

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ДРОГОБИЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**імені ІВАНА ФРАНКА**

**Кафедра технологічної та професійної освіти**

«До захисту допускаю»  
завідувач кафедри технологічної та професійної освіти,  
доктор педагогічних наук, професор  
\_\_\_\_\_ Леонід ОРШАНСЬКИЙ

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

**Методика ознайомлення майбутніх учителів трудового  
навчання з новітніми технологіями обробки  
конструкційних матеріалів**

**Спеціальність 014.10 Середня освіта (Трудове навчання та технології)**

**Магістерська робота**

на здобуття професійної кваліфікації – *вчитель трудового навчання,  
технологій та креслення, викладач закладу фахової передвищої,  
вищої освіти, вчитель інформатики*

**Автор роботи:** Мавдрик Олег Степанович \_\_\_\_\_  
підпис

**Науковий керівник:** кандидат фіз.-мат. наук, доцент

Павловський Юрій Вікторович \_\_\_\_\_  
підпис

**Дрогобич – 2024**

**Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка**

Зав. кафедри \_\_\_\_\_

(підпис)

10.10.2023 р.

(дата)

**ЗАВДАННЯ  
на підготовку магістерської роботи**

**1. Тема:** «Методика ознайомлення майбутніх учителів трудового навчання з новітніми технологіями обробки конструкційних матеріалів».

**2. Керівник** – канд. фіз.-мат. наук, доцент Павловський Ю.В.

**3. Студент** – Мавдрик Олег Степанович.

**4. Перелік питань, що підлягають висвітленню у кваліфікаційній роботі:**

1. Проаналізувати, систематизувати та узагальнити сучасні методи обробки конструкційних матеріалів.

2. Визначити технічні можливості електроерозійної, хімічної, електрохімічної, лазерної, плазмової та гідроабразивної обробки конструкційних матеріалів.

3. Розробити методичне забезпечення для ознайомлення майбутніх учителів трудового навчання та технологій з новітніми методами обробки конструкційних матеріалів.

**5. Список рекомендованої літератури:**

1. Атаманюк В.В. Технологія конструкційних матеріалів. Київ: Кондор, 2006. 528 с.

2. Бобицький Я.В., Матвішин Г.Л. Лазерні технології: навч. посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2015. 246 с.

3. Інтегровані технології обробки матеріалів [Текст]: підручник / Е.С. Геворкян, Л.А. Тимофеева, В.П. Нерубацький та ін. Харків: УкрДУЗТ, 2016. 238 с.

4. Коваленко В.С. Обладнання та технологія електрофізичних та електрохімічних методів обробки. Київ: Вища школа, 1982. 286 с.

5. Кіянський М.В., Цивінда Н.І. Електрофізичні та електрохімічні методи обробки поверхонь деталей у машинобудуванні: [навчальний посібник]. Кривий Ріг: Видавничий центр КТУ, 2011. 412 с.

6. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів: Підручник / А.С. Опальчук, Є.Г. Афтандіянц, Л.Л. Роговський, О.Є. Семеновський. Ніжин: ПП Лисенко М.М., 2013. 752 с.

7. Нетрадиційні методи механічної обробки матеріалів: конспект лекцій / Б.А. Ступін, О.В. Івченко, О.Д. Динник, Р.М. Зінченко. Суми: Сумський державний університет, 2016. 149 с.

8. Носуленко В. І., Шмельов В. М. Розмірна обробка металів електричною дугою: Навчальний посібник. Кропивницький: ПП «Ексклюзив-Систем», 2017. 256 с.

9. Пащенко В.М. Текст лекцій з дисципліни «Обробка матеріалів концентрованими потоками енергії». Київ: НТУУ «КПІ» ЗФ, 2013. 150 с.

**6. Етапи підготовки роботи:**

| № з/п | Назва етапу                                                                                                                                                                 | Термін виконання | Термін звіту перед керівником, кафедрою |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-----------------------------------------|
| 1.    | Вивчення й аналіз психолого-педагогічної та методичної літератури; визначення вихідних положень дослідження (об'єкт, предмет, методи); формування мети; постановка завдань. | до 05.12.2023 р. | 14.12.2023 р.                           |
| 2.    | Підготовка 1-го розділу роботи.                                                                                                                                             | до 16.04.2024 р. | 25.04.2024 р.                           |
| 3.    | Підготовка 2-го розділу роботи.                                                                                                                                             | до 01.10.2024 р. | 10.10.2024 р.                           |
| 5.    | Формування висновків. Оформлення роботи.                                                                                                                                    | до 24.10.2024 р. | 31.10.2024 р.                           |
| 6.    | Перевірка роботи на плагіат                                                                                                                                                 | до 14.11.2024 р. | 22.11.2024 р.                           |
| 7.    | Попередній захист роботи і рецензування.                                                                                                                                    | до 26.11.2024 р. | 02.12.2024 р.                           |

**7. Дата видачі завдання** – 10.10.2023 р.

**8. Термін подачі роботи керівнику** – 14.11.2024 р.

**9. Із вимогами до виконання роботи і завданням ознайомлений** \_\_\_\_\_ Олег МАВДРИК

**10. Керівник** \_\_\_\_\_ Юрій ПАВЛОВСЬКИЙ

## ЗАХИСТ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

**1. Тема:** «Методика ознайомлення майбутніх учителів трудового навчання з новітніми технологіями обробки конструкційних матеріалів».

Оцінка за стобальною шкалою: \_\_\_\_\_

Оцінка за національною чотирибальною шкалою: \_\_\_\_\_

### Коротка мотивація оцінки захисту:

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

|       |                    |                      |
|-------|--------------------|----------------------|
| _____ | Голова ДЕК _____   | _____                |
| дата  | підпис             | прізвище та ініціали |
|       | Секретар ДЕК _____ | _____                |
|       | підпис             | прізвище та ініціали |

## АНОТАЦІЯ

**Мавдрик О.С.** Методика ознайомлення майбутніх учителів трудового навчання з новітніми технологіями обробки конструкційних матеріалів. – Рукопис.

У магістерській роботі проаналізовано, систематизовано та узагальнено сучасні методи обробки конструкційних матеріалів, з'ясовано їх переваги та недоліки. Здійснено порівняння технологічних можливостей розглянутих методів. Розроблено методичне забезпечення вивчення майбутніми учителями трудового навчання та технологій новітніх методів обробки конструкційних матеріалів, зокрема тематичне планування, лекційні заняття та тестові завдання для закріплення вивченого матеріалу. Це забезпечить формування у майбутніх педагогів професійної компетентності та готовності до роботи в умовах сучасної школи.

## ANNOTATION

**Mavdryk O.S.** Methods of acquaintance of future teachers of labor training with the latest technologies for processing structural materials. – Manuscript.

In the master's thesis, modern methods of processing structural materials are analyzed, systematized and generalized, their advantages and disadvantages are clarified. A comparison of the technological capabilities of the considered methods is carried out. Methodological support for the study of the latest methods of processing structural materials by future teachers of labor training and technologies has been developed, in particular, thematic planning, lectures and test tasks to consolidate the studied material. This will ensure the formation of future teachers' professional competence and readiness to work in a modern school.

## ЗМІСТ

|                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП .....                                                                                                      | 6  |
| РОЗДІЛ 1. ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ СУЧАСНИХ<br>МЕТОДІВ ОБРОБКИ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ.....          | 8  |
| 1.1. Електроерозійна обробка .....                                                                               | 8  |
| 1.2. Сучасні технології хімічної обробки конструкційних матеріалів .....                                         | 13 |
| 1.3. Сучасні технології комбінованих фізико-хімічних методів обробки<br>конструкційних матеріалів .....          | 19 |
| 1.4. Електрохімічна обробка металів .....                                                                        | 23 |
| 1.5. Технологія ультразвукової обробки матеріалів .....                                                          | 26 |
| 1.6. Променеві методи обробки конструкційних матеріалів .....                                                    | 29 |
| 1.7. Плазмова обробка конструкційних матеріалів .....                                                            | 33 |
| РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА МЕТОДИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИВЧЕННЯ<br>НОВІТНІХ МЕТОДІВ ОБРОБКИ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ..... | 35 |
| 2.1. Розробка тематичного планування вивчення новітніх технологій<br>обробки конструкційних матеріалів.....      | 35 |
| 2.2. Розробка лекційних занять.....                                                                              | 37 |
| 2.3. Розробка тестових завдань .....                                                                             | 58 |
| ВИСНОВОК.....                                                                                                    | 65 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....                                                                             | 66 |

## ВСТУП

**Актуальність теми.** В умовах розвитку високотехнологічних галузей, таких як авіакосмічна, автомобільна, будівельна та енергетична, виникає необхідність у використанні матеріалів з покращеними властивостями – легкістю, міцністю, стійкістю до корозії та високих температур. Обробка таких матеріалів потребує застосування передових технологій, які забезпечують точність, економічність та мінімізацію відходів.

Нові підходи до обробки конструкційних матеріалів, такі як лазерна, плазмова, ультразвукова, електроерозійна обробка, а також кріогенна обробка й адитивні технології (3D-друк), дозволяють досягати раніше недосяжних результатів у точності, ефективності та економічності. Ці технології відкривають нові можливості для виготовлення складних деталей і конструкцій, дозволяючи створювати вироби з покращеними властивостями – легші, міцніші, стійкіші до зношування, корозії та екстремальних температур.

Крім того, новітні технології обробки матеріалів є важливими для підвищення екологічної ефективності виробництва. Завдяки впровадженню ресурсозберігаючих методів, таких як мінімізація відходів і зниження енергоспоживання, можна значно зменшити негативний вплив виробничих процесів на навколишнє середовище. У глобальному контексті, де вимоги до екологічності та енергоефективності постійно зростають, ці технології стають ключовим елементом у розробці сталого промислового виробництва.

Також важливим є те, що нові методи обробки дозволяють працювати з новими видами матеріалів, зокрема з композитними матеріалами, сплавами з пам'яттю форми, керамікою та наноматеріалами. Ці матеріали мають унікальні фізичні та хімічні властивості, що робить їх незамінними в сучасних високотехнологічних галузях.

Таким чином, дослідження і впровадження новітніх технологій обробки конструкційних матеріалів є важливим чинником науково-технічного прогресу, що забезпечує розвиток сучасної промисловості та відкриває нові можливості для створення інноваційних продуктів і технологій.

**Мета дослідження:** аналіз новітніх способів обробки конструкційних

матеріалів і розробка методичного забезпечення ознайомлення з ними майбутніх учителів трудового навчання та технологій.

**Об'єкт дослідження:** новітні методи обробки конструкційних матеріалів.

**Предмет дослідження:** особливості технологічних процесів сучасних методів обробки конструкційних матеріалів.

Відповідно до теми та мети дослідження визначено такі **завдання:**

1. Проаналізувати, систематизувати та узагальнити сучасні методи обробки конструкційних матеріалів.

2. Визначити технічні можливості електроерозійної, хімічної, електрохімічної, лазерної, плазмової та гідроабразивної обробки конструкційних матеріалів.

3. Розробити методичне забезпечення для ознайомлення майбутніх учителів трудового навчання та технологій з новітніми методами обробки конструкційних матеріалів.

**Теоретичне значення роботи:** проаналізовано, систематизовано та узагальнено сучасні методи обробки конструкційних матеріалів, з'ясовано їх переваги та недоліки. Здійснено порівняння технологічних можливостей розглянутих методів.

**Практичне значення роботи:** розроблено методичне забезпечення вивчення майбутніми учителями трудового навчання та технологій новітніх методів обробки конструкційних матеріалів, зокрема тематичне планування, лекційні заняття та тестові завдання для закріплення вивченого матеріалу.

**Апробація роботи.** За матеріалами магістерської роботи опубліковано статтю у збірнику XI-ї Міжнародної науково-практичній конференції студентів та викладачів факультету фізики, математики, економіки та інноваційних технологій «Актуальні проблеми сучасної науки» [1].

**Структура та об'єм роботи:** магістерська робота представлена на 69 сторінках, складається зі вступу, двох розділів, висновків та списку використаних літературних джерел з 40 найменувань.

## РОЗДІЛ 1.

### ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ

#### 1.1. Електроерозійна обробка

Електроерозійними методами обробки матеріалів називають методи електрофізичної обробки, засновані на законах ерозії (руйнування) електродів зі струмопровідних матеріалів при пропусканні між ними імпульсного електричного струму [2, 3].

Електроерозійна обробка (ЕЕО) металів доповнює обробку різанням, а в окремих випадках має переваги перед нею [3]:

- 1) обробка матеріалів з високою продуктивністю незалежно від їх механічних властивостей;
- 2) одночасне формоутворення всіх оброблюваних поверхонь;
- 3) можливість виготовлення деталей складних форм (штампи, прес-форми), недоступних іншими методами обробки;
- 4) маловідходний поділ заготовок за будь-якими траєкторіями складного профілю;
- 5) силові навантаження практично відсутні;
- 6) поліпшується стан поверхневого шару заготовки;
- 7) простота автоматизації процесів обробки.

*Область застосування ЕЕО.*

Обробка матеріалів підвищеної міцності, підвищеної в'язкості, крихких, важкооброблюваних матеріалів (тверді сплави, загартована сталь, вольфрам, молібден тощо); обробка тонкостінних нежорстких деталей, пазів та отворів малого та надмалого розмірів (до 1-6 мм); отримання поверхонь з малою шорсткістю і малою товщиною дефектного поверхневого шару.

*Суть методів ЕЕО.*

Між електродом-заготовкою 2 (рис. 1.1) та електродом-інструментом 1 генератором імпульсів 6 створюється різниця потенціалів (від джерела

живлення постійного, пульсуючого постійного або змінного струму різних частот) [2].

Різниця напруг періодично призводить до утворення в середовищі між електродами тимчасового каналу провідності (імпульсний іскровий або дуговий розряд тривалістю  $10^{-2} \dots 10^{-8}$  с). Висока концентрація енергії, густина струму (до  $10000 \text{ А/мм}^2$ ) призводять до зростання температури на поверхні електрода-заготовки до  $4000 \dots 12000^\circ\text{C}$ , у результаті чого елементарний об'єм металу заготовки миттєво обплавляється і випаровується. На поверхні утворюється заглибинка. Видалений метал застигає в діелектричній рідині 4 у вигляді гранул діаметром менше  $0,01 \text{ мм}$ . Певній напрузі на електродах відповідає певна відстань електричного пробоя  $d_p$  ( $0,01 \dots 0,05 \text{ мм}$ ) [3].

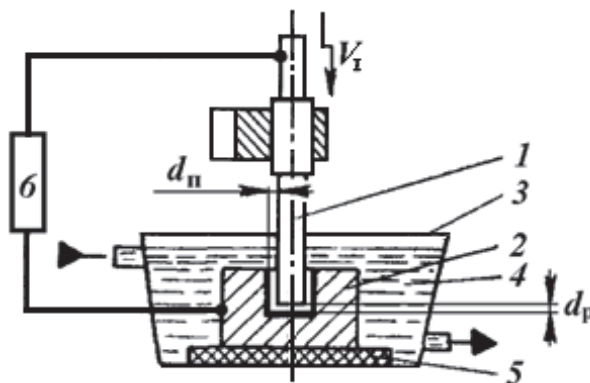


Рис. 1.1. Схема електроерозійної обробки: 1 – електрод-інструмент; 2 – заготовка-електрод; 3 – ванна; 4 – діелектрична рідина; 5 – ізолятор

*Перетин прошиваного отвору може бути фасонним.*

Процес утворення імпульсних розрядів триває до повного видалення металу заготовки в межах відстані пробоя від поверхні електрода-інструмента. Для продовження процесу необхідно зблизити електроди до відстані робочого зазору  $d_p$  за умови  $d_p < d_n$ .

Зближення виконується безперервно автоматично за допомогою систем стеження, в результаті чого електрод-інструмент поступально переміщається до заготовки з постійною швидкістю  $V_I$ .

При ЕЕО використовують два способи включення електродів: пряму полярність (негативно заряджений катод – інструмент) і зворотну полярність

(катод – заготовка). У процесі обробки відбувається згладжування поверхні заготовки за рахунок видалення мікровиступів, оскільки канали провідності виникають по найменшій відстані між електродами [3].

Міжелектродний простір заповнюється діелектриком 4, яким може бути вакуум, газ, рідина, порошок або флюс. Найчастіше використовується рідина, оскільки в ній процес ерозії відбувається інтенсивніше. Крім того, рідина допомагає зменшити нагрів електродів (як інструменту, так і заготовки), охолоджує продукти руйнування та знижує інтенсивність бічних розрядів між інструментом і заготовкою, що підвищує точність обробки. Процес обробки при цьому здійснюється у ванні 3 (рис. 1.1). Можлива примусова циркуляція рідини між електродами для більш повного видалення продуктів руйнування і охолодження електродів.

