

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет водного господарства та  
природокористування  
Кафедра транспортних технологій і технічного сервісу

**02-02-187М**

### **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни  
«Технічний сервіс транспортних засобів»  
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня  
за освітньо-професійною програмою 275.03 «Транспортні  
технології (на автомобільному транспорті)» спеціальності 275  
«Транспортні технології (за видами)» галузі знань 27  
«Транспорт» денної та заочної форм навчання

Частина 2. Відновлення деталей транспортних засобів

Рекомендовано  
науково-методичною радою з  
якості навчально-наукового  
механічного інституту  
Протокол № 6 від 21.03.2023р.

Рівне – 2023

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Технічний сервіс транспортних засобів» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою 275.03 «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)» спеціальності 275 «Транспортні технології (за видами)» галузі знань 27 «Транспорт» денної та заочної форм навчання. Частина 2. Відновлення деталей транспортних засобів [Електронне видання] / Хітров І. О. – Рівне : НУВГП, 2023. – 47 с.

Укладач: Хітров І. О., доцент кафедри транспортних технологій і технічного сервісу, канд. техн. наук, доцент.

Відповідальний за випуск – Никончук В. М., в.о. завідувача кафедри транспортних технологій і технічного сервісу, д-р. екон. наук.

Керівник групи забезпечення спеціальності – Хітров І. О.

© І. О. Хітров, 2023

© НУВГП, 2023

## ЗМІСТ

Лабораторна робота № 1. Дефектування деталей транспортних засобів .....	4
Лабораторна робота № 2. Відновлення деталей транспортних засобів наплавленням під шаром флюсу .....	14
Лабораторна робота № 3. Відновлення деталей транспортних засобів електромеханічною обробкою .....	21
Лабораторна робота № 4. Відновлення деталей транспортних засобів методом пластичного деформування	30
Лабораторна робота № 5. Відновлення деталей транспортних засобів електролітичним хромуванням .....	40
Література .....	47

## **Лабораторна робота № 1**

### **Дефектування деталей транспортних засобів**

**Мета лабораторної роботи:** набуття практичних навиків контролю технічного стану деталей шляхом їх дефектування.

**Обладнання, інструмент:** деталі для дефектування (вал, вісь, шестерня, підшипник, корпус коробки передач); пристрій для вимірювання геометричних розмірів деталей (мікрометр, нутромір, кільця різьбові, штангензубомір, мікрометр різьбовий, індикатор годинникового типу, лупа).

### **1. Загальні відомості**

Під час нормальної експлуатації транспортних засобів відбувається зміна його технічного стану, яка найчастіше проявляється у відхиленнях геометричних розмірів, заданої форми і зовнішнього вигляду, зміні функціональних властивостей матеріалу, зміні умов мащення, тощо. Така невідповідність кожного окремого параметру встановленим вимогам нормативно-технічної документації називається дефектом (відносяться як до окремих поверхонь, так і до деталі в цілому).

При контролі технічного стану (дефектуванні) деталей транспортних засобів застосовують певні методи вимірювання: абсолютний і відносний. Метод вимірювання при якому вимірювальний інструмент показує абсолютне значення вимірюваного параметра називається абсолютним (наприклад, вимірювання зовнішньої циліндричної поверхні деталі за допомогою штангенциркуля або мікрометра). Метод вимірювання при якому вимірювальний інструмент показує відхилення контрольованого параметра від встановленого розміру називається відносним (наприклад, вимірювання за внутрішнього отвору корпусної деталі за допомогою нутроміра).

Якщо вимірювальний елемент приладу безпосередньо дотикається з контрольованою поверхнею, то такий метод називають контактним, а якщо не дотикається – безконтактний.

При вимірюванні методом безпосередньої оцінки (прямий метод) шукане значення величини визначають безпосередньо за

відліковим пристроєм засобу вимірювання, а непрямим методом значення величини знаходять вимірюванням іншого параметру, пов'язаного з шуканим певною залежністю (наприклад, у ротаметрі, щоб визначити розмір отвору, треба застосовувати залежність між зазором і витратою повітря).

Методи контролю поділяються на диференціальні (вимірюють значення геометричних параметрів кожної окремої взятої деталі) і комплексні (вимірюють сумарні параметри спряжуваної деталі).

Розглянемо комплексний метод оцінки придатності підшипників кочення за величиною зазору (осьового і радіального). Підшипник, який підлягає контролюють, встановлюють на спеціальний пристрій (рис. 1.1). Для цього підшипник фіксують внутрішнім кільцем через розпірну втулку 1, розтискання якою відбувається конусною оправкою 2 (переміщення якої задається гайкою 3). Для визначення величини зазору застосовують індикатор годинникового типу 4, який фіксується за допомогою затискача на стійці контрольного пристрою.

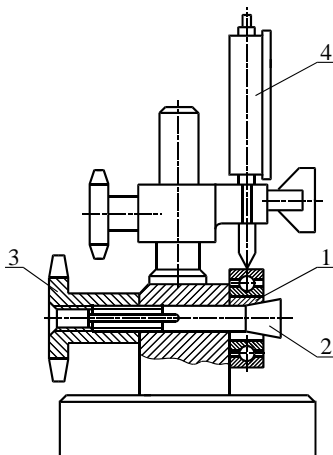


Рис. 1.1. Пристрій для контролю величини зазору підшипника кочення транспортних засобів:

1 – розпірна втулка; 2 – конусна оправка; 3 – гайка; 4 – індикатор годинникового типу

Індикатор годинникового типу може фіксуватися в горизонтальному і вертикальному положенні для визначення, відповідно, осьового або радіального зазору.

Здійснюючи коливальні рухи зовнішнього кільця підшипника кочення у вертикальному напрямку визначають величину радіального зазору (фіксують найбільше відхилення стрілки індикатора), а у горизонтальному напрямку – визначають величину осьового зазору.

З метою підвищення продуктивності праці та якості дефектування застосовують спеціальні безшкальні жорсткі інструменти (пробки, скоби, шаблони). Ними зручно дефектувати циліндричні і фасонні поверхні (зуби, шліци, шпонкові пази тощо). Наприклад, шестерня вважається придатною для подальшої експлуатації, якщо при встановленні шаблону на зуб залишається зазор між шаблоном і вершиною зуба (рис. 1.2).

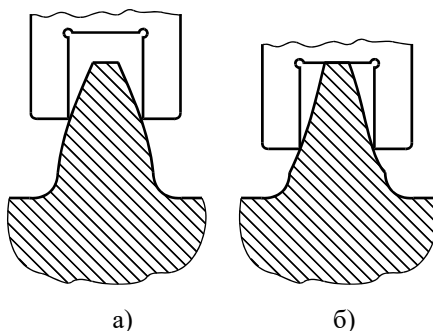


Рис. 1.2. Перевірка шаблоном товщини зуба шестерні:  
а – придатна для подальшої експлуатації; б – непридатна

Найчастіше при дефектуванні деталей транспортних засобів в процесі їх ремонту застосовуються універсальні вимірювальні інструменти за допомогою яких визначають відхилення контрольованих поверхонь від заданого розміру (зазору або натягу, площинності, профілю тощо). До них відносяться лінійки, повірочні плити, штрихові інструменти з ноніусом (штангенциркуль, штангенрейсмус, штангенглибиномір, штангензубомір), мікрометричні

(мікрометри, мікрометричний нутромір, глибиномір), механічні прилади (індикатор годинникового типу, важільна скоба, важільний мікрометр) і ряд інших вимірювальних приладів (оптиметри, ротаметри, інструментальні мікроскопи).

Необхідно враховувати метрологічні характеристики вимірювальних засобів (ціну поділки та інтервал шкали, точність відліку, похибку вимірювання). Щоб імовірність вибракування придатної деталі (пропуску непридатної) була допустимо мала, повинно зберігатися співвідношення між допуском на допустиме зношування  $\delta$  і граничною похибкою інструменту  $\Delta_{lim}$

$$\Delta_{lim} \leq K \cdot \delta, \quad (1)$$

де  $K$  приймають рівним 0,25-0,30.

Величина допуску  $\delta$  визначається як різниця між середнім і допустимим розмірами.

## **2. Послідовність виконання роботи**

1. Під керівництвом майстра виробничого навчання ознайомитися з організацією робочого місця для виконання лабораторної роботи, з необхідним інструментом, пристосуванням для дефектування деталей, особливостями його застосування, розміщенням іншого допоміжного обладнання.

2. Ознайомитися з технікою безпеки при виконанні лабораторної роботи.

3. Вивчити загальні відомості до виконання лабораторної роботи, надану технічну документацію або довідкову літературу.

4. Ознайомитися з можливими характерними дефектами деталей, особливостями їх дефектування (табл. 1.1). Вивчити дефекти натурних деталей на прикладі вала, шестерні, підшипника.

Таблиця 1.1

Характерні дефекти деталей, способи їх контролю,  
дефектування та усунення

Характерний дефект деталі	Спосіб виявлення дефекту	Вимірювальний інструмент (засіб контролю)	Спосіб усунення дефекту
1	2	3	4
<i>дефектування деталі типу – вал</i>			
Спрацювання бічних поверхонь шліців за товщиною	Вимірювання шліців	Ролики калібровані, мікрометр зубомірний типу МЗ	Наплавити і обробити до необхідного розміру
Спрацювання шліців за діаметром впадин	Вимірювання шліців	Ролики калібровані, мікрометр зубомірний типу МЗ	Наплавити і обробити до необхідного розміру
Спрацювання зовнішньої поверхні під підшипник	Вимірювання поверхні валу під підшипник	Мікрометр гладкий типу МК	Наплавити і обробити до необхідного розміру
Спрацювання зовнішньої поверхні під ущільнення	Вимірювання поверхні валу під ущільнення	Мікрометр гладкий типу МК, лупа, профілограф	Наплавити і обробити до необхідного розміру
Спрацювання різьби або зрив більш ніж двох ниток різьби	Зовнішній огляд	Різьбові кільця, мікрометр різьбовий типу МВМ, МВМВ	Нарізати різьбу ремонтного розміру або наплавити і обробити під номінальний розмір



1	2	3	4
<i>дефектування деталі типу – шестерня</i>			
Зломи, тріщини, викришування робочої поверхні зуба шестерні	Зовнішній огляд	Лупа	Заміна
Заусениці, забоїни робочих поверхонь шестерні	Зовнішній огляд	Лупа	Механічна обробка для усунення дефекту
Спрацювання робочої поверхні зубів шестерні	Вимірювання товщини зуба	Мікрометр зубомірний типу МЗ, штангензубомір типу ШЗ	Заміна (допускається наплавлення зубів з наступною механічною обробкою або напресуванням зубчатого вінця)
Спрацювання внутрішньої поверхні отвору шестерні	Вимірювання поверхні отвору	Нутромір індикаторний типу НИ	Електролітичне нарощення поверхні
Спрацювання шпоночного паза шестерні	Вимірювання ширини шпоночного пазу	Кінцеві міри довжини, калібр шпонкових пазів	Обробити паз до ремонтного розміру або фрезерувати новий, повернувши деталь на 180°

продовження табл. 1.1

1	2	3	4
<i>дефектування деталі типу – підшипник кочення</i>			
Тріщини, викришування робочих поверхонь, наявність характерних кольорів мінливості, пошкодження сепаратора або захисного пильника	Зовнішній огляд	Лупа	Підшипник підлягає заміні (перераховані дефекти не допускаються)
Шум, заїдання при обертанні обойми підшипника	Зовнішній огляд	Шумомір, стетоскоп автомобільний	Підшипник підлягає заміні (перераховані дефекти не допускаються)
Спрацювання бігових доріжок і тіл кочення	Вимірювання осьового і радіального зазору підшипника	Пристрій для визначення зазорів	Підшипник підлягає заміні або придатний для подальшої експлуатації
Спрацювання поверхні спряження з підшипником (внутрішньої – для вала або зовнішньої – для отвору)	Вимірювання спряженої поверхні валу або отвору під підшипник	Нутромір індикаторний типу НИ, мікрометр гладкий типу МК	Замінити підшипник або відновити спряжену поверхню

5. Дослідити конструктивне виконання і технологією виготовлення досліджуваних деталей (вал, шестерня, підшипник кочення), визначити умови їх роботи, встановити імовірні дефекти, причини їх появи.

6. Накреслити ескіз досліджуваних деталей із схематичним зображення місць контролю – рис. 1.3.

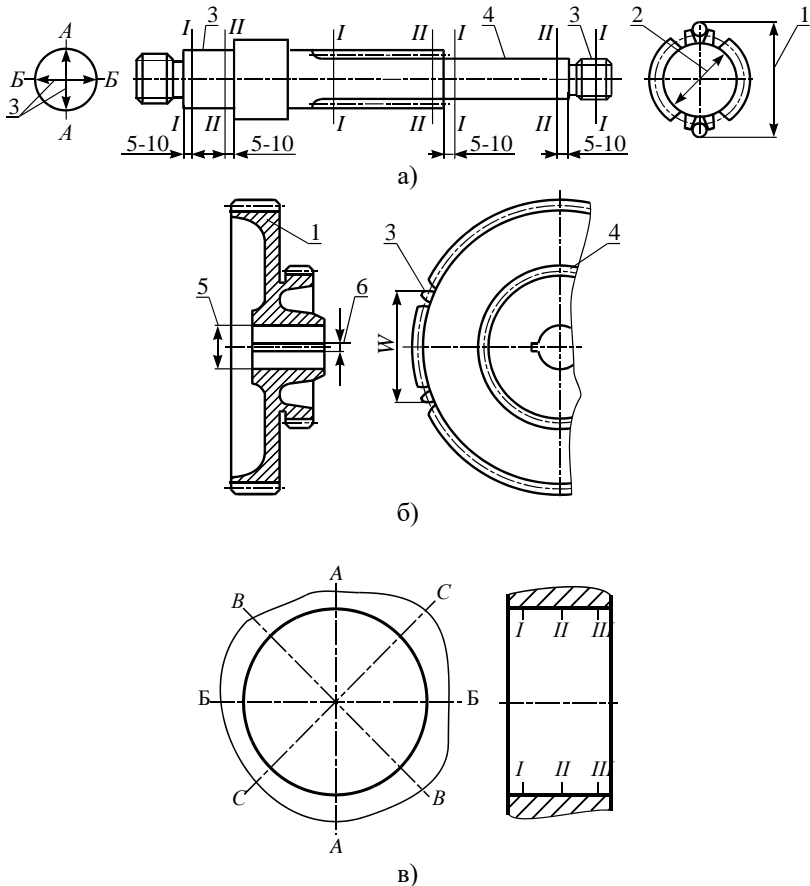


Рис. 1.3. Досліджувана деталь з схематичним зображенням вимірювання геометричних параметрів для дефектування вала (а); шестерні (б) і посадочної поверхні під підшипник кочення (в): А-А, Б-Б, В-В, С-С – площини вимірювання; I-I, II-II, III-III – перерізи вимірювання

7. Провести дефектування вказаних деталей, дані яких заносяться у відомість для дефектування – табл. 1.2.

Таблиця 1.2

Відомість дефектування деталей транспортних засобів

<i>Результати вимірювання розмірів деталі (вал)</i>					
Умовний переріз вимірювання (див. рис. 1.3)	Умовна площина вимірювання (див. рис. 1.3)	Конструктивний елемент деталі, його геометричний розмір, мм			
		шийка вала		пліцева поверхня	
		передня	задня	діаметр впадин	бічна поверхня
<i>I-I</i>	<i>A-A</i>				
	<i>B-B</i>				
<i>II-II</i>	<i>A-A</i>				
	<i>B-B</i>				
Середнє значення	-				
Висновок					
<i>Результати вимірювання розмірів деталі (підшипник кочення)</i>					
Кут повороту обойми підшипника, град.	Геометричні розміри підшипника, мм			Зазор підшипника, мкм	
	зовнішній діаметр <i>D</i>	внутрішній діаметр <i>d</i>	ширина <i>B</i>	осьовий	радіальний
0°					
120°					
240°					
Середнє значення					
Висновок					

<i>Результати вимірювання розмірів деталі (шестерня)</i>					
Умовний переріз вимірювання (див. рис. 1.3)	Умовна площа вимірювання отвору під підшипник (див. рис. 1.3)		Конструктивний елемент деталі, його геометричний розмір, мм		
	А-А	Б-Б	ширина шпоночного пазу	розміри вінця (зубів)	
				відстані між зубами $W$	хорда $S_c$
<i>I-I</i>					
<i>II-II</i>					
Середнє значення					
Висновок					

7. За результатами дефектування встановити відповідність вимірних розмірів шляхом їх порівняння з новими (заводськими) або відновленими (ремонтними) розмірами деталей. Вказати можливий спосіб усунення дефекту.

8. Надати висновок про придатність деталі до подальшої експлуатації; або можливості використання у sprzęженні з іншою новою деталлю; або такі, що не підлягають відновленню.

9. По завершенні лабораторної роботи, під керівництвом майстра виробничого навчання, виконати організаційно-технічне обслуговування робочого місця.

### 3. Контрольні запитання

1. Опишіть конструктивні елементи деталі, наприклад вала, та які дефекти він може мати.

2. Дайте визначення «дефект» і «дефектування».

3. Яке призначення штангензубоміра? Опишіть принцип його роботи.

4. Опишіть методи визначення спрацювання поверхонь шліців.

5. Перерахуйте характерні дефекти шестерні та засоби для їх визначення.

6. За яких умов підшипник кочення може бути непридатним для подальшої експлуатації?

## Лабораторна робота № 2

### Відновлення деталей транспортних засобів наплавленням під шаром флюсу

**Мета лабораторної роботи:** вивчити технологію та набути практичні навички роботи з технологічним обладнанням для відновлення деталей транспортних засобів наплавленням під шаром флюсу.

**Обладнання, інструмент:** лабораторна установка для наплавлення деталей під шаром флюсу, зварювальний перетворювач, молоток, зубило, плоскогубці.

#### 1. Загальні відомості

Процес наплавлення деталей під шаром флюсу відбувається наступним чином (рис. 2.1). При проходженні струму між деталлю 3 та електродним дротом 5 виникає електрична дуга 7, внаслідок чого відбувається плавлення металу деталі та електроду. Оскільки зона горіння дуги закрита флюсом 4, також плавиться і він, утворюючи захисну оболонку 6. Наплавлений шар 2 охолоджується, на поверхні якого залишається захисна шлакова кірка 1.

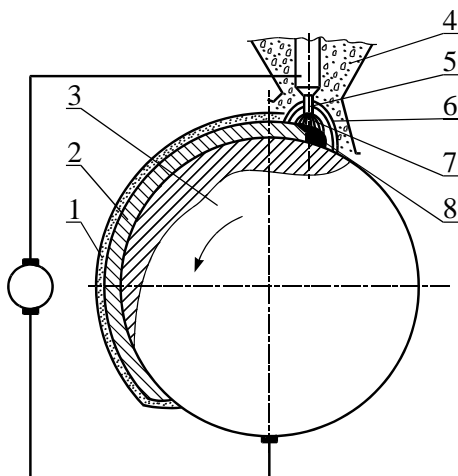


Рис. 2.1. Схема наплавлення деталей під шаром флюсу:  
1 – шлакова кірка;  
2 – наплавлений шар;  
3 – деталь; 4 – флюс;  
5 – електродний дріт;  
6 – еластична оболонка;  
7 – електрична дуга;  
8 – ванночка з розплавленим металом

В ремонтній практиці застосовують низьковуглецевий, вуглецевий, легований і високолегований наплавлювальний дріт діаметром 1-3 мм суцільного перерізу або з порошковим наповненням.

Фізико-механічні властивості наплавленого прошарку залежать від марки електродного дроту, флюсу і режимів наплавлення.

Флюси можуть бути плавлені, керамічні або застосовуватися флюсосуміші.

Режими наплавлення деталей під шаром флюсу наступні:

1. Напругу  $U$  джерела живлення і силу зварювального струму  $I_{зв}$  можна емпірично розрахувати залежно від діаметра деталі  $D$  (мм)

$$I_{зв} = 40\sqrt[3]{D}, \text{ А} \quad (2.1)$$

$$U = 21 + 0,04 \cdot I_{зв}, \text{ В} \quad (2.2)$$

Сила зварювального струму  $I_{зв}$  впливає на глибину проплавлення і продуктивність процесу (її збільшення збільшує глибину проплавлення і підвищує продуктивність). Здебільшого проводять при постійному струмі зворотної полярності.

Чим більша напруга  $U$ , тим більша довжина дуги і ширина наплавлюваного валика (робочий діапазон напруги приймають в межах 26-36 В).

2. Коефіцієнт наплавлення  $\alpha_n$  характеризує питоме значення швидкості наплавлення і залежить від діаметру електродного дроту  $d$  (мм) і сили зварювального струму  $I_{зв}$  (А)

$$\alpha_n = 2,3 + 0,065 \cdot \frac{I_{зв}}{d}, \text{ г/(А}\cdot\text{год.)} \quad (2.3)$$

3. Діаметр електродного дроту вибирають залежно від товщини шару і діаметра відновлюваної деталі.

4. Швидкість переміщення дуги (швидкість наплавлення  $V_n$ ) обумовлюється площею поперечного перерізу наплавленого

валика  $F$  (см<sup>2</sup>)

$$V_n = \frac{\alpha_n \cdot I_{зв}}{F \cdot \gamma \cdot 100}, \text{ м/год.} \quad (2.4)$$

де  $\gamma$  – густина наплавлюваного металу, г/см<sup>3</sup>.

При швидкості наплавлення  $V_n$  до 20 м/год. ширина наплавлюваного валика збільшується, але зменшується глибина проплавлення. Подальше збільшення швидкості наплавлення  $V_n$  до 40 м/год. зменшує ширину наплавлюваного валика при майже незмінній глибині проплавлення.

Швидкість подачі електродного дроту  $V_e$  залежить від сили зварювального струму  $I_{зв}$  і напруги  $U$

$$V_e = \frac{4 \cdot \alpha_n \cdot I_{зв}}{\pi \cdot \gamma \cdot d^2}, \text{ м/год.} \quad (2.5)$$

Швидкість подачі електродного дроту складає  $V_e = 50-500$  м/год.

Крок наплавлення  $s_n$  визначається перекриттям валиків (як правило на 1/3 його ширини)

$$s_n = (2 - 2,5) \cdot d, \text{ мм} \quad (2.6)$$

Виліт електродного дроту  $H$  впливає на електричний опір мережі (збільшення вильоту приводить до зменшення глибини проплавлення) і приймають рівним в межах 15-30 мм.

$$H = (10 - 15) \cdot d, \text{ мм} \quad (2.7)$$

Для навчальних цілей застосовують лабораторну установку (рис. 2.2) для автоматичного наплавлення електродним дротом деталей діаметром від 50 до 650 мм, яка складається із станини 2 (до якої кріпиться напльовальна головка



5 з механізмом подачі електродного дроту і механізмом переміщення у вертикальній площині), механізм обертання 7 деталі 6, бункер для флюсу, пульт керування.

Також до установки під'єднується за допомогою з'єднувальних кабелів 4 джерело живлення 1 з електричним розподільником (шафа) 3.

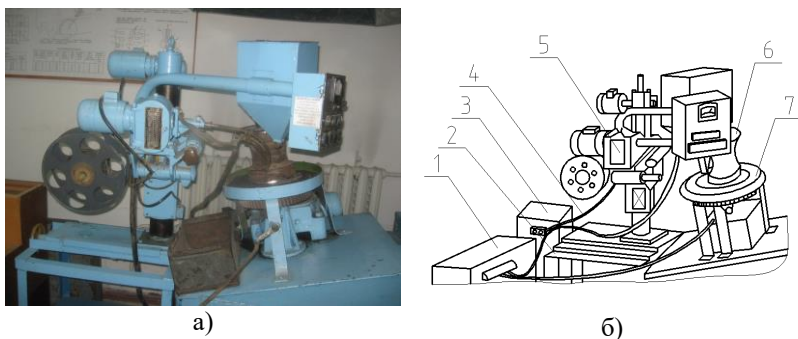


Рис. 2.2. Загальний вигляд лабораторної установки для автоматичного наплавлення під шаром флюсу:

- 1 – джерело живлення; 2 – станина (корпус); 3 – електрична шафа;
- 4 – монтажний кабель; 5 – головка для наплавлення;
- 6 – деталь для наплавлення; 7 – механізм обертання деталі (редуктор).

Комплекс для наплавлення включає головку для наплавлення (включає механізм подачі електродного дроту, підвіску і мундштук), колону з механізмом її переміщення (піднімання або опускання), бункера для флюсу і пульта керування.

Подача дроту здійснюється електричним двигуном з двоступеневим редуктором (включає набір двох змінних шестерень), на вихідному валу якого розміщено привідний ролик (також передбачено і ролик для притискання дроту). Після роликів електродний дріт спрямовується в пустотілій трубці, кінець якої завершується поворотним мундштуком (дозволяє регулювати кут нахилу в  $\pm 30^\circ$  для зручності підведення дроту до поверхні, яку наплавлюємо).

Наплавлювальна головки переміщається у вертикальній площині (вверх і вниз) вздовж колони. Механізм переміщення

головки включає електричний двигун і черв'ячним редуктором, також системи «гвинт-гайка».

На пульті керування процесом розміщено амперметр, вольтметр, кнопковий механізм подачі електродного дроту, переміщення головки і обертання деталі.

Рекомендовані режими наплавлення для лабораторної установки наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Режими наплавлення

Діаметр деталі, мм	Швидкість наплавлення, м/год	Сила струму, А	Напруга дуги, В	Крок наплавлення, мм	Діаметр електродного дроту, мм
50-60	16-24	140-150	26-28	3	1,6
67-75	16-28	170-180	26-28	3,5	1,6
80-100	16-32	180-200	28-30	4-5	2,0
150-200	16-36	220-250	30-32	5-6	2-3
250-300	16-36	250-280	30-32	6-7	2-3

На лабораторній установці оберти деталі  $n$  незмінні і визначаються кількістю обертів привідного вала електродвигуна  $n_{\text{дв}}$  та загального передаточного числа  $i_{\text{заг}}$  приводу ( $i_{\text{заг}} = 6500$ ).

$$n = \frac{n_{\text{дв}}}{i_{\text{заг}}}, \text{ об/хв.} \quad (2.8)$$

Машинний час наплавлення деталі під шаром флюсу

$$T_M = \frac{B \cdot i}{n \cdot S_H}, \quad (2.9)$$

де  $B$  – ширина напавленої поверхні, мм;

$i$  – кількість проходів;

$n$  – кількість обертів деталі, яку відновлюємо, об/хв.;

Витрати електродного дроту на наплавлення деталі під шаром флюсу

$$G_{\text{др}} = \frac{\pi}{4} \cdot d_{\text{др}}^2 \cdot v_{\text{др}} \cdot T_M \cdot \gamma. \quad (2.10)$$

## 2. Послідовність виконання роботи

1. Під керівництвом майстра виробничого навчання ознайомитися з організацією робочого місця для виконання лабораторної роботи, з необхідним інструментом, пристосуванням для відновлення деталей методом ППД, особливостями його застосування, розміщенням іншого допоміжного обладнання.

2. Ознайомитися з технікою безпеки при виконанні лабораторної роботи (без дозволу установку не вмикати).

3. Вивчити загальні відомості до виконання лабораторної роботи, надану технічну документацію або довідкову літературу.

4. Розрахувати товщину наплавлення деталі  $t_p$  шляхом вимірювання величини зносу деталі  $\Delta_p$  і обраного припуску  $z$  на подальшу механічну обробку

$$t_p = \Delta_p + z, \quad (2.11)$$

5. Розрахувати режими наплавлення деталі під шаром флюсу за формулами 2.1-2.11.

6. Під керівництвом майстра виробничого навчання підготувати наплавочну установку до роботи (насипати флюсу у бункер, надіти котушку з електродним дротом і заправити його в механізм подачі, вивівши через мундштук).

Переконатися у кріпленні з'єднувальних кабелів клем мундштука і деталі.

Підвести електродний дріт до поверхні деталі, яку будемо наплавляти на відстань 15-20 мм. Потім відкрити заслінку бункера для подачі флюсу (осипання) під власною вагою і заповнити зони наплавлення для захисту від зварювальної дуги.

Увімкнувши привід обертання деталі і подачу струму у зварювальний ланцюг здійснити процес наплавлення поверхні деталі з контролем сили струму і напруги, подачі флюсу і дроту.

Після завершення наплавлення вимкнути:

- подачу струму у зварювальний ланцюг,
- електричний двигун механізму подачі дроту,

- перекрити заслінку подачі флюсу;
- вимкнути механізм обертання деталі;
- вимкнути подачу струму на розподільну шафу.

7. Проконтролювати якість виконаної операції наплавлення на предмет непроварів, раковин, тріщин попередньо очистивши наплавлену ділянку від шлакової кірки. Виміряти товщину напавленої поверхні деталі.

8. По завершенні лабораторної роботи, під керівництвом майстра виробничого навчання, виконати організаційно-технічне обслуговування робочого місця.

### **3. Контрольні запитання**

1. Опишіть процес наплавлення деталі під шаром флюсу.
2. У чому полягає відмінність між автоматичним і напівавтоматичним наплавленням деталі?
3. Яким чином відрегулювати (змінити) швидкість подачі електродного дроту лабораторної установки?
4. З яких конструктивних елементів складається лабораторна установка для наплавлення деталей під шаром флюсу?
5. З яких конструктивних елементів складається наплавлювальна головки для відновлення деталей під шаром флюсу?
6. Як підвести електродний дріт до поверхні, яку будемо напавляти? Яке призначення мундштука?
7. Опишіть вплив режимів наплавлення на якість напавленого прошарку. Яким чином її проконтролювати.
8. Яке призначення пульта керування? Опишіть послідовність операцій процесу.

### Лабораторна робота № 3. Відновлення деталей транспортних засобів електромеханічною обробкою

**Мета лабораторної роботи:** вивчити технологію та набути практичні навички роботи з технологічним обладнанням для відновлення деталей транспортних засобів електромеханічною обробкою.

**Обладнання, інструмент:** токарно-гвинторізний верстат, струмопідвідний (електроконтактний) пристрій, спеціальний ізольований різець (для згладжування і висаджування), джерело живлення (знижувальний трансформатор) з кабелями, ключі накидні, мікрометр.

#### 1. Загальні відомості

Суть електромеханічної обробки (ЕМО) полягає в пластичному деформуванні інструментом поверхневого шару деталі у поєднанні з тепловою дією електричного струму.

У ремонтному виробництві вона набула поширення при відновленні циліндричних поверхонь із спрацюванням не більше як 0,35 мм (наприклад, опорні шийки валів, поверхні спряження деталей тощо), а також для зміцнення деталей після інших видів обробки.

Принцип роботи установки для відновлення деталей ЕМО полягає у наступному. Деталь 5 (рис. 3.1) закріплюється у патроні токарного верстата 4 і підпирається центром задньої бабки 6. Робочий інструмент 7 закріплюється в різцетримачі верстата. Деталь та інструмент з'єднані з вторинною обмоткою 2 знижувального трансформатора через електроконтактний пристрій і клеми тримача.

При проходженні струму великої сили і малої напруги в зоні контакту інструменту з деталлю поверхневий шар металу швидко нагрівається (температура 800-900°C) і одночасного тиску інструментом 1 відбувається місцева деформація поверхні деталі з початкового діаметру  $D_2$  до діаметру  $D_1$  у вигляді виступів різеподібної форми (рис. 3.2).

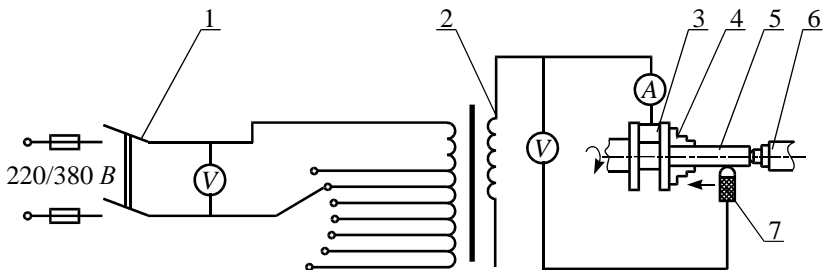


Рис. 3.1. Схема ЕМО деталі на токарному верстаті:  
 1 – вимикач ; 2 – вторинна обмотка; 3 – струмопідвідний пристрій;  
 4 – патрон; 5 – деталь; 6 – задня бабка;  
 7 – тримач з робочим інструментом

В подальшому замінивши висаджувальний різець 1 на згладжувальний 2 забезпечується зворотна деформація поверхні виступів до заданого розміру  $D_0$ .

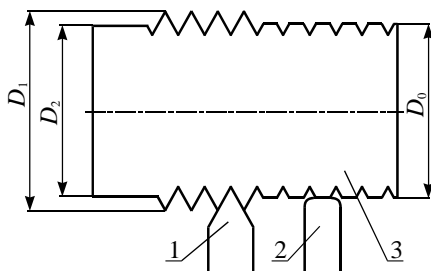


Рис. 3.2. Схема відновлення деталі ЕМО:  
 1, 2 – інструмент для висаджування і згладжування; 3 – деталь;  
 $D_2$  – діаметр деталі до висаджування;  $D_1$  – діаметр деталі після висаджування;  $D_0$  – діаметр деталі після згладжування

Струм від мережі живлення 220В/380В подається на первинну обмотку трансформатора через магнітний пускач, який керується переносною кнопковою станцією. Із вторинної обмотки струм через електроконтактний пристрій і тримач подається у зону контакту деталі та інструменту.

Розглянемо струмопідвідний пристрій, який встановлюється на станині токарно-гвинторізного верстата (3.3).

Пристрій повинен бути ізолюваним від верстата. Струм від трансформатора підводиться до оброблюваної деталі за допомогою багатожильного проводу 7 через мідно-графітову щітку 3 і патрон 1. Для кращого контакту мідно-графітову щітку рекомендується добре притерти по проточеному пазу патрона. Щітка має ковзну посадку в пазу стійки 6; еластичне притискання її до патрону здійснюється за допомогою пружини 4. Слід зазначити, що конструкції струмопідвідних пристроїв залежать від конструкції верстатів і необхідної потужності (при передачі великої потужності доцільно мати дві щітки і більше).

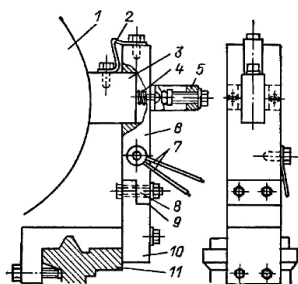


Рис. 3.3. Схема струмопідвідного (електроконтактного) пристрою:  
 1 – патрон; 2 – перемичка з мідної фольги; 3 – мідно-графітова щітка; 4 – пружина; 5 – скоба; 6 – верхня стійка; 7 – багатожильний провід; 8, 9 – ізоляція; 10 – нижня стійка; 11 – станина

Істотне значення має вибір тримачів для робочого інструменту. Як відомо, при чистових операціях ЕМО необхідно робити регулювання тиску інструменту. Регулювання може здійснюватися самими тримачами за допомогою спіральних пружин, пневматичних і гідравлічних пристроїв, плоских пружин.

До недоліