать 22.04.2019
Формат 60×84
Бумага типографская
Печать офсетная. Уч.-изд. л. 12,5
Тираф 200 экз.

Одесский национальный политехнический университет
65044, г. Одесса, проспект Шевченко, 1