Діелектричні рідини, які застосовуються: гас, дизельне паливо, мінеральні масла, вода, водні розчини та емульсії.

За допомогою методу електроерозійної обробки (рис. 1.2) можна отримувати наскрізні отвори будь-якої форми поперечного перерізу (*a*), створювати глухі отвори та порожнини (*б*), формувати фасонні отвори і порожнини за методом трепанації (*в*), робити отвори з криволінійними осями (*г*), вирізати заготовки з листового матеріалу за допомогою дротяного або стрічкового інструменту-електрода (*д*), виконувати плоске, кругле та внутрішнє (*е*) шліфування, а також різати заготовки та таврувати деталі. Метод ЕЕО використовують для виробництва штампів, прес-форм, фільтрів, ріжучого інструменту, деталей паливної системи двигунів внутрішнього згоряння, а також для виготовлення сіток і сит [2].

Метод ЕЕО застосовується для обробки практично всіх електропровідних матеріалів, проте ефект ерозії при однакових параметрах електричних імпульсів може відрізнятися. Це залежить від часу, за який поверхня заготовки нагрівається до температури плавлення. Залежність інтенсивності ерозії від властивостей металів називають електроерозійною оброблюваністю. Якщо вважати електроерозійну оброблюваність сталі за одиницю, то для інших металів її можна представити у таких відносних одиницях: тверді сплави – 0,5;

титан – 0,6; нікель – 0,8; мідь – 1,1; латунь – 1,6; алюміній – 4; магній – 6 [3].

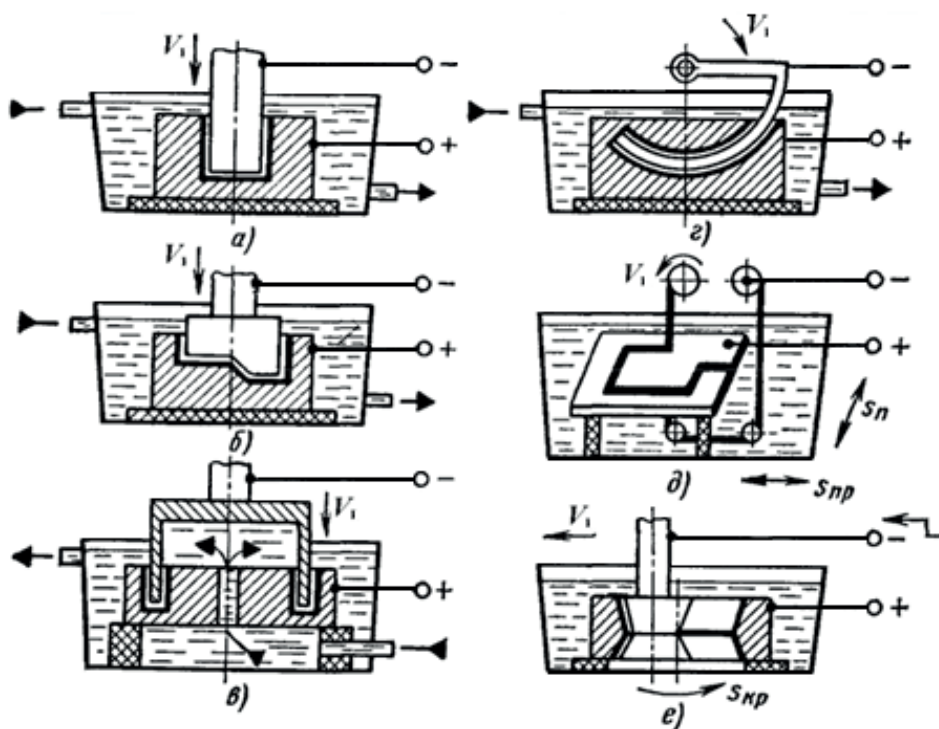


Рис. 1.2. Схеми основних операцій ЕЕО: *а* – прошивання отвору; *б* – обробка фасонної порожнини штампа; *в* – прошивання отвору за способом трепанації; *г* – прошивання отвору з криволінійною віссю; *д* – вирізання заготовки з листа; *е* – шліфування внутрішньої поверхні філери

Електроіскровий метод є доцільним для обробки твердих сплавів, важкооброблюваних металів і сплавів, а також для таких матеріалів, як тантал і молібден.

Чинники, що викликають ерозію металу при ЕЕО: *а*) тепловий вплив розрядів; *б*) електростатичні та електродинамічні сили; *в*) газоутворення в результаті розпаду рідкого робочого середовища; *г*) кавітаційний удар рідини.

Продуктивність ЕЕО характеризується кількістю знятого металу за одиницю часу ( $\text{мм}^3/\text{хв}$ ), ( $\text{г}/\text{хв}$ ) і залежить від оброблюваності матеріалу заготовки, виду робочого середовища, енергії імпульсу, частоти дії імпульсів.

Розрізняють такі методи ЕЕО: *а*) електроіскрову обробку (ЕІсО); *б*) електроімпульсну обробку (ЕІмО); *в*) електроконтактну обробку (ЕКО).

Перші два методи – з використанням безконтактної технології. Вони відрізняються один від одного параметрами електричних розрядів, перш за все

їх потужністю та тривалістю.

Потужність імпульсів при ЕІМО більша, ніж при ЕІсО. Це забезпечує методу ЕІМО більш високу продуктивність при більш низькій якості поверхні. Тому доцільно застосування комбіновану ЕЕО, коли чорнова обробка ведеться методом ЕІМО, потім чистова – методом ЕІсО.

### ***Метод електроконтактної обробки (ЕКО)***

Метод електроконтактної обробки базується на локальному нагріванні заготовки в точці контакту з електродом-інструментом за рахунок подачі струму великої густини. У результаті цього нагріву метал заготовки розм'якшується або розплавляється, а його залишки видаляються з зони обробки завдяки механічному руху інструмента. Цей процес може відбуватися як під значним тиском інструменту на заготовку, так і без тиску, в режимі електричного оплавлення [4].

У цьому методі розм'якшення, розплавлення та часткове випаровування металу здійснюються внаслідок нагріву контактних перемичок між електродами, а також через дугові розряди, що виникають між ними. Контактні перемички утворюються спочатку в твердій фазі матеріалу заготовки, а потім в рідкій фазі. Можливе також короточасне замикання електродів диспергованими частинками металу. Розряди виникають у результаті розмикання (електричного вибуху) контактних перемичок або внаслідок безпосереднього пробою проміжку між електродами за аналогією з безконтактними методами ЕЕО. Розмикання контактних перемичок відбувається внаслідок розриву контактів між електродами через їх відносний рух. Це супроводжується стрибком напруги та виникненням дугового розряду.

*Переваги ЕКО в порівнянні з безконтактними методами ЕЕО [4]:*

- висока продуктивність;
- не потрібні рідкі робочі середовища;
- не потрібно джерела постійного струму;
- малий знос ріжучого інструменту;
- безпечна для роботи напруга на електродах.

*Недоліки ЕКО в порівнянні з безконтактними методами ЕЕО: низька*

точність; невисока якість поверхні.

Метод електроконтактної обробки використовують для обробки злитків, очищення прокату зі спеціальних сплавів, а також для чорнового зовнішнього, внутрішнього і плоского шліфування корпусних деталей машин, виготовлених з важкооброблюваних матеріалів (рис. 1.3).

Приклад застосування ЕЕО (ЕІсО): прошивка отвору діаметром 0,15 мм у розпилювачі дизельних форсунок на верстатах ЛКЗ-34, ЛКЗ-59 з витратою часу від 15 до 35 с на один отвір.

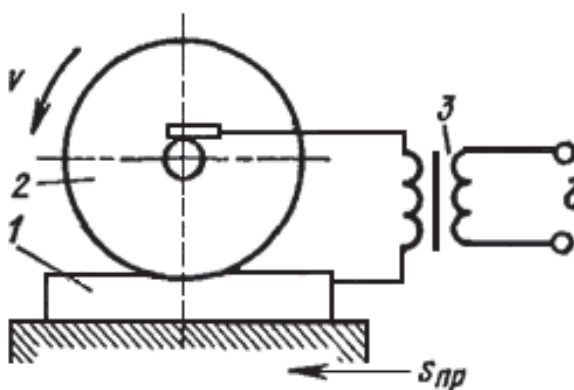


Рис. 1.3. Схема електроконтактної обробки плоскої поверхні: 1 – оброблювана заготовка; 2 – інструмент-електрод; 3 – трансформатор

## 1.2. Сучасні технології хімічної обробки конструкційних матеріалів

Хімічна обробка полягає у контрольованому та направленому руйнуванні металів і сплавів шляхом їх травлення у розчинах кислот і лугів [5, 6].

Зняття шару припуску (рис. 1.4) здійснюється за рахунок хімічної взаємодії матеріалу оброблюваної заготовки 1 з кислотним або лужним складом 2 травильних ванн 3. Поверхня деталі попередньо очищається, необроблювані ділянки деталі захищають хімічно стійким покриттям. Деталі встановлюються на підпорах 4 або підвішуються в кошиках. Травильний розчин циркулює через ванну та блок регенерації 5, який очищає його від шламу та відновлює концентрацію розчину.

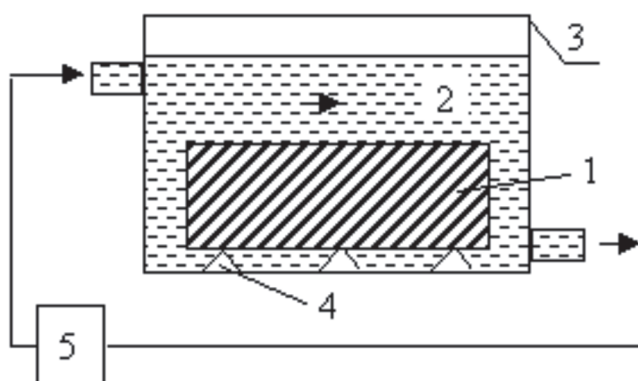


Рис. 1.4. Схема хімічної обробки матеріалів

**Переваги хімічних методів** перед обробкою на металорізальних верстатах [7]:

- 1) відсутність механічних і теплових явищ в зоні знімання металу дозволяє обробляти деталі будь-якої жорсткості та конфігурації;
- 2) можливість обробки майже всіх матеріалів у будь-якому стані незалежно від їх механічних властивостей;
- 3) досить висока продуктивність внаслідок протікання реакції одночасно по всій оброблюваній поверхні;
- 4) можливість знімання металу на тих ділянках деталі, де використовувати інші методи обробки неефективно або неможливо;
- 5) порівняно висока точність обробки (до  $\sim 0,05$  мм проти  $\sim 0,25$  мм при механічному фрезеруванні);
- 6) можливість отримання деталей змінної товщини, кінчної форми, ступінчастої форми травленням різних ділянок впродовж різного часу;
- 7) обробка магнітних матеріалів без погіршення їх магнітних властивостей;
- 8) одночасна обробка великої кількості деталей;
- 9) простота промислового впровадження та автоматизації, невисока вартість обладнання.

**Недоліки хімічних методів:**

- тривалість процесу підготовки деталей під травлення, велика витрата матеріалів покриттів і розчинників покриттів (необхідність нанесення декількох

шарів захисних покриттів до обробки та зняття їх після обробки. Шлях вирішення цієї проблеми – застосування покриттів, які можна використовувати багаторазово);

- порівняно тривале травлення, особливо при видаленні значних товщин металу;
- зниження класу шорсткості поверхні;
- обмеженість обробки отворів, неможливість отримання вузьких, глибоких пазів внаслідок поганої циркуляції розчину та підтравлення захисного покриття.

***Процес хімічного травлення можна розділити на три періоди [7]:***

1. Розчинення окисної плівки (окалини) на поверхні металу. Як приклад на рис. 1.5 наводиться будова поверхневого шару сталі.

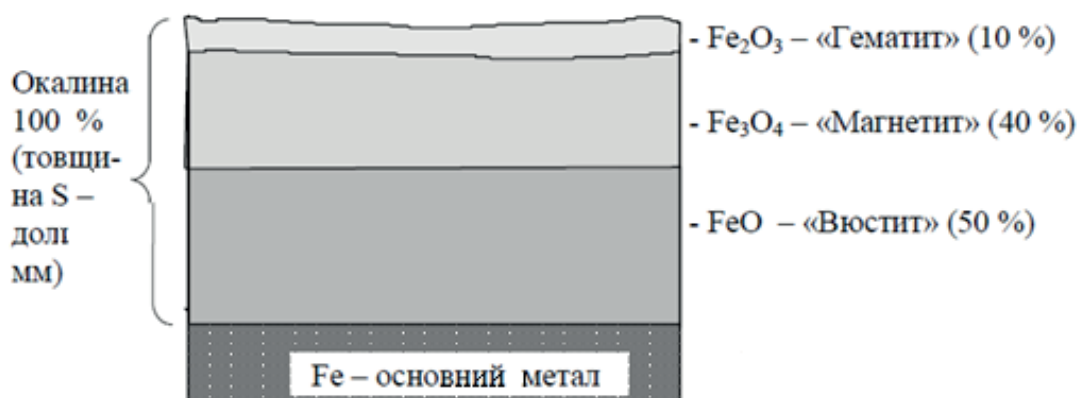


Рис. 1.5. Будова поверхневого шару сталі

Окалина має значно більшу хімічну стійкість, ніж основний метал. Процес протікає дуже повільно, тому на даному етапі використовують спеціальний, хімічно більш активний розчин.

2. Основний період усталеного процесу розчинення металу. Швидкість знімання металу в цьому періоді характеризує швидкість хімічного фрезерування.

3. Утворення на металі значного шару з продуктів реакції, що знижує швидкість розчинення. У цьому випадку сам розчин вимагає зміни або регенерації.

Розмірне травлення може бути: а) загальним (по всій поверхні деталі в

основному для зменшення маси); б) місцевим (травленню піддаються лише деякі поверхні до певних розмірів і форм).

***Фактори, що впливають на продуктивність процесу і якість поверхні:***

1) матеріал заготовки; 2) метод отримання заготовки та термічна обробка; 3) початковий стан поверхні заготовки; 4) склад травильного розчину; 5) концентрація розчину; 6) температура розчину; 7) швидкість циркуляції розчину; 8) глибина травлення.

***Послідовність операцій технологічного процесу хімічного травлення металів:***

1. Контроль товщини деталей (ультразвуковий) та стану поверхневого шару (наявність дефектів, пошкоджень).

2. Очищення поверхні деталі (з метою зняття задирок, фарби, окалини та забезпечення щільного зчеплення захисного шару з поверхнею):

2.1. Знежирення (бензин).

2.2. Травлення для зняття окалини (розчини їдкого натрію, плавикової, азотної кислот).

2.3. Пароабразивне обдування (при великій товщині шару окалини).

2.4. Промивання в гарячій і холодній воді.

2.5. Сушіння.

3. Нанесення захисних покриттів на необроблювані поверхні.

***Види захисних покриттів:***

- механічні та вакуумні екрани (для плоских деталей у дрібносерійне виробництво. Кріпляться гвинтами, або вакуумом);

- гальванічні покриття (електричне обміднення для деталей з алюмінієвих сплавів з плоскими поверхнями великої площі. Застосування методу обмежене через складність і трудомісткості);

- клейка стрічка (для ступеневого травлення деталі на різну глибину. Стрічка поступово знімається з поверхні);

- сплави на основі парафіну (для травлення в холодних розчинах. Потім легко видаляються при зануренні деталі в гарячу воду);

- світлочутливі емульсії (в поєднанні з негативами з пластмаси);

- лакофарбові покриття (найбільш поширений та ефективний вид).

**Існує два способи вибіркового покриття певних ділянок заготовки:**

- а) спочатку покривають всю деталь, потім оброблювані поверхні очищають;
- б) попередньо захищають місця травлення, а потім наносять покриття на всі відкриті поверхні (застосовується в масовому виробництві) [7].

Способи нанесення лакофарбових покриттів: пензлем; пульверизатором; обливанням; зануренням всієї заготовки.

4. Сушка покриття (триває 2...3 години до повного випаровування розчинника щоб уникнути пористості покриття. Іноді застосовують нагрів з метою полімеризації покриття).

5. Попереднє травлення для зняття окисних шарів з поверхні (заготовки на спеціальних рамах або в корзинах занурюють у концентрований розчин соляної кислоти).

6. Основне хімічне травлення.

У лужному або кислотному розчині (розчини сірчаної, соляної, азотної, фосфорної, плавикової кислот у порядку значимості, їдкого натрію, зі спеціальними добавками). Деталь необхідно періодично струшувати або перевертати для видалення з-під покриття на межах контуру утворених газів, що перешкоджають нормальному травленню. Розчин необхідно періодично очищати від продуктів травлення або змінювати, а також перемішувати для вирівнювання температур. Внутрішня поверхня травильної ванни повинна бути з кислотійкого матеріалу (полівінілхлорид, фторопласт, епоксидні смоли). Лінійна швидкість травлення зазвичай становить 0,013...0,045 мм/хв.

**Способи контролю за процесом:** а) визначенням розмірів (ультразвуковим способом або товщиномірами); б) визначенням ваги деталі; в) за часом витримки в розчині.

7. Очищення деталі після травлення:

7.1. Промивання в первинному травильному розчині для видалення солей, які не змиваються водою.

7.2. Промивання у воді.

7.3. Видалення захисного покриття (зазвичай виконується вручну

ножами, щітками).

7.4. Промивання.

7.5. Сушіння.

8. Остаточний контроль розмірів і стану поверхні деталі.

### ***Особливості хімічного травлення.***

Процес травлення відбувається з однаковою швидкістю в усіх напрямках, тому захисне покриття повинно перекривати необхідний розмір виїмки  $A$  на величину, що дорівнює глибині травлення  $R$  (рис. 1.6) [8].

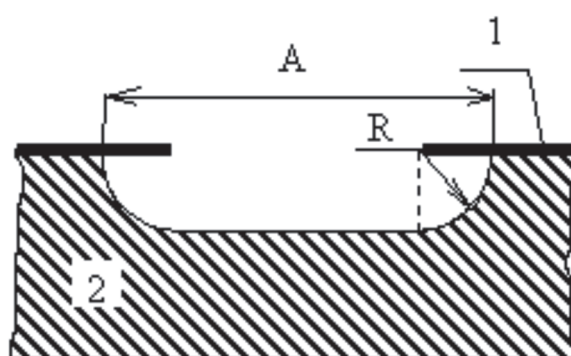


Рис. 1.6. Травлення металічної заготовки під покриттям: 1 – покриття; 2 – заготовка

Під покриттям метал травиться по радіусу  $R$ . При недостатній ширині паза (менше 2 мм) у просторі під покриттям накопичується газ, що перешкоджає травленню. Для його видалення деталь необхідно періодично струшувати, перевертати, прикладати вібрації.

Після травлення шорсткість оброблених поверхонь збільшується на 1...2 класи (причому найбільше литих заготовок). Глибина травлення зазвичай становить 6...8 мм (рідше до 12 мм). Чим більша глибина травлення, тим менша точність і більша шорсткість поверхні.

За допомогою хімічного травлення досягають створення локальних стоншень на м'яких заготовках, формують ребра жорсткості, звивисті канавки та щілини, а також виготовляють «вафельні» поверхні. Цей метод також використовується для обробки поверхонь, які важко досяжні для ріжучого інструменту [8].

### **1.3. Сучасні технології комбінованих фізико-хімічних методів обробки конструкційних матеріалів**

Для усунення певних недоліків методів обробки матеріалів розробляються комбіновані методи, що поєднують переваги методів електрохімічної обробки, електроерозійної обробки, механічної обробки, ультразвукового вібраційного впливу, плазмової обробки [9-11].

#### ***Електроерозійно-хімічний метод обробки (ЕЕХО)***

У зазорі між електродами одночасно протікає два процеси – електроерозійне руйнування металу іскровими розрядами, нагріванням контактних перемичок і його анодне розчинення в проточному електроліті. В якості електроліту використовується зазвичай водний розчин рідкого натрієвого скла. Матеріал інструменту повинен бути ерозійностійким, теплостійким і міцним (графіт, вольфрам). Розряд в електроліті відбувається після виникнення між електродами ізолюючого газопарового шару (водень, що виділяється на катоді).

Перевагою ЕЕХО є взаємне ослаблення дії чинників, що обмежують знімання металу при роздільному використанні методів [9].

Тобто комбінований метод має більшу продуктивність, ніж ЕХО, при меншій точності. Рекомендується для виконання чорнових операцій.

#### ***Анодно-механічний метод обробки***

Заснований на електрохімічному розчиненні металу заготовки з подальшим його видаленням механічним шляхом. У загальному випадку відбувається одночасно три процеси: 1) анодне розчинення (як при електрохімічній обробці); 2) електроерозія; 3) механічне видалення металу з продуктами розчинення і ерозії [10].

Продуктивність методу вища, ніж при анодному розчиненні.

Принципова схема процесу обробки показана на рис. 1.7. При зближенні електродів 3 (оброблюваний виріб) і 1 (інструмент) та при наявності між ними електроліту (робочої рідини) 2 під час проходження струму відбувається руйнування електрода, з'єднаного з позитивним джерелом струму (анодом). Це руйнування при низьких густинах струму здійснюється у вигляді анодного

розчинення металу, а при високій – у вигляді його електроерозійного руйнування. Утворені продукти розпаду 4 погано проводять струм та ізолюють один електрод від іншого. Для їх видалення здійснюють рух електрода  $I$  (інструменту) з невеликим зусиллям. У цьому випадку процес протікає безперервно, матеріал заготовки продовжує руйнуватися і необхідна обробка здійснюється незалежно від його твердості [11].

Процес анодно-механічної обробки залежить від електричного режиму (густини струму, напруги) і механічних параметрів (тиску на оброблювану поверхню, швидкості руху інструменту). На рис. 1.7 (Виноска I) показана одна з передбачуваних схем процесу.

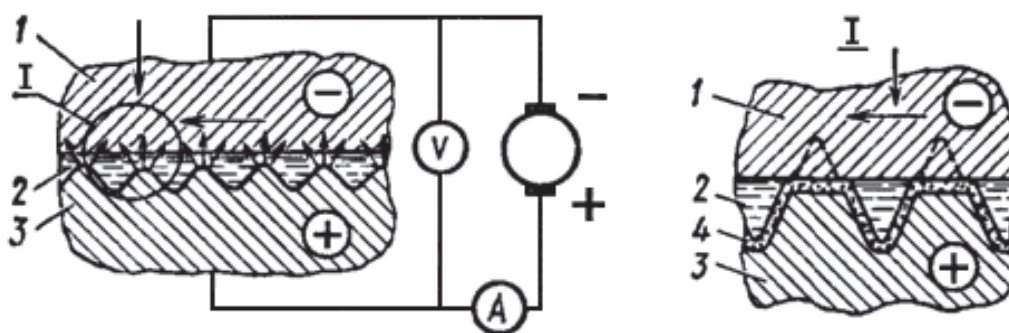


Рис. 1.7. Принципова схема анодно-механічної установки та процесу обробки:  
 $I$  – інструмент-електрод; 2 – електроліт; 3 – заготовка; 4 – продукти розпаду

В якості електроліту при анодно-механічній обробці, так само як і при ЕЕХО, використовується водний розчин рідкого натрієвого скла.

Анодно-механічний метод обробки використовується для заготовок з усіх струмопровідних матеріалів, а також для високоміцних і важкооброблюваних металів та сплавів, а також в'язких матеріалів.

На верстатах для анодно-механічної обробки застосовують системи числового програмного управління (ЧПУ). Завдяки програмному забезпеченню регулюються швидкості руху заготовки та інструменту, забезпечується постійний зазор у робочому просторі між ними, а також задаються параметри електричного режиму при переході з чорнової обробки на чистову.

Анодно-механічним методом (рис. 1.8) виконують різні операції, такі як

розрізання заготовок на частини (а), створення пазів та щілин, обточування поверхонь тіл обертання (б), шліфування плоских поверхонь та поверхонь з формою тіл обертання (в), полірування поверхонь, а також заточку ріжучого інструменту.

При електрохімічному шліфуванні (рис. 1.8, в) інструментом-електродом служить шліфувальний круг закріплений на електропровідній зв'язці.

Абразивними зернами, які виступають із зв'язки утворюється міжелектродний зазор (рис. 1.9), в який подається електроліт.

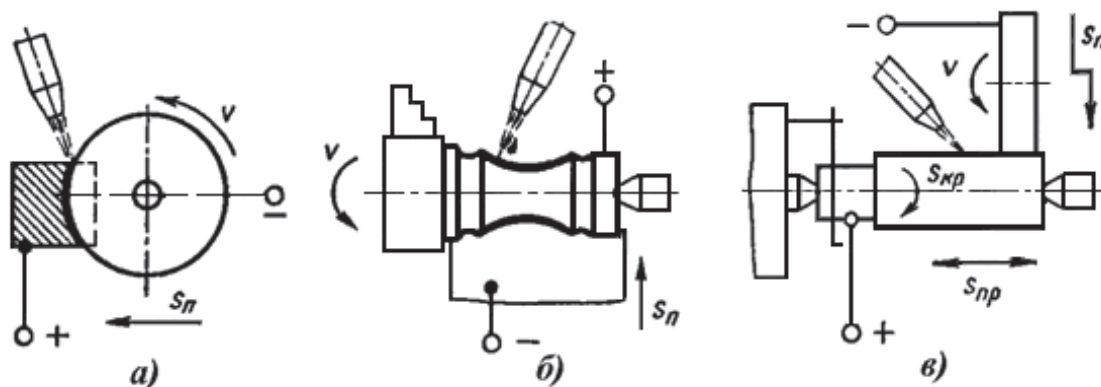


Рис. 2.5. Приклади анодно-механічної обробки

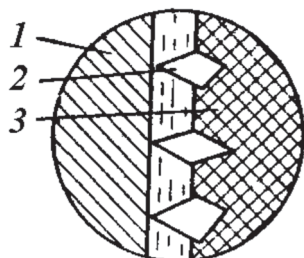


Рис. 2.6. Схема анодно-механічного шліфування: 1 – заготовка; 2 – абразивні зерна; 3 – зв'язка шліфувального круга

Зняття припуску здійснюють через анодне розчинення, механічне різання абразивними зернами та електроерозію. Продукти анодного розчинення видаляються механічно, використовуючи абразивні зерна. Процес електроерозії перешкоджає забивання абразивного круга, розкриваючи нові абразивні зерна (відбувається безперервна правка круга). Таким чином, фактори, що обмежують знімання металу при роздільному використанні методів, при використанні комбінованого методу взаємно послаблюються. Різко підвищується продуктивність.

Крім того, при електрохімічному шліфуванні виключаються сколи та тріщини в металі заготовки, що особливо важливо при обробці крихких сплавів. Також повністю виключаються припалювання при обробці в'язких сталей.

### ***Хіміко-механічна обробка***

Метод заснований на хімічному розчиненні металу заготовки з подальшим його видаленням механічним шляхом.

Хіміко-механічну обробку зазвичай використовують для розрізання та шліфування пластин із твердих сплавів, а також для доведення твердосплавного інструменту. Заготовки з твердих сплавів прикріплюють спеціальними клеями до пластин і занурюють у ванну, заповнену суспензією, яка містить розчин сірчаної кислоти міді та абразивний порошок. Внаслідок обмінної хімічної реакції на поверхні заготовок утворюється пухка металева мідь, тоді як кобальтова зв'язка твердого сплаву переходить в розчин у вигляді солі. Це звільняє зерна карбідів титану, вольфраму та танталу. Мідь разом з карбідами зішліфовується абразивним порошком, що міститься в розчині. Для цього використовують чавунні диски або пластини. Вилучення карбідів відбувається в процесі відносних рухів між інструментом і заготовками [12].

### ***Ультразвукова механічна обробка***

Ультразвукова механічна обробка охоплює різноманітні операції, такі як точіння, фрезерування, стругання, протягування, свердління, зенкерування та нарізування різьб. Ультразвукові коливання передаються інструменту в осьовому напрямку подачі. В залежності від кінематики руху заготовки щодо ріжучої кромки, рухи можуть бути поздовжніми, круговими або вигнутими. Дія ультразвуку на процес обробки полягає в зменшенні опору матеріалу пластичній деформації в зоні формування стружки, зниженні тертя в контактних зонах і полегшенні доставки мастильно-охолоджуючих рідин. Завдяки зниженню опору матеріалу, зменшується сила різання. Коливання інструменту сприяють покращенню подачі мастильно-охолоджуючих речовин до контактних зон, підвищуючи швидкість їх переміщення по оброблюваній поверхні та знижуючи коефіцієнт тертя. У результаті цього знижується температура в контактних зонах, що запобігає утворенню наростів, зменшує

пластичну деформацію оброблюваної поверхні, її наклеп і залишкові напруження, поліпшує умови відведення стружки та підвищує зносостійкість різального інструменту [12].

Для ультразвукового механічного різання застосовують стандартні верстати, до яких додаються змінні ультразвукові головки.

### ***Плазмово-механічна обробка***

Плазмово-механічна обробка полягає у локальному нагріванні шару заготовки, який підлягає зрізанню, за допомогою плазмового струменя, після чого цей шар видаляється ріжучим інструментом. Основна частина енергії, яка витрачається під час різання, використовується для пластичної деформації металу вище зони зрізу. Дослідження показали, що в області формування стружки вуглецева сталь нагрівається до температур, які не перевищують 300°C. Однак термічний нагрів цієї зони до 800-1000°C підвищує її пластичність. Це, в свою чергу, зменшує деформаційне зусилля та зусилля різання, а також знижує об'єм металу, що підлягає пружно-пластичній деформації. Метал, що видаляється під час різання, нагрівається плазмовим електричним розрядом на відстані, яка унеможливорює перегрівання ріжучого інструменту. Зміною струму розряду можна контролювати глибину нагріву металу до високих температур. Підвищення пластичності матеріалу і зменшення його опору деформації дозволяє підвищити продуктивність різання, при цьому стійкість ріжучого інструмента зростає у 2-3 рази. Під час чорнового точіння плазмовий нагрів збільшує продуктивність обробки у 4-8 разів. Для плазмово-механічної обробки використовують стандартні верстати, оснащені плазмовими установками. В якості плазмоутворюючого газу застосовують повітря [13].

## **1.4. Електрохімічна обробка металів**

Електрохімічна обробка металів (ЕХО) заснована на явищі анодного розчинення металу, яке здійснюється під час проходження постійного струму через електроліт між електродом-інструментом та електродом-заготовкою [14].

Інструмент 1 при ЕХО є негативно зарядженим катодом, заготовка 2 –

позитивно зарядженим анодом (рис. 1.10).

На рис. 1.10 показані схеми обробки заготовок у струмопровідному електроліті: лопатки турбіни (а), штампа (б) та схема прошивання наскрізного циліндричного отвору (в).

#### *Суть методу ЕХО*

Під впливом електричного струму, що подається від джерела живлення, атоми поверхневого шару металевої заготовки взаємодіють з аніонами (негативно зарядженими іонами) електроліту, переходять у розчин і видаляються потоком електроліту.

Завдяки зовнішній електрорушійній силі слабо зв'язані електрони з атомів поверхневого шару вивільняються, руйнуючи зв'язок цих атомів із загальною масою металу. Позитивно заряджені атоми металу взаємодіють з аніонами електроліту, утворюючи сполуки, які або розчиняються в електроліті, або формують на поверхні заготовки плівку, що потім може бути видалена механічним способом [14].

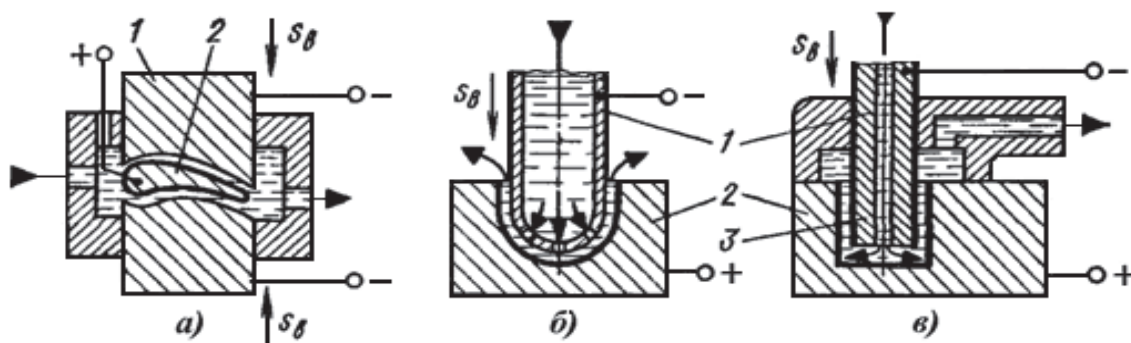


Рис. 1.10. Схеми електрохімічної розмірної обробки: 1 – інструмент-електрод; 2 – заготовка; 3 – ізолятор

Зони заготовки, які не підлягають обробці, ізолюються. Найчастіше електролітом є водний розчин кухонної солі  $\text{NaCl}$ , оскільки він є доступним за ціною і має тривалий термін експлуатації.

Окрім цього, для електроліту використовують водні розчини натрію нітрату та натрію сульфату, а також сірчану і фосфорну кислоти. Електроліт можна багаторазово використовувати після очищення в фільтрах. Заготовку

занурюють у ванну з електролітом або подають електроліт у зону обробки через сопло.

До складу електроліту додають спеціальні добавки, які зменшують його в'язкість (інертні гази, повітря), корозійну активність, а також поверхнево-активні речовини для покращення очищення як оброблюваної поверхні заготовки, так і самого електроліту в фільтрах.

*Переваги ЕХО* перед традиційними методами обробки металів різанням [14]:

- 1) абсолютно відсутній знос електрода-інструмента (оскільки, фактично при ЕХО інструментом є розчин електроліту);
- 2) можливість формоутворення складнофасонних поверхонь при поступальному переміщенні електрода-інструмента (рис. 1.11);
- 3) обробка матеріалів з високою продуктивністю незалежно від їх фізико-механічних властивостей;
- 4) відсутність не тільки силового, а й температурного впливу на заготовку в зоні обробки;
- 5) зменшення шорсткості обробленої поверхні та глибини дефектного шару;
- 6) простота автоматизації процесів обробки.

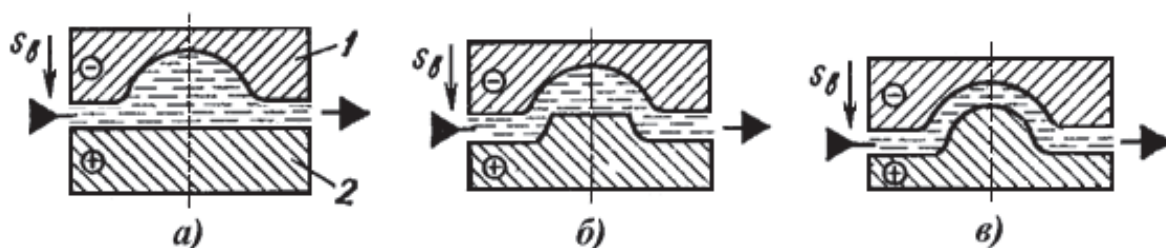


Рис. 1.11. Схема послідовного (а, б, в) формоутворення поверхні заготовок: 1 – електрод-інструмент; 2 – електрод-заготовка

*Недоліки ЕХО:*

- висока вартість і складність виготовлення обладнання;
- обов'язкове використання розчину електроліту;

- висока енергоємність обробки.

*Область застосування ЕХО:* обробка матеріалів підвищеної міцності та в'язкості, крихких, важкооброблюваних матеріалів; обробка тонкостінних нежорстких деталей; видалення задирок, притуплення гострих кромek; загострювання і доведення поверхонь ріжучого інструменту; отримання поверхонь з малою шорсткістю і малою товщиною дефектного поверхневого шару; декоративне оздоблення деталей.

### **1.5. Технологія ультразвукової обробки матеріалів**

Суть ультразвукової обробки (УЗО) полягає у руйнуванні матеріалу за допомогою абразивних зерен, які взаємодіють із оброблюваною поверхнею під впливом ударів інструменту, що коливається з ультразвуковою частотою.

Ультразвукова обробка є специфічним випадком механічного вібраційного впливу, який може бути як низькочастотним, так і високочастотним. Частота коливань інструмента під час УЗО перевищує звуковий діапазон і становить від 16 до 30 кГц. Механічний вібраційний вплив інструмента на заготовку зазвичай поєднується з рівномірним механічним тиском, який також здійснює цей інструмент. У процесі ультразвукової абразивної обробки в зону обробки вводиться абразивне середовище у вигляді суспензії.

Технологія отримання ультразвукових коливань ґрунтується на явищі магнітострикції, яке проявляється у зміні лінійних розмірів певних матеріалів у магнітному полі. Це явище характерне для нікелю, залізонікелевих сплавів (пермендюр), залізоалюмінієвих сплавів (альфер) та феритів. Магнітострикційне осердя (позначене 1 на рис. 1.12) періодично змінює свою довжину в межах 2...10 мкм під впливом змінного електромагнітного поля, яке генерується за допомогою генератора 6. Для підвищення амплітуди коливань (до 10...60 мкм) і концентрації енергії до торця осердя припадають резонансний хвилевід 2. Для охолодження через осердя 1 протікає вода. Заготовку 4 розміщують під пуансоном 3, а обробка здійснюється у ванні 5, заповненій абразивною суспензією [15].

При знятті припуску з поверхні заготовки абразивні зерна отримують енергію від удару пуансоном (рис. 1.13).

Інструмент, який коливається з ультразвуковою частотою, вдаряє по зернах абразиву, що лежить на оброблюваній поверхні заготовки, які сколюють частки матеріалу заготовки (рис. 1.13).

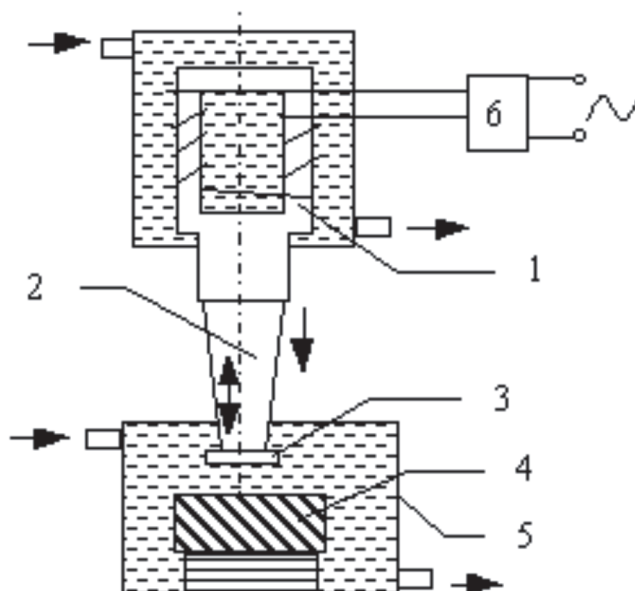


Рис. 1.12. Принципиальная схема ультразвуковой обработки

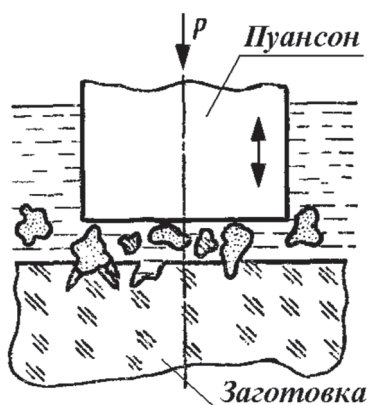


Рис. 1.13. Руйнування оброблюваного матеріалу при ультразвуковій обробці

У рідині виникають кавітаційні процеси, такі як утворення бульбашок під час розрідження, їх зникнення та удари при стисканні. Ці процеси сприяють перемішуванню абразивних зерен під інструментом, що, в свою чергу, забезпечує більш інтенсивне руйнування матеріалу заготовки. Інструмент притискається до заготовки з невеликим зусиллям  $P = 60 \text{ Н}$ .

Ультразвуковий метод застосовують для роботи з крихкими твердими матеріалами, такими як скло, кераміка, ферити, кремній, кварц, а також дорогоцінні мінерали, включаючи алмази. Крім того, цей метод використовують для обробки твердих сплавів, титанових сплавів та вольфраму. В'язкі матеріали (незагартована сталь, латунь) погано обробляються УЗО, оскільки у цьому випадку не відбувається сколів. Ультразвуковий метод (рис. 1.12) дозволяє створювати наскрізні та сліпі отвори будь-якої форми поперечного перерізу (*а*, *б*), формувати фасонні порожнини (*в*), розділяти заготовки на частини (*г*), профілювати зовнішні поверхні, виконувати гравіювання, прорізати отвори з вигнутими осями та нарізати різьби [16].

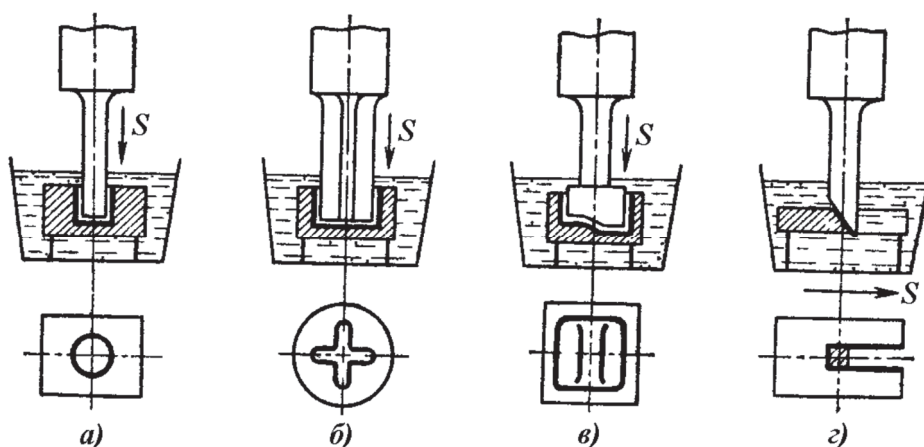


Рис. 1.12. Демонстрація схеми ультразвукової обробки поверхонь: *а*) і *б*) – прошивання циліндричного та фасонного отворів; *в*) – обробка внутрішньої порожнини; *г*) – розрізання

Робочі рухи для зазначених методів обробки включають швидкість різання  $V$  (рух абразивних зерен до оброблюваної поверхні) та рух подачі  $S$ . Інструменти виготовляються із загартованих матеріалів (HRC 35...40), які відзначаються високою в'язкістю. Точність розмірів і шорсткість поверхонь, оброблених ультразвуковим методом, залежать від зернистості застосовуваних абразивних матеріалів і відповідають рівню точності та шорсткості поверхонь, які досягаються при шліфуванні.

## 1.6. Променеві методи обробки конструкційних матеріалів

До променевих методів обробки поверхонь деталей машин належать електронно-променева та світло-променева (лазерна) обробка.

### *Електронно-променева обробка*

Електронно-променева обробка ґрунтується на перетворенні кінетичної енергії направленої пучки електронів на теплову енергію. Завдяки високій щільності енергії сфокусованого електронного променя, обробка заготовок відбувається через нагрів, розплавлення та випаровування матеріалу з вузько локалізованої області. Схема установки для електронно-променевої обробки (електронна гармата) зображена на рис. 1.13. У вакуумній камері 1 цієї установки вольфрамовий катод 11, який підключено до джерела струму, забезпечує емісію вільних електронів [17].

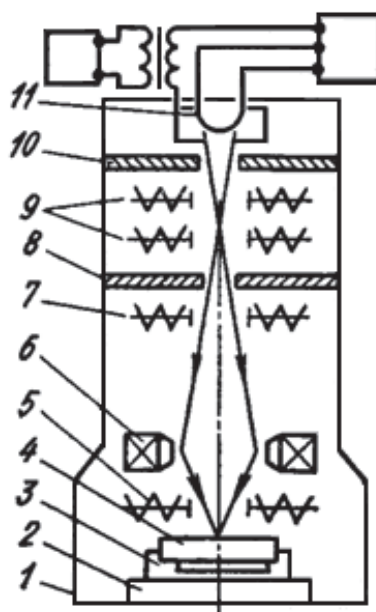


Рис. 1.13. Схема електронно-променевої установки

Електрони формуються у пучок за допомогою спеціального електрода, після чого під впливом електричного поля, яке виникає завдяки великій різниці потенціалів між катодом 11 та анодом 10, вони прискорюються в осьовому напрямку. Промінь електронів проходить через систему юстування 9, діафрагму 8, коректор зображення 7 та магнітні лінзи 6, які остаточно формують електронний потік у вузький промінь і фокусують його на поверхні

заготовки 4. Заготовка закріплена в пристосуванні 3 на столі 2. Переміщення променя по поверхні заготовки здійснюється за допомогою відхиляючої системи 5, яка може контролюватися системою числового програмного керування (ЧПУ). ЧПУ також контролює як поздовжні, так і поперечні переміщення стола, на якому закріплена заготовка, а також визначає тривалість імпульсів і інтервали між ними [17].

У процесі розмірної обробки заготовок апаратура функціонує в імпульсному режимі, що забезпечує локалізоване нагрівання матеріалу. У зоні обробки температура може досягати  $6000^{\circ}\text{C}$ , тоді як на відстані 1 мкм від краю променя вона не перевищує  $300^{\circ}\text{C}$ . Тривалість імпульсів та паузи між ними обираються таким чином, щоб за один цикл метал встиг нагрітися і випаруватися лише під дією променя. Тривалість імпульсів варіюється від  $10^{-4}$  до  $10^{-6}$  с, а частота становить 50-6000 Гц. Діаметр сфокусованого електронного променя складає всього кілька мікрометрів. Цей електронно-променевий метод є перспективним для обробки отворів діаметром від 1 мм до 10 мкм, а також для вирізання пазів, розкрою заготовок, виготовлення тонких плівок та сіток з фольги. Метод також використовується для обробки важкооброблюваних металів і сплавів, а також неметалічних матеріалів, таких як рубін, кераміка, кварц і напівпровідники [18].

Електронно-променева обробка має ряд переваг, які обґрунтовують її доцільність: вона забезпечує локальну концентрацію високої енергії та широкий діапазон регулювання і контролю теплових процесів. Вакуумні умови дозволяють обробляти заготовки з матеріалів, схильних до окислення. За допомогою електронного променя можна наносити покриття на поверхні заготовок у вигляді плівок, товщина яких коливається від кількох мікрометрів до десятків часток міліметра. Проте недоліком цього методу є те, що він можливий лише у вакуумних умовах.

#### *Світлопроменева обробка*

Світлопроменева (лазерна) обробка базується на тепловому впливі світлового променя з високою енергією на поверхню оброблюваної заготовки. Джерелом світлового випромінювання є лазер – оптичний квантовий генератор

(ОКГ). Існують конструкції твердотільних, газових і напівпровідникових ОКГ, які функціонують на основі принципу стимульованого випромінювання. Атом речовини, маючи певну кількість енергії, перебуває в стабільному енергетичному стані на визначеному енергетичному рівні. Щоб вивести атом з цього стабільного стану, його потрібно збудити. Процес збудження активної речовини, відомий як «накачування», виконується за допомогою імпульсної світлової лампи. Збуджений атом, отримуючи додатковий фотон від системи накачування, випромінює два фотона, що призводить до своєрідної ланцюгової реакції генерації лазерного випромінювання [18].

Для механічної обробки застосовують твердотільні оптичні квантові генератори (ОКГ), робочим елементом яких є рубіновий стрижень, що складається з оксидів алюмінію, активованих 0,05% хрому. Рубіновий ОКГ функціонує в імпульсному режимі. Принцип дії ОКГ (рис. 1.14) полягає в тому, що електрична енергія джерела струму 1, накопичена у батареї конденсаторів 2, перетворюється у світлову енергію імпульсної лампи 4. Світло від лампи 4 фокусується на рубіновий стрижень 5, внаслідок чого атоми хрому в стрижні переходять у збуджений стан під впливом світлової енергії. Якщо в збудженому стані атом поглинає ще один фотон, він випромінює два фотони, і одночасно електрон переходить на нижчу орбіту, повертаючи атом у нормальний стан. У рубіновому стрижні 5 відбувається ланцюгова реакція. Енергія, накопичена за  $10^{-3}$  с, вивільняється за дуже короткий час (приблизно  $10^{-6}$  с) і концентрується у промені діаметром близько 0,01 мм. Лінза 6 фокусується на заготовці, в результаті чого розплавляється та випаровується елементарний об'єм матеріалу заготовки 7 [19].

Промені світла характеризуються високою спрямованістю, а розбіжність променя зазвичай не перевищує 0,10. Енергія світлового імпульсу ОКГ зазвичай є невеликою і коливається в межах 20-100 Дж, але вона вивільняється за мільйонні частки секунди та концентрується в промені діаметром 0,01 мм. У фокусі діаметр світлового променя становить лише кілька мікрометрів, що забезпечує температури від 6000 до 8000 °С. Внаслідок цього поверхневий шар матеріалу заготовки, що перебуває у фокусі променя, миттєво розплавляється і

випаровується [20].

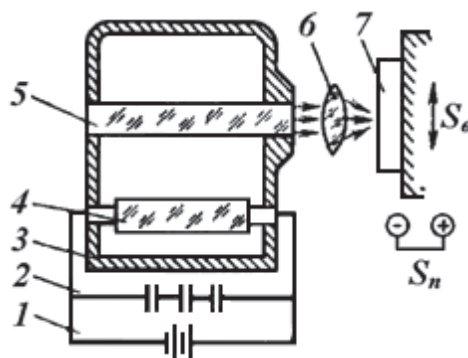


Рис. 1.14. Схема оптичного квантового генератора: 1 – джерело струму; 2 – батарея конденсаторів; 3 – корпус; 4 – імпульсна лампа; 5 – рубін; 6 – лінзи; 7 – заготовка

Лазерну обробку використовують для створення наскрізних і глухих отворів, розкрою заготовок, вирізання елементів з листових матеріалів та прорізання пазів. Цей метод підходить для обробки заготовок з різноманітних матеріалів, включаючи найтвердіші. Наприклад, лазерну обробку отворів застосовують при виготовленні діафрагм для електронно-променевих установок, дюз для дозування повітря або газів у паливній апаратурі дизельних двигунів, а також сит. Діафрагми виготовляють з вольфрамової, танталової, молібденової або мідної фольги товщиною приблизно 50 мкм з діаметром отвору 20-30 мкм. Лазерний промінь також дозволяє виконувати контурну обробку, подібну до фрезерування, що дає можливість обробляти поверхні за складним периметром. Переміщення заготовки відносно світлового променя контролюються системами числового програмного управління (ЧПУ), що дозволяє прорізати у заготовках складні криволінійні пази або вирізати деталі складної геометричної форми (рис. 1.15). [21].





Рис. 1.15. Лазерна обробка матеріалів

### 1.7. Плазмова обробка конструкційних матеріалів

Суть плазмової обробки полягає в тому, що потік плазми (повністю іонізований газ, що складається з позитивних іонів та електронів) спрямовується на поверхню оброблюваної заготовки. Плазму генерують у плазмотронах (рис. 1.16). Дуговий розряд 3 виникає між вольфрамовим електродом 5 і мідним електродом 4, виконаним у вигляді труби та охолоджуванім проточною водою. У трубу подається газ (аргон, азот) або їх суміш. При стисненні дугового розряду газ, взаємодіючи з електронами, іонізується і виходить з сопла плазмотрона у вигляді яскраво світлового струменя 2, який націлюється на оброблювану заготовку 1 [22].

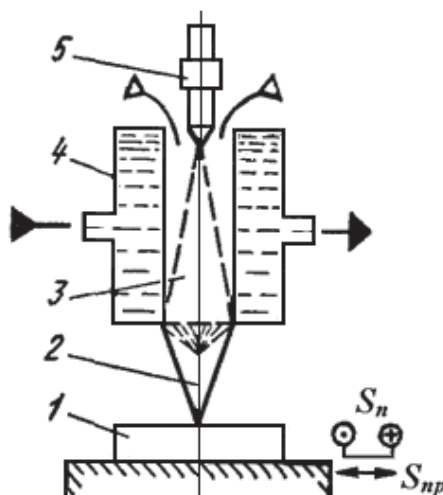


Рис. 1.16. Схема плазмової головки

Плазмовий потік має температуру в межах 10000-30000°C і відзначається високою електропровідністю, що дозволяє регулювати форму плазмового струменя за допомогою магнітних та електромагнітних полів. Це дає

можливість концентрувати теплову енергію на невеликій ділянці, стискаючи струмінь плазми.

Плазмовим методом обробляють заготовки з різних матеріалів, виконуючи прошивку отворів, вирізання заготовок з листового матеріалу, стругання та точіння. При прошивці отворів, розрізанні та вирізанні заготовок головку встановлюють перпендикулярно до поверхні, а при струганні та точінні – під кутом 40-60°. Основною перевагою плазмової обробки є можливість ефективної обробки практично будь-яких матеріалів з високою продуктивністю. Загалом, метод плазмової обробки демонструє найвищу продуктивність у порівнянні з іншими фізико-хімічними методами [22].

## **РОЗДІЛ 2.**

### **РОЗРОБКА МЕТОДИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИВЧЕННЯ НОВІТНІХ МЕТОДІВ ОБРОБКИ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ**

#### **2.1. Розробка тематичного планування вивчення новітніх технологій обробки конструкційних матеріалів**

Сучасний світ динамічно змінюється під впливом науково-технічного прогресу, що вимагає постійного оновлення знань і вмінь у галузі обробки конструкційних матеріалів. Технології, які були ефективними декілька років тому, можуть стати застарілими, поступаючись місцем більш ефективним, екологічно безпечним та економічно вигідним методам. У зв'язку з цим, актуальність тематичного планування вивчення новітніх технологій обробки конструкційних матеріалів є надзвичайно високою.

Тематичне планування дозволяє систематично і послідовно знайомити студентів з останніми досягненнями в галузі обробки матеріалів, такими як адитивні технології, лазерна та плазмова обробка, використання нанотехнологій, роботизовані системи для автоматизації виробництва тощо. Ці знання є критично важливими для підготовки конкурентоспроможних фахівців, які здатні адаптуватися до швидких змін ринку праці та потреб промисловості.

Крім того, тематичне планування забезпечує інтеграцію теоретичних знань з практичними навичками, що є основою ефективного навчання. Використання сучасних технологій обробки матеріалів у навчальному процесі дозволяє студентам краще розуміти їх функціонування, переваги та можливі обмеження. Це, своєю чергою, сприяє розвитку критичного мислення, інноваційного підходу до вирішення виробничих задач і підготовці фахівців, здатних впроваджувати новітні технології на виробництві.

Таким чином, актуальність тематичного планування вивчення новітніх технологій обробки конструкційних матеріалів полягає в необхідності підготовки кваліфікованих кадрів, які можуть ефективно працювати в умовах технологічного прогресу, сприяти підвищенню продуктивності, якості

продукції та конкурентоспроможності підприємств на світовому ринку.

Таблиця 2.1.

Тематичне планування вивчення новітніх технологій  
обробки конструкційних матеріалів

| Дата | К-сть годин | Зміст навчального матеріалу                                                                                                                                                                                                                        | Вимоги до рівня загальноосвітньої підготовки учнів                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|------|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | 2           | Лиття під тиском зі спінюванням                                                                                                                                                                                                                    | <p><i>Знає</i> традиційні та новітні технології обробки конструкційних матеріалів.</p> <p><i>Пояснює</i> технологічні особливості обробки матеріалів тиском, високоенергетичними променевими методами, ультразвуком.</p> <p><i>Наводить</i> приклади традиційних та новітніх методів обробки конструкційних матеріалів.</p> <p><i>Порівнює</i> особливості різних методів обробки конструкційних матеріалів.</p> <p><i>Знає</i> основні операції новітніх методів обробки конструкційних матеріалів.</p> <p><i>Обґрунтовує</i> перспективність використання методів інтенсивної пластичної деформації при отриманні заготовок із наноструктурних матеріалів.</p> <p><i>Вміє</i> визначати структурні, міцнісні та мікромеханічні властивості конструкційних матеріалів.</p> |
|      | 2           | Газодинамічне ущільнення формувальних матеріалів                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|      | 2           | Алмазне і алмазно-іскрове шліфування                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|      | 2           | Електроерозійні методи обробки                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|      | 2           | Електрохімічні методи обробки                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|      | 2           | Ультразвукові методи механічної обробки                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|      | 2           | Променеві методи розмірної обробки                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|      | 2           | Лазерна обробка                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|      | 2           | Плазмова обробка                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|      | 2           | Нанесення захисних покриттів                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|      | 2           | Надпластичність та її використання у процесах обробки матеріалів тиском                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|      | 2           | Особливості рідкого та напіврідкого штампування                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|      | 2           | Використання методів інтенсивної пластичної деформації при отриманні заготовок із наноструктурних матеріалів                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|      | 2           | Ультразвукова обробка тиском                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|      | 2           | Плазмове та лазерне різання                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|      | 2           | Водоструминне та гідроабразивне різання                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|      | 2           | Прогресивні технології лиття                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|      | 2           | Розвиток технології порошкової металургії                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|      | 2           | Розвиток технологій отримання нероз'ємних з'єднань                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|      | 6           | <p><b>Лабораторно-практичні роботи.</b></p> <p>Вивчення мікроструктури оброблених конструкційних матеріалів.</p> <p>Дослідження міцності конструкційних матеріалів.</p> <p>Дослідження мікромеханічних властивостей конструкційних матеріалів.</p> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

## 2.2. Розробка лекційних занять

**Тема лекційного заняття 1:** Новітні технології обробки матеріалів різанням.

**Мета лекційного заняття:** ознайомити студентів із новітніми технологіями різання матеріалів (плазмове, лазерне, гідроабразивне).

**Обладнання та матеріали:** текст лекції, плакати, демонстраційні матеріали, презентація PowerPoint.

### План лекції

1. Класифікація технологічних процесів (технологій) машинобудівних виробництв.
2. Новітні технології різання матеріалів.
  - 2.1. Плазмове різання.
  - 2.2. Лазерне різання.
  - 2.3. Гідроабразивне різання.
3. Порівняння технологічних процесів різання металу.

### Виклад матеріалу

#### ***1. Класифікація технологічних процесів (технологій) машинобудівних виробництв.***

Під технологічним процесом (технологією виготовлення) розуміють послідовну зміну форми, розмірів, властивостей матеріалу або напівфабрикату з метою отримання деталі або виробу відповідно до заданих технічних вимог. Кожен технологічний процес доцільно використовувати у певному діапазоні показників, обумовленому властивостями матеріалу заготовки та інструменту і технологічними особливостями. При досягненні критичного рівня його подальше використання стає неможливим з технічних причин або нерентабельним з економічних міркувань. Для оцінки ефективності застосування нових технологічних процесів застосовуються явні базові техніко-економічні показники, такі як [23]:

- трудомісткість;

- продуктивність;
- собівартість;
- матеріаломісткість;
- енергоємність;
- якість продукції.

Крім того, останнім часом при впровадженні нових технологічних процесів, особливо в країнах західної Європи та Японії, виходять неявні переваги нових технологій, такі як [24]:

- виробнича безпека технологічного процесу;
- менший негативний вплив технологічного процесу або продукту, що виготовляється з його допомогою, на навколишнє середовище. Найбільш яскравим прикладом є виробництво нових типів автомобільних двигунів внутрішнього згоряння, які мають вищу вартість, але й вищі показники екологічної безпеки;
- зменшення термінів проектування та впровадження у виробництво нових видів продукції;
- потенціал розвитку, довготривалість та гнучкість технології.

Технологічні процеси, що застосовуються у різних галузях виробництва, дуже різноманітні.

Для порівняння різних за своєю природою та характером впливу на матеріал технологій найбільш доцільною є класифікація технологічних процесів за місцем у хронологічній послідовності у загальному виробничому процесі виготовлення продукції. За цією ознакою всі технологічні процеси машинобудівних виробництв умовно можуть бути поділені на декілька груп.

1. Заготівельні технології, пов'язані з розкромом стандартного прокату (сортаменту) металургійних виробництв та типових заготовок з неметалічних матеріалів.

2. Технології попереднього формоутворення, пов'язані з отриманням напівфабрикатів для подальшої механічної обробки. До цієї групи насамперед відносять ливарні технології, обробка металів тиском, технології виготовлення напівфабрикатів методами порошкової металургії.

3. Технологічні процеси остаточного формоутворення та механічної обробки. Це, насамперед, різні процеси механічної обробки, електрохімічні та електрофізичні методи обробки, точне штампування та порошкова металургія.

4. Технології зміцнення чи отримання особливих поверхневих властивостей матеріалів. До цих технологічних процесів відносять термічну та хімікотермічну обробку, наплавлення, нанесення покриттів.

5. Технологічні процеси одержання нероз'ємних з'єднань. До цієї групи технологічних процесів належать технології зварювання, паяння, склеювання та клепання.

6. Технологічні процеси покращення декоративних якостей виробу. До цієї групи можна віднести технології фарбування та нанесення декоративних покриттів методами напилення, хімічного та електрохімічного осадження.

Застосування нового технологічного процесу чи матеріалу під час виготовлення продукції є доцільним, якщо відбувається суттєве поліпшення техніко-економічних показників у межах однієї групи. Найбільш перспективним результатом впровадження нової технології є перехід технологічного процесу на вищий рівень і зменшення кількості операцій для отримання готового виробу.

## ***2. Новітні технології різання матеріалів***

Сьогодні є різноманітні способи розділення (розкрою) металів. Проте, всі ці різновиди можна розділити на великі групи (рис. 2.1) [25].

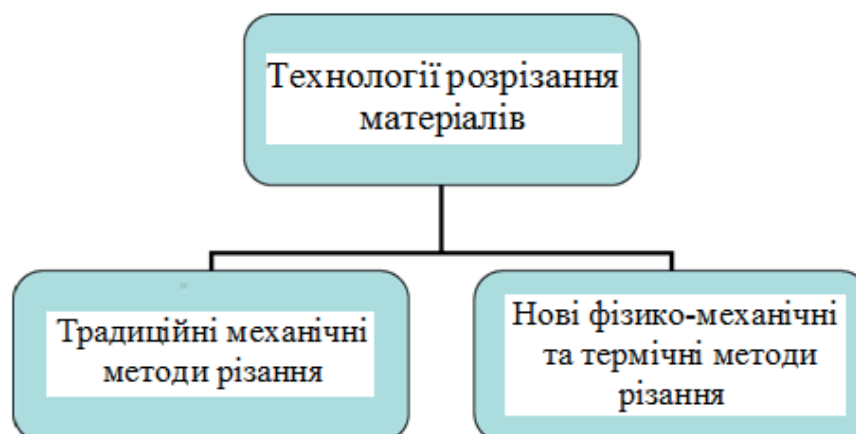


Рис. 2.1. Класифікація технологій розрізання матеріалів

До найпоширеніших методів механічного різання можна віднести [25]:

- різання ножівковими полотнами;
- стрічковими пилами;
- гільйотинними ножицями;
- різання на фрезерних верстатах.

Для виконання процесу механічного різання матеріалів у виробництві використовують різноманітні верстати загального та спеціального призначення, які призначені для розкрою листових, профільних та інших заготовок з різних металів і сплавів. Недоліками механічного різання є [26]:

- низька продуктивність;
- неможливість розкрою матеріалів за складним криволінійним контуром;
- мала стійкість різального інструменту.

Використання механічних методів розкрою листового матеріалу значно підвищує собівартість продукції, що виготовляється, що, у свою чергу, знижує конкурентоспроможність машинобудівних підприємств. У зв'язку з цим останнім часом фізико-механічні методи різання металів здобули все більшого поширення на машинобудівних заводах.

До таких методів різання належать [26]:

- плазмове різання;
- лазерне різання;
- гідроабразивне різання.

У порівнянні з механічними методами вони є значно продуктивнішими, але також мають свої недоліки і свою сферу застосування.

### *2.1. Плазмове різання металу*

Плазмове різання металу є високоефективним, продуктивним і перспективним методом обробки металопродукату. Процес плазмового різання базується на локальному розплавленні металу та видуванні рідкого металу потоком плазмоутворюючого газу (рис. 2.2). Розплавлення металу відбувається під спільним впливом електричної дуги, яка горить між плазмотроном і оброблюваною деталлю, та потоком плазмового газу. Плазмове різання дозволяє обробляти прокат чорних і кольорових металів та сплавів товщиною

до 100 мм. Цей метод знаходить дедалі більше застосування для обробки нержавіючих сталей і кольорових сплавів, зокрема на основі міді, алюмінію та титану [27].



Рис. 2.2. Плазмове різання матеріалів

Основними провідними виробниками обладнання для плазмового різання є такі фірми, як HYPERTHERM (США), Kjellberg (Німеччина), Jaesckle (Німеччина). Обладнання від цих виробників має такі переваги [28]:

- мінімальна ширина різку;
- висока якість поверхні різку;
- великий термін служби електродів та сопел;
- мінімальна витрата газів;
- підвищена швидкість різання (до 6 м/хв при товщині металу, який розрізається, до 10 мм);
- вирізання отворів з малими діаметрами;
- точне вирізання кутів та округлень із малими діаметрами.

Крім того, одним з важливих факторів, що дозволяють значно знизити собівартість продукції, яка виготовляється, це те, що після плазмового різання матеріалів у більшості випадків не потрібна наступна механічна обробка, що дозволяє скоротити кількість операцій технологічного процесу.

## 2.2. Лазерне різання

Лазерне різання це високоефективний спосіб обробки тонколистового металу, тонкостінних труб та інших металевих заготовок. Процес лазерного різання заснований на локальному випаровуванні металу під час нагрівання його променем лазера (рис. 2.3). Легкість поширення лазерного променя дозволяє проводити обробку незалежно від просторового розташування оброблюваної поверхні. Лазерне різання знайшло широке застосування у заготівельному виробництві при різанні тонких листів. Лазерне різання забезпечує якісний, чистий безгратовий різ. Воно має більшу точність порівняно з плазмовим різанням ( $\pm 0,076$  мм). Крім того, відхилення від перпендикулярності кромки при лазерному різанні менше, ніж при плазмовому. Істотним недоліком лазерного різання є низький ККД самого лазера, що не дозволяє обробляти листи товщиною понад 20 мм. Крім того, виникають труднощі при обробці матеріалів з високою відбиваючою здатністю таких, як алюміній та алюмінієві сплави. У той же час лазерному різанню можна піддавати дерев'яні заготовки, заготовки з оргскла та пластмаси [29-31].

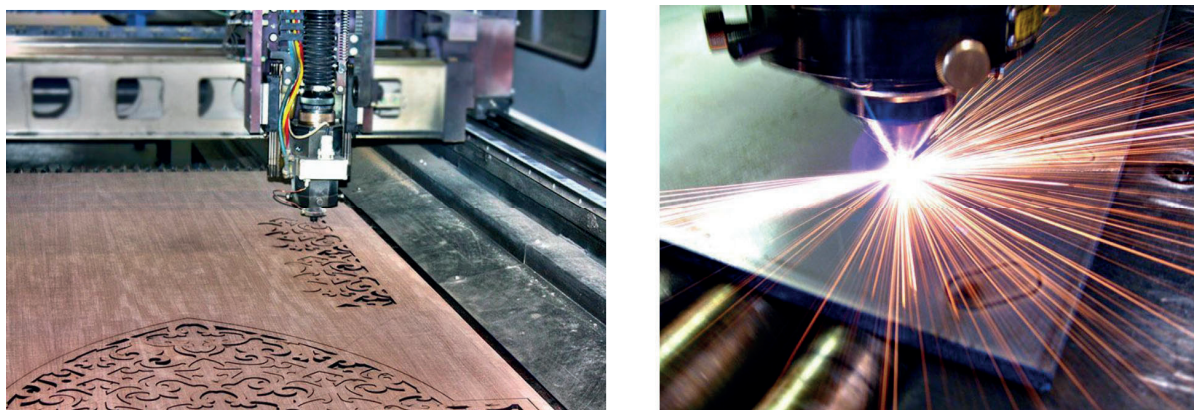


Рис. 2.3. Лазерне різання матеріалів

Лазерне розрізання металу на відміну від альтернативних видів різання (штампування, висікання) має такі незаперечні переваги [30, 31]:

- лазерне розрізання – безконтактне, що не вимагає докладання зусиль при обробці заготовок;
- при лазерному розрізанні виникає мінімальна зона теплової дії, що

забезпечує відсутність деформації заготовок;

- у зв'язку з відсутністю шорсткості різаних країв, напливів і задирок додаткова обробка при лазерному розрізанні металу не потрібна;

- швидкість різання до 1000 мм/хв при товщині металу (сталь) до 10 мм.

Основними провідними виробниками обладнання лазерного різання матеріалів є такі фірми, як Mazak (Японія), Prima Industrie (Італія).

### *2.3. Гідроабразивне різання*

Різання водяним струменем – екологічно чистий, високоефективний та перспективний спосіб обробки листового матеріалу (рис. 2.4). Основою технології гідроабразивного різання є принцип ерозійного впливу, при якому суміш високошвидкісного водяного струменя, що виконує роль носія, і твердих абразивних частинок діє на оброблюваний матеріал. Фізична суть механізму гідроабразивного різання полягає в відриві та видаленні з порожнини різучої частинки матеріалу, що розрізається, завдяки швидкісному потоку твердофазних частинок [32].



Рис. 2.4. Гідроабразивне різання

Переваги використання технології гідроабразивного різання [33]:

- холодне різання не спричиняє термічний вплив на матеріал, який розрізається;

- висока універсальність використання будь-яких матеріалів, різної товщини;

- висока точність різання фасонних частин;

- малі втрати матеріалу внаслідок різання;
- можливість розпочати різання матеріалу у будь-якій його точці;
- площа різання, як правило, не вимагає подальшої обробки;
- різання не вимагає спеціальних умов охорони навколишнього середовища, оскільки різальний матеріал – вода та абразив.

Гідроабразивне різання дозволяє обробляти такі матеріали [33]:

- чорні та кольорові метали – сталь, титан, мідь, бронза, алюміній;
- матеріал типу «камінь» – мармур, граніт, кераміка, фарфор;
- скло – багатошарове, просте, термічно зміцнене;
- інші матеріали – графіт, скловолокно, композиційні матеріали, шкіра, пластмаса, кевлар.

Гідроабразивне різання є сьогодні найбільш ефективним, гнучким, екологічно чистим та енергозберігаючим методом. Крім того, висока якість поверхні різу дозволяє застосовувати даний вид технології розкрою матеріалу не тільки у заготівельному виробництві, але і в галузі точного машинобудування.

При необхідності можливе отримання фінішної поверхні з шорсткістю Ra 1,5-2,5 мкм при відповідному доборі технологічних параметрів встановлення та швидкості різу.

Одним із основних обмежень застосування технології гідроабразивного різання є необхідність постійного припливу води. Таким чином, у приміщенні, де розміщена установка гідроабразивного різання температура навколишнього повітря повинна бути вищою за 10°C.

Основними провідними виробниками обладнання гідроабразивного різання матеріалів є такі фірми, як Waterjet Corporation S.r.l. (Італія), RESATO (Голландія). Швидкість різання деяких матеріалів, що досягаються за допомогою систем Water Jet Sweden, приведено на рис. 2.5. При цьому товщина матеріалу, який розрізається, може досягати близько 300 мм.

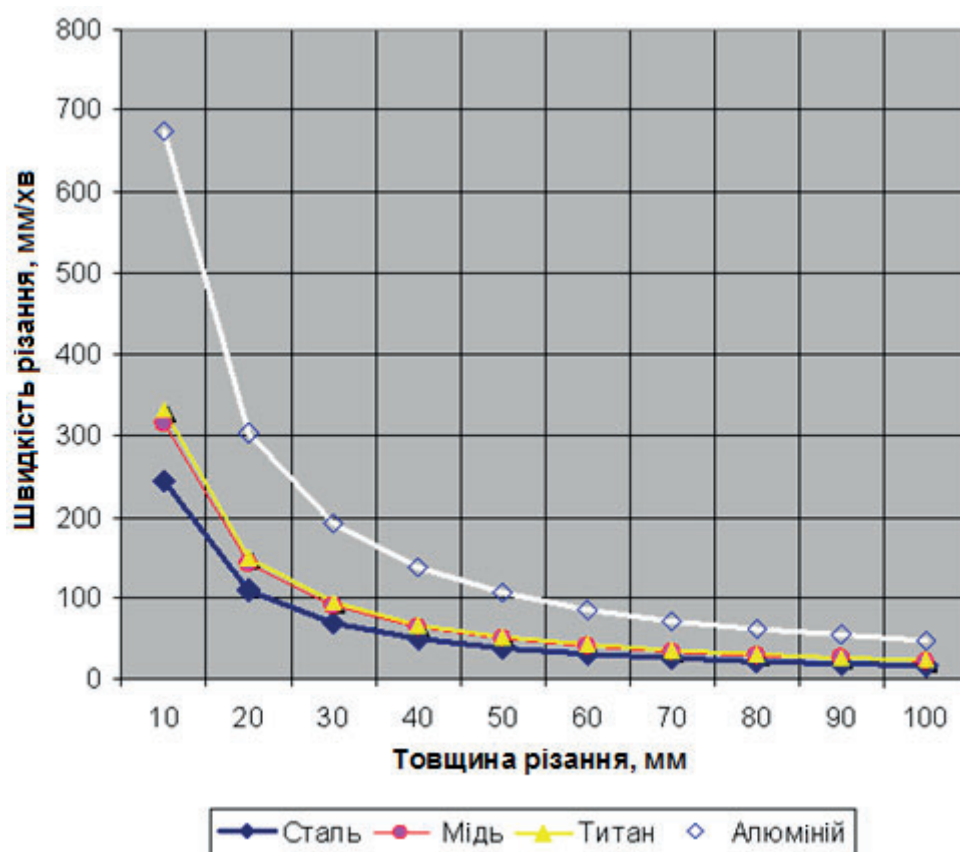


Рис. 2.5. Швидкість різання деяких матеріалів гідроабразивним способом

### 3. Порівняння технологічних процесів різання металу

Порівняння розглянутих технологій може бути зроблено за такими критеріями, як швидкість різання, максимальна товщина матеріалу, за якістю поверхні різі, точністю виробу, вартістю технологічного обладнання. Ці показники представлені у табл. 2.2.

Найбільшого поширення серед систем розрізання листових матеріалів набуло лазерне різання. Широке поширення даної технології різання матеріалів, крім особливостей самого методу, обумовлено двома факторами – більш ранній появі в промисловості технології лазерного різання та серійним випуском автоматизованих лазерних технологічних комплексів.

Плазмове різання має найвищі характеристики продуктивності, проте якість різі гірша, ніж при лазерному та гідроабразивному різанні. В основному ця технологія застосовується для різання товстолистових матеріалів. У цілому нині технологічне устаткування плазмового різання є менш поширеним, ніж промислові лазери.

Таблиця 2.2

Основні технологічні показники обладнання для різання  
листових матеріалів

| Назва технології                  | Швидкість різання при товщині 10 мм, м/хв | Максимальна товщина ріжучого матеріалу, мм | Якість поверхні різання, Ra мкм | Точність одержаного виробу, мм | Вартість технологічного обладнання (у провідних виробників) |
|-----------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| <i>Різання стрічковими пилами</i> | 0,2                                       | 300                                        | 10...20                         | ± 0,2                          | 10000-15000€                                                |
| <i>Лазерне різання</i>            | 1                                         | 20                                         | 5...12                          | ± 0,1                          | 200,000-250,000€                                            |
| <i>Гідроабразивне різання</i>     | 0,3                                       | 300                                        | 2,5...5                         | ± 0,05                         | 160,000-180,000€                                            |
| <i>Плазмове різання</i>           | 6                                         | 100                                        | 5...10                          | ± 0,05                         | 120,000-160,000€                                            |

Найбільш перспективною технологією є гідроабразивне різання. Маючи меншу продуктивність, вона дозволяє отримувати різ високої якості, при цьому не відбувається термічного впливу на матеріал заготовки. Використання цієї технології дозволяє відмовитися від низки операцій механічної обробки, що значно знижує витрати виготовлення деталей. Недостатнє поширення цієї технології зумовлено її порівняльною новизною та відсутністю на ринку обладнання вітчизняного виробництва.

*Контрольні запитання*

1. Що таке обробка матеріалів різанням?
2. Які основні принципи лежать в основі технології різання матеріалів?
3. У чому полягає відмінність між традиційними та новітніми методами обробки різанням?
4. Які переваги має лазерне різання порівняно з механічним різанням?
5. Як працює плазмове обробка матеріалів і які її основні характеристики?
6. Які матеріали найбільше підходять для гідроабразивного різання?

7. У чому полягають переваги використання роботизованих систем у процесі різання?

8. Як впливає швидкість різання на якість поверхні при обробці матеріалів?

9. У яких сферах промисловості застосовується лазерне різання з високою точністю?

10. Які ризики і труднощі можуть виникати при використанні плазмового різання?

11. Як сучасні системи ЧПУ (числове програмне управління) впливають на ефективність обробки різанням?

12. У чому полягає принцип 3D-різання і де воно застосовується?

13. Як впливає твердість матеріалу на вибір технології різання?

14. Які фактори необхідно враховувати при виборі методу різання для певного матеріалу?

15. Які екологічні переваги мають новітні технології різання матеріалів?

**Тема лекційного заняття 2:** Передові технологічні процеси обробки металів тиском.

**Мета лекційного заняття:** ознайомити студентів із передовими технологіями обробки матеріалів тиском.

**Обладнання та матеріали:** текст лекції, плакати, демонстраційні матеріали, презентація PowerPoint.

### **План лекції**

1. Розробка нових технологій пластичної деформації.
2. Точне та секційне штампування.
3. Гідроформування.
4. Ротаційне штампування.
5. Ізотермічне штампування.
6. Радіальна ковка.
7. Ротаційна прокатка.

8. Штампування з обкатуванням.
9. Штампування вибухом.
10. Ізостатичне пресування.
11. Порівняння технологічних можливостей сучасних методів обробки матеріалів тиском.

## **Виклад матеріалу**

### ***1. Розробка нових технологій пластичної деформації***

Рівень використання технологічних процесів обробки металів тиском (ОМТ) у технологічних процесах машинобудівних виробництв значною мірою визначає рівень розвитку машинобудування. Виготовлення деталей з використанням технологічних операцій, пов'язаних з реалізацією пластичної деформації матеріалу, дозволяє мінімізувати кількість відходів і відповідно зменшити матеріаломісткість продукції. Операції ОМТ продуктивніші у порівнянні з обробкою матеріалів різанням, якість та механічні властивості деталей, отриманих за технологією ОМТ, вища, порівняно з їх аналогами, отриманими на металорізальних верстатах. Операції деформування, пов'язані з нагріванням металу, часто поєднуються з операціями термічної обробки, що значно знижує енергоємність процесу. Удосконалення технологічних процесів обробки металів тиском у даний час здійснюється за трьома напрямками [34]:

- розробка нових технологій пластичної деформації;
- розвиток технологічного обладнання для обробки металів тиском;
- розробка нових методів обробки матеріалів тиском.

### ***2. Точне штампування***

Точне штампування застосовується в основному для виготовлення деталей з легких металів (алюмінію, титану), які використовуються в автомобілебудуванні (рис. 2.6) та аерокосмічній галузі. Висока точність досягається завдяки використанню штампових вставок, підвищеній точності гравюр штампів, ретельному контролю температури та тиску в процесі штампування, а також за рахунок модифікації конструкцій штампів. Точне

штампування дозволяє отримувати поковки, які за формою та розмірами наближаються до готових деталей, що дозволяє звести до мінімуму подальшу обробку різанням. Коефіцієнт використання металу можна довести до 98%. Основною проблемою, яка виникає при реалізації даної технології, є підвищені вимоги до точності виготовлення технологічного оснащення та наявність сучасного ковальсько-штампового обладнання з високою точністю регулювання робочих параметрів [35].

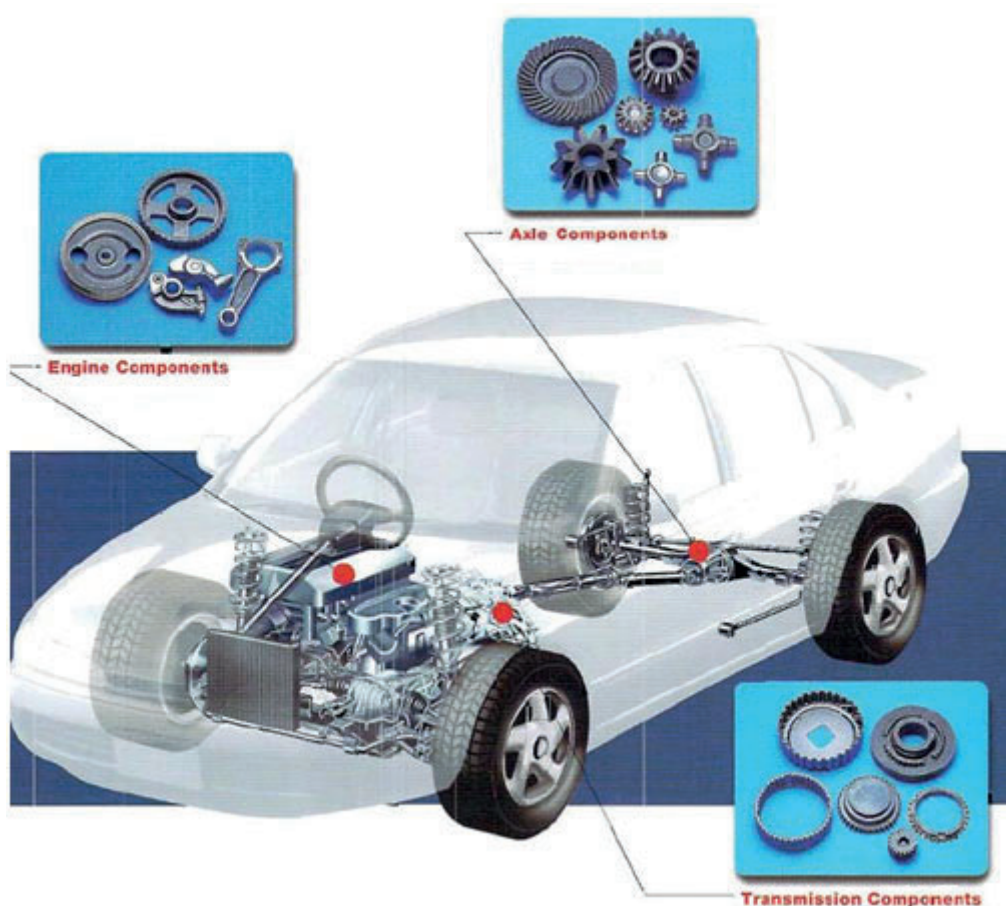


Рис. 2.6. Деталі одержані точним штампуванням

### 3. Секційне штампування

Суть процесу полягає у деформації лише частини заготовки за серію ходів преса. Цей процес аналогічний до обтискання при куванні злитка, товстого листа тощо, але при цьому використовується штамп із порожниною. Ця технологія переважно застосовується для виготовлення великих деталей з високотемпературних сплавів. Площа таких деталей може досягати кількох тисяч квадратних міліметрів, що за традиційного штампування вимагає

наявність преса значної сили. Обладнання, необхідне для операцій секційного штампування може мати на порядок меншу потужність. Сьогодні за допомогою цієї технології за кордоном виготовляють великі осесиметричні деталі стаціонарних газових турбін (Wyman-Gordon Company і Alcoa Forged Products) (рис. 2.7) і різні конструктивні елементи для літака F-18 (виробництва Alcoa Forged Products).

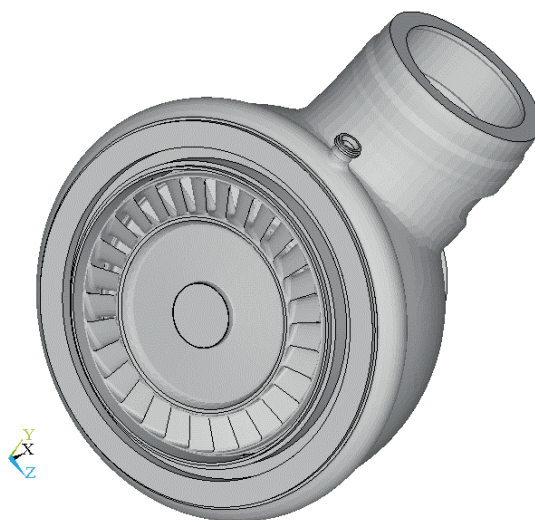


Рис. 2.7. Стаціонарна газова турбіна

#### **4. Гідроформування**

Сьогодні процеси гідроформування отримали найбільшого застосування в автомобілебудуванні, але вони можуть бути ефективними і у виробництві фітінгів, насосів та гідроарматури, а також інших пустотілих деталей Г, П та S-подібних форм, домашньої техніки, меблів тощо (рис. 2.8). Підвищений інтерес до цього процесу пояснюється, зокрема, тим, що він дозволяє поєднувати в часі різні операції деформування (згинання, роздачу, осадку, пробивання, калібрування порожнин тощо).

За відомостями, наведеними у довіднику фірми Schuler, на прикладі виготовлення вихлопної системи автомобіля із застосуванням гідроформування, кількість деталей у системі знизилася з 17 до 9, вартість виготовлення зменшилася на 15%, час надійної роботи збільшився з 1000 до 1500 год і більше. Зменшилася кількість сполук, і з'явилася можливість виготовлення деталей складніших форм. Фірмі Daimler Chrysler завдяки

застосуванню гідроформування вдалося знизити масу вихлопної системи майже в 2 рази.



Рис. 2.8. Деталі виготовлені гідроформуванням

Технологія гідроформування може ефективно застосовуватися замість лиття. У зв'язку зі складністю конструкції та великою масою штампів для виконання гідроформування застосування їх на традиційних гідропресах дуже важко. Для цього існує дуже складне сучасне обладнання (рис. 2.9).

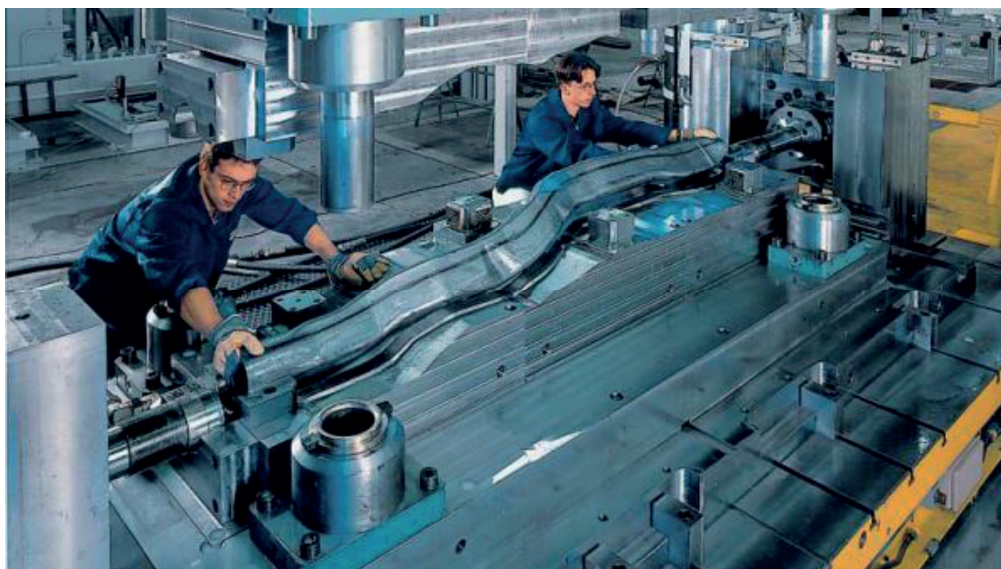


Рис. 2.9. Обладнання для гідроштампування

#### ***4. Ротаційне штампування***

Ротаційне (орбітальне) штампування – це процес, при якому в безперервному режимі деформується лише невелика частина заготовки. Осі верхнього та нижнього штампів мають між собою невеликий кут, що зумовлює невелику площу плями контакту. Від цього кута залежать як контактна площа, так і величина прикладеної сили. Внаслідок обертання штампів пляма контакту проходить через усю заготовку, у результаті досягається необхідна кінцева форма. Сили, які витрачаються на реалізацію цього способу, приблизно на порядок менші, ніж при звичайному штампуванні. Це дозволяє виготовляти складні деталі з більшою точністю [36].

#### ***5. Ізотермічне штампування***

Ізотермічне штампування та штампування в гарячих штампах – це процеси, при яких температура штампів або дорівнює температурі заготовки (ізотермічне штампування) або близька до неї (штампування в гарячих штампах). Дані процеси в основному застосовуються для виготовлення виробів з дорогих матеріалів, таких як титан і сплави на основі нікелю, які при температурі гарячої обробки набувають дрібнозернистої стабільної двофазної структури, що обумовлює їх схильність до надпластичності. Це забезпечує хороше заповнення штампів при об'ємному штампуванні і високий ступінь витяжки при листовому штампуванні. Повна (або часткова) відсутність охолодження штампів дозволяє знизити допуски, а в поєднанні із надпластичністю оброблюваних матеріалів – зменшити необхідну кількість переходів та струмків штампів. Крім того, у зв'язку з відсутністю охолодження штампів можна здійснювати штампування з меншою швидкістю деформації та використовувати менш швидкісне та менш потужне обладнання [37].

#### ***6. Радіальне кування***

Радіальне кування – це технологія, яка найчастіше використовується для осесиметричних деталей, наприклад стволів зброї, причому в каналі ствола точно відтворюється нарізка, зроблена на оправці, а також для виробництва

безшовних кованих труб, порожнистих суднових валів, валів електродвигунів тощо.

Технологія реалізується на машинах радіального кування, які мають три, чотири або шість бойків. Деформація заготовок здійснюється в холодному або гарячому стані, при цьому часто покращуються структура та механічні властивості виробу. Ця технологія забезпечує економію металу 30...50%, порівняно з технологією, яка використовує свердління; зменшення технологічних зусиль кування в 2,4 рази; зменшення трудомісткості виготовлення порожнистих виробів.

### ***7. Ротаційна прокатка***

Ротаційна прокатка (рис. 2.10) дозволяє отримувати вироби типу конусів, днищ цистерн та резервуарів. Інструментом у таких машинах є приводні та не приводні головки еджера, які при обертанні формують конфігурацію виробу. Дані установки дозволяють отримувати циліндричні, конічні вироби, вироби у вигляді напівсфери з фланцями за умов дрібносерійного виробництва.



Рис. 2.10. Ротаційна прокатка

### ***8. Штампування з обкатуванням***

Найважливіші галузі промисловості (ракетнокосмічна, авіаційна, енергетична, оборонна, транспортна тощо) споживають велику кількість тонких плоских деталей типу дисків, фланців, коліс, тарілчастих пружин діаметрами до 1500 мм і більше. У даний час такі деталі штампують на важких молотах,

великих гідравлічних і кривошипних гарячештампувальних пресах, наприклад, диски авіаційних турбін з жароміцних сталей штампують на пароповітряних молотах з масою падаючих частин 16000 кг і більше за 200 ударів при п'яти-семи проміжних підігрівів [38]. Таким чином, потрібне обладнання великої потужності. Загалом такий процес штампування не можна визнати сучасним.

Ефективне вирішення проблеми штампування деталей типу дисків та фланців може бути забезпечене лише при переході на принципово нову технологію штампування з обкатуванням, яка поєднує в єдине ціле процеси штампування та прокатки. Нова технологія дозволяє знизити в 5-20 разів силу деформування, тому потрібне обладнання менш потужне та дороге, ніж традиційне. Відмінною особливістю процесів штампування обкатуванням є локальна зона пластичної деформації при холодному, напівгарячому та гарячому деформуванні.

### ***9. Штампування вибухом***

При штампуванні вибухом заряд розміщують або на поверхні заготовки (при цьому вибухова хвиля безпосередньо впливає на заготовку), або на деякій відстані від неї (у цьому випадку енергія вибуху передається через проміжне середовище: газ, рідина, пісок тощо) (рис. 2.11). За допомогою вибуху можна не тільки виготовляти листові та трубчасті деталі, але й виконувати операції плакування та зварювання металів, штампування металокераміки, отримувати нероз'ємні з'єднання (наприклад, при складанні деталей), здійснення яких іншими методами неможливе чи неекономічне. У процесі високошвидкісного штампування відзначається збільшення характеристик міцності. Крім того, відсутнє (зменшується) пружинення при формоутворенні металів, які важко деформуються, з одночасним підвищенням їх пластичності, що забезпечує отримання точних форм і розмірів складних деталей. Об'ємним штампуванням вибухом можна отримувати деталі вищої якості (порівняно з традиційним штампуванням) [39].

До недоліків цього виду штампування відносять неекономічність при великому обсязі виробництва, труднощі управління процесом, небезпека та

незручність роботи з вибуховою речовиною. Внаслідок цього штампування вибухом застосовують тільки при виготовленні дослідних або одиничних зразків, а також у тих випадках, коли не можна застосувати штампування на пресі, наприклад, для отримання тонкостінних деталей (особливо деталей великих габаритних розмірів).

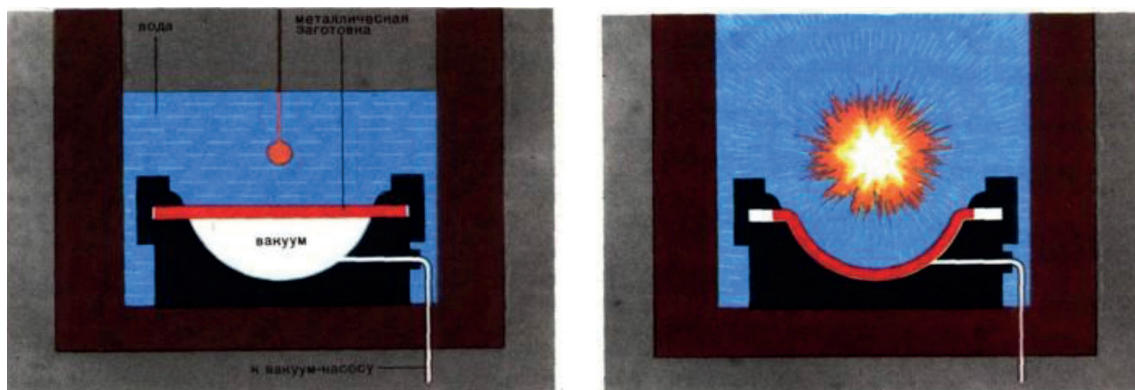


Рис. 2.11. Штампування вибухом

### ***10. Ізостатичне пресування***

Порошкова металургія є одним із найефективніших виробничих методів, які дозволяють отримувати вироби з необхідними властивостями та формою з мінімальними втратами матеріалу та низькими затратами праці. Вона підвищує продуктивність виробництва в 1,5-2 рази та скорочує кількість технологічних операцій до 3-5 разів, а втрати матеріалів становлять лише 5-10%. Завдяки цим та іншим перевагам порошкова металургія широко застосовується у промисловості розвинених країн [40].

Застосування різних способів пресування рухомими середовищами, які часто називають ізостатическим пресуванням, дозволяє мінімізувати недоліки, властиві пресуванню у жорстких прес-формах. Тиск для досягнення однакової щільності в 1,5-2 рази менший, ніж при двосторонньому, і майже втричі менший, ніж при односторонньому пресуванні у жорстких прес-формах. Особливості: високий рівень енергії, яка прикладається на необмеженій площі, що дозволяє отримувати високощільні деталі великих розмірів.

На рис. 2.12 приведено приклади застосування технології гарячого ізостатичного пресування для отримання високотехнологічних виробів.



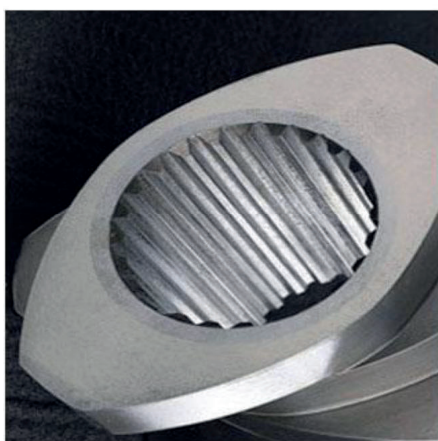
Плакування деталей



Співання деталей з високотехнологічної кераміки



Співання порошкових деталей та ущільнення лиття з титану, жароміцних сплавів, алюмінію



Дифузійне з'єднання деталей із різних матеріалів



НІР-паяння деталей



Виготовлення медичних імплантів

Рис. 2.12. Приклади застосування технології гарячого ізостатичного пресування для отримання високотехнологічних виробів

#### Переваги:

1. Можливість створення в порошку оптимальних схем напружено-деформованого стану, що дозволяє отримувати деталі дуже складної форми.
2. Практична відсутність сил тертя по контактних поверхнях інструменту, що дозволяє підвищити щільність та рівномірність її розподілу; зменшити енергоємність процесу.
3. Зниження вартості оснастки та підвищення її універсальності.
4. Збільшення щільності та зменшення нерівнощільності.

До недоліків можна віднести: низьку продуктивність та меншу точність розмірів деталей.

При пресуванні рухомими середовищами, до яких відносять рідини, гази та еластомери, використовують як статичний, так і імпульсний додаток навантаження. Основними напрямками розвитку технології є:

1. Створення матеріалів та виробів з особливими властивостями та структурою для робіт при підвищених температурах і навантаженнях, наприклад, псевдосплави W-Cu, Fe-C, тверді сплави, фрикційні та антифрикційні вироби складного складу тощо.

2. Створення пористих матеріалів для роботи при підвищених температурах, наприклад пористі фільтри.

3. Виготовлення деталей із остаточними розмірами без додаткової механічної обробки; створення різних інструментальних матеріалів (для свердлів, фрез тощо), які мають високу стійкість при обробці різанням або тиском.

### ***11. Порівняння технологічних можливостей сучасних методів обробки матеріалів тиском***

| Технологія                              | Точність, мм | Шорсткість Ra, мкм | Зусилля деформування, % | Коефіцієнт використання матеріалу |
|-----------------------------------------|--------------|--------------------|-------------------------|-----------------------------------|
| Об'ємне штампування у відкритих штампах | $\pm 1$      | 5-20               | 100                     | 70                                |
| Холодне листове штампування             | $\pm 0,1$    | 0,63-5             | 100                     | 60                                |
| Точне штампування                       | $\pm 0,25$   | 2,5-10             | 100                     | 98                                |
| Гідроформування                         | $\pm 0,25$   | 0,32-2,5           | 50                      | 90                                |
| Секційне штампування                    | $\pm 0,25$   | 0,63-5             | 20                      | 85                                |
| Гвинтове штампування                    | $\pm 1$      | 5-20               | 50                      | 80                                |

#### *Контрольні запитання*

1. Що таке обробка металів тиском і які її основні принципи?
2. Які є основні види процесів обробки металів тиском?

3. Що таке гаряче штампування і де його найчастіше застосовують?
4. Які фактори впливають на якість продукції, виготовленої методом обробки тиском?
5. Що таке ротаційне обтискання і яке його застосування у промисловості?
6. Які інноваційні методи контролю якості застосовуються при обробці металів тиском?
7. Що таке точне штампування і як воно застосовується в автомобільній промисловості?
8. Що таке Секційне штампування і де його застосовують?
9. У чому полягає суть методу ізостатичного пресування металів?
10. Як впливає температура на пластичність металу при обробці тиском?
11. У чому суть процесу штампування вибухом?
12. Які переваги ізостатичного пресування?
13. Які технологічні процеси забезпечують найбільшу економію матеріалу при обробці тиском?
14. При яких сучасних методах обробки матеріалів тиском досягають найвищої точності?
15. При яких новітніх методах обробки матеріалів тиском досягають найменшої шорсткості?

### **2.3. Розробка тестових завдань**

***1. Який із наведених методів обробки матеріалів різанням є найточнішим?***

- a) Механічне фрезерування;
- b) Лазерне різання;
- c) Плазмова різання;
- d) Електрохімічна обробка.

***2. Що є основною перевагою лазерного різання порівняно з традиційним різанням?***

- a) Менший рівень теплового впливу;

- b) Вища швидкість різання;
- c) Можливість різати тільки м'які матеріали;
- d) Низька вартість обладнання.

**3. Який тип обробки матеріалів використовує електричний струм для руйнування матеріалу?**

- a) Лазерне різання;
- b) Електроерозійне різання;
- c) Ультразвукове різання;
- d) Механічне свердління.

**4. Який інструмент використовується у процесі водо абразивного різання?**

- a) Твердосплавний різак;
- b) Ультразвуковий зонд;
- c) Струмінь води з абразивом;
- d) Електрод.

**5. Що є основною перевагою обробки матеріалів ультразвуковим різанням?**

- a) Можливість обробки твердих матеріалів;
- b) Відсутність термічного впливу на матеріал;
- c) Низька вартість обладнання;
- d) Висока швидкість обробки.

**6. Який метод обробки матеріалів різанням забезпечує найменше зношування інструменту?**

- a) Лазерне різання;
- b) Електроерозійне різання;
- c) Механічне різання;
- d) Водоабразивне різання.

**7. Яка з технологій різання найбільш підходить для обробки надтвердих матеріалів?**

- a) Електрохімічне різання;
- b) Лазерне різання;

- c) Алмазне шліфування;
- d) Плазмове різання.

**8. Як називають процес різання металів, який використовує вплив струму високої частоти на оброблюваний матеріал?**

- a) Електроерозійна обробка;
- b) Хімічне гравірування;
- c) Лазерна обробка;
- d) Ультразвукова обробка.

**9. Що є головною перевагою електроерозійного різання при обробці твердих матеріалів?**

- a) Висока швидкість обробки;
- b) Можливість обробки будь-яких металів незалежно від їх твердості;
- c) Використання низької напруги;
- d) Можливість обробки тільки неметалевих матеріалів;

**10. Який із сучасних методів різання найбільше підходить для обробки композитних матеріалів?**

- a) Плазмове різання;
- b) Лазерне різання;
- c) Вододабразивне різання;
- d) Електроерозійне різання.

**11. Що таке обробка металів тиском?**

- a) Процес зміни хімічних властивостей металів;
- b) Процес механічного впливу на метал для зміни його форми без руйнування структури;
- c) Процес плавлення металів;
- d) Процес механічної обробки металів з використанням ріжучих інструментів.

**12. Який основний принцип лежить в основі процесів обробки металів тиском?**

- a) Зменшення температури;
- b) Підвищення тиску на метал до його деформації;

- c) Відшліфовування поверхні металу;
- d) Хімічна обробка металу.

**13. Яка основна мета гарячої обробки металів тиском?**

- a) Поліпшення механічних властивостей металу;
- b) Зменшення ваги металу;
- c) Підвищення електропровідності;
- d) Зміна кольору металу.

**14. Який метод обробки тиском дозволяє отримувати заготовки складної форми?**

- a) Прокатування;
- b) Кування;
- c) Волочіння;
- d) Штампування.

**15. Яка перевага холодної обробки металів тиском?**

- a) Збільшення твердості металу;
- b) Зменшення крихкості металу;
- c) Підвищення пластичності металу;
- d) Зменшення маси виробу.

**16. Що відбувається з металом при обробці тиском?**

- a) Він плавиться;
- b) Він змінює свою форму без порушення цілісності;
- c) Він піддається корозії;
- d) Він розрізається на частини.

**17. Який процес обробки тиском найчастіше використовується для виробництва листового металу?**

- a) Прокатування;
- b) Кування;
- c) Штампування;
- d) Волочіння.

**18. Що таке штампування металу?**

- a) Процес витягування металу через вузький отвір;

- b) Процес формування виробу за допомогою прес-форми;
- c) Процес нагрівання металу до його плавлення;
- d) Процес хімічної обробки поверхні металу.

**19. Що таке секційне штампування?**

- a) Обробка металів тиском за допомогою зварювальних апаратів;
- b) Процес штампування, де виріб формується секціями;
- c) Процес розрізання металу на секції;
- d) Обробка матеріалів методом свердління.

**20. Яка основна перевага секційного штампування?**

- a) Можливість обробки великих деталей;
- b) Зниження температури обробки;
- c) Підвищення точності виготовлення складних форм;
- d) Використання більш дешевих матеріалів.

**21. У якому випадку найчастіше застосовується секційне штампування?**

- a) Для виробництва великих деталей з точними параметрами;
- b) Для виробництва дрібних елементів;
- c) Для обробки сплавів із високою температурою плавлення;
- d) Для деталей, які не потребують високої точності.

**22. Що таке гідроформування?**

- a) Процес нагрівання металу для його формування;
- b) Процес формування металевих виробів за допомогою високого тиску рідини;
- c) Процес витягування металу через вузький отвір;
- d) Метод обробки металів за допомогою вибухів.

**23. Яка основна перевага гідроформування?**

- a) Зменшення маси виробу;
- b) Збільшення точності виготовлення складних форм;
- c) Підвищення швидкості виробництва;
- d) Зменшення тиску, необхідного для обробки.

**24. Для яких матеріалів зазвичай застосовують гідроформування?**

- a) Лише для сталі;
- b) Для металів з низькою пластичністю;
- c) Для матеріалів із високою пластичністю, таких як алюміній та мідь;
- d) Для керамічних матеріалів.

**25. Що є основною характеристикою ротаційного штампування?**

- a) Використання статичних форм;
- b) Використання обертальних інструментів для формування виробів;
- c) Використання вибухів для формування;
- d) Використання лише для обробки пластмас.

**26. Де зазвичай застосовується ротаційне штампування?**

- a) У виробництві автомобільних деталей;
- b) У виготовленні електронних компонентів;
- c) Для обробки харчових продуктів;
- d) У виробництві медичних інструментів.

**27. Що таке радіальне кування?**

- a) Процес обробки металу за допомогою радіального тиску;
- b) Процес термічної обробки металу;
- c) Процес плавлення металу;
- d) Процес обробки металу високочастотними хвилями.

**28. Які вироби найчастіше виготовляють методом радіального кування?**

- a) Листові матеріали;
- b) Валоподібні деталі;
- c) Пластикові вироби;
- d) Гумові елементи.

**29. Яка особливість процесу радіального кування?**

- a) Метал обробляється без нагрівання;
- b) Процес відбувається під високим тиском за допомогою спеціальних молотків;
- c) Використовуються рідини для передачі тиску;

d) Вироби обробляються за допомогою лазерів.

**30. Що відбувається під час штампування з обкатуванням?**

- a) Метал обробляється шляхом розігрівання;
- b) Заготовка обертається навколо своєї осі під час формування;
- c) Метал піддається статичному тиску;
- d) Метал різко охолоджується після нагрівання.

**31. Яка основна перевага штампування з обкатуванням?**

- a) Вироби виходять більш легкими;
- b) Можливість обробки дуже великих деталей;
- c) Покращення точності та однорідності форми;
- d) Зниження витрат матеріалу.

**32. Що таке штампування вибухом?**

- a) Процес формування металу під впливом вибухової хвилі;
- b) Процес різання металу за допомогою вибуху;
- c) Процес, де вибух використовується для розігрівання металу;
- d) Формування виробів з пластику за допомогою вибуху.

**33. Яке основне застосування штампування вибухом?**

- a) Виробництво масових деталей для машинобудування;
- b) Формування великих конструкцій з низькою точністю;
- c) Виготовлення деталей для авіаційної та космічної промисловості;
- d) Формування виробів для харчової промисловості.

**34. Що таке ізостатичне пресування?**

- a) Процес обробки металів за допомогою різання;
- b) Процес обробки під високим тиском в усіх напрямках одночасно;
- c) Процес плавлення металів під високою температурою;
- d) Процес витягування металу через вузький отвір.

**35. Яка перевага ізостатичного пресування?**

- a) Підвищення пластичності виробу;
- b) Забезпечення рівномірного тиску на всі боки заготовки;
- c) Використання меншої кількості матеріалу;
- d) Збільшення кількості операцій для формування.

## ВИСНОВОК

Встановлено, що сучасні методи обробки металів і сплавів, такі як лазерне, плазмове, гідроабразивне різання, штампування і лиття під тиском, забезпечують високу точність, ефективність та економічність виробничих процесів. Вони сприяють зниженню втрат матеріалів, підвищують швидкість виробництва та забезпечують можливість виготовлення деталей складної форми. Завдяки цим інноваціям досягається покращення якості продукції, зменшуються витрати на енергію та ресурси, що робить їх незамінними у промисловості.

Розроблено методичне забезпечення для ознайомлення майбутніх учителів трудового навчання з передовими технологіями обробки конструкційних матеріалів, зокрема два лекційні заняття та тестові завдання для закріплення вивченого матеріалу. Вивчення новітніх методів обробки конструкційних матеріалів є надзвичайно важливим для майбутніх учителів технологій, оскільки ці знання забезпечують їхню професійну компетентність та готовність до роботи в умовах сучасної школи. Вчителі, обізнані з передовими технологіями обробки матеріалів, зможуть ефективно навчати учнів сучасним інженерним та виробничим процесам, що є необхідним для підготовки кваліфікованих фахівців у технічних галузях. Окрім того, це сприятиме розвитку інноваційного мислення та творчих підходів до вирішення технологічних завдань, що є ключовими аспектами сучасної освіти.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Олег Мавдрик, Юрій Павловський. Сучасні технології обробки матеріалів. Актуальні проблеми сучасної науки. Матеріали XI-ї Міжнародної науково-практичної конференції студентів та викладачів факультету фізики, математики, економіки та інноваційних технологій. / За редакцією Юрія Матуріна, Ігоря Столярчука. Дрогобич: РВВ ДДПУ ім. І. Франка, 2024. С. 444-447.
2. Електроерозійна обробка металів – про суть процесу. URL: <https://mirstankov.com/uk/elektroerozijna-obrobka-metaliv-pro-sut-procesu/>
3. Коваленко В.С. Обладнання та технологія електрофізичних та електрохімічних методів обробки. Київ: Вища школа, 1982. 286 с.
4. Електромеханічні й електроерозійні методи обробки. URL: <https://vseosvita.ua/library/embed/0100fic6-7b85.docx.html#:~:text=Електроконтактна%20обробка%20базується%20на%20механічному,розплавленням%20цих%20поверхонь%20електричним%20струмом.>
5. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів: навч. посібник / В.В. Хільчевський, С.Є. Кондратюк, В.О. Степаненко, К.Г. Лопатько. Київ: Либідь, 2002. 328 с.
6. Основи обробки матеріалів і інструмент. URL: <https://pitbddma.org.ua/wp-content/uploads/2018/01/конспект-повний.pdf>
7. Атаманюк В.В. Технологія конструкційних матеріалів. Київ: Кондор, 2006. 528 с.
8. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів: Підручник / А.С. Опальчук, Є.Г. Афтанділянц, Л.Л. Роговський, О.Є. Семеновський. Ніжин: ПП Лисенко М.М, 2013. 752 с.
9. Нетрадиційні методи механічної обробки матеріалів: конспект лекцій / Б.А. Ступін, О.В. Івченко, О.Д. Динник, Р.М. Зінченко. Суми: Сумський державний університет, 2016. 149 с.
10. Чучман Ю.І. Технологія машинобудування для електромеханіків. Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2001.

348 с.

11. Кіяновський М.В., Цивінда Н.І. Електрофізичні та електрохімічні методи обробки поверхонь деталей у машинобудуванні: [навчальний посібник]. Кривий Ріг: Видавничий центр КТУ, 2011. 412 с.

12. Клименко В.М., Шиліна О.П., Осадчук А.Ю. Технологія конструкційних матеріалів. Частина третя. Основи механічної обробки матеріалів. Навчальний посібник. Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. 90 с.

13. Пащенко В.М. Текст лекцій з дисципліни «Обробка матеріалів концентрованими потоками енергії». Київ: НТУУ «КПІ» ЗФ, 2013. 150 с.

14. Носуленко В. І., Шмельов В. М. Розмірна обробка металів електричною дугою: Навчальний посібник. Кропивницький: ПП «Ексклюзив-Систем», 2017. 256 с.

15. Leong T.Y. Ultrasonic Technology for Desiccation of Soil. 2016. 246 p.

16. Ультразвукова обробка матеріалів 2018. URL: <https://extxe.com/2192/ultrazvukovaja-obrabotkamaterialov/>

17. Інтегровані технології обробки матеріалів [Текст]: підручник / Е.С. Геворкян, Л.А. Тимофеева, В.П. Нерубацький та ін. Харків: УкрДУЗТ, 2016. 238 с.

18. Архіпова Т.Ф. Електронно-променеві технології. Лабораторний практикум. Вінниця: ВНТУ, 2017. 83 с.

19. Інструменти та методи спеціальної розмірної обробки [Текст]: навч. посіб. /Є.О. Джур, Д.І. Шевчук, О.В. Бондаренко, С.В. Манжеліївський. Дніпро: «Інновація», 2011. 75 с.

20. Пупань Л.І. Лазерні технології у машинобудуванні: навч. посібник для студентів спеціальності «Прикладна механіка» денної, заочної та дистанційної форм навчання. Харків: НТУ «ХПІ», 2020. 109 с.

21. Бобицький Я.В., Матвійшин Г.Л. Лазерні технології: навч. посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2015. 246 с.

22. Плазмова обробка. URL: [https://stud.com.ua/36372/tovaroznavstvo/plazmova\\_obrobka](https://stud.com.ua/36372/tovaroznavstvo/plazmova_obrobka)

23. Класифікація технологічних процесів. URL: <https://studfile.net/preview/>

3907191/page:2/

24. Жежуха В.Й. Класифікація технологічних процесів машинобудівних підприємств як основи установлення рівня їх інноваційності. URL: [https://vlp.com.ua/files/25\\_21.pdf](https://vlp.com.ua/files/25_21.pdf)

25. Сучасні технології різання металу. URL: <https://kt-stal.com.ua/современные-технологии-резки-металл>

26. Впровадження передових технологій в сучасній металообробці. URL: <https://metal-holding.ua/ua/blog/vnedrenie-peredovyh-tehnologij-v-sovremennoj-metalloobrabotke>

27. Плазмова різка металу: принцип роботи, технологія, системи. URL: <https://terma.in.ua/ua/a391855-plazmennaya-rezka-metalla.html>

28. Плазмова різка металу. URL: <https://spetsbud.vimal.ua/plasma-cutting-of-metal>

29. Чим відрізняється лазерне різання від плазмового. URL: <https://martensit-plus.com/chem-lazernaya-rezka-otlychaetsya-ot-plaz/>

30. Сучасні методи лазерного різання металу та їх застосування. URL: <https://mebelart.kiev.ua/uk/metal-processing-methods>

31. Афанасьєва О.В., Лалазарова Н.О. Сучасні технології лазерного різання матеріалів. *Матеріалознавство та технології*: Міжнар. наук.-техн. конф., 22–23 верес. 2022 р. Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т. Харків, 2022. С. 164-170.

32. Про технологію гідроабразивного різання матеріалів. URL: <https://www.roden.ua/waterjet-cutting-technology.html>

33. Гідроабразивне різання. URL: <https://mestro.com.ua/uk/gidroabrazivne-rizannya/>

34. Технологія обробки металів і сплавів тиском. URL: [https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u132/navchal\\_na\\_praktika\\_tkm\\_obrobka\\_tiskom.pdf](https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u132/navchal_na_praktika_tkm_obrobka_tiskom.pdf)

35. Що таке точне штампування? URL: <https://ua.mhsheetmetal.com/news/what-is-precision-metal-stamping-72806294.html>

36. Технологія ротаційного формування. URL: <https://komandor2000.ua/>

ua/index.php?route=blog/single&pid=30&srsltid=AfmBOopyRxHOvUR9EpbhF0ho-5KrT4B0AtH-VMFv0Ris4ht\_hcENOOzB

37. Проектування та виробництво заготовок деталей машин. Самостійна та індивідуальна робота студентів : [навч. посіб.] / Ж. П. Дусанюк, О. В. Дерібо, С. В. Репінський, О. В. Паславська. Вінниця: ВНТУ, 2017. 88 с.

38. Роганов Л.Л. Сучасне ковальсько-пресове обладнання: Навчальний посібник. Краматорськ: ДДМА, 2008. Ч.1. 56 с.

39. Вибухове штампування. URL: [https://leksika.com.ua/14680524/ure/vibuhove\\_shtampuvannya](https://leksika.com.ua/14680524/ure/vibuhove_shtampuvannya)

40. Ізостатичне пресування. URL: [https://pidru4niki.com/92869/tehnika/izostaticzne\\_presuvannya](https://pidru4niki.com/92869/tehnika/izostaticzne_presuvannya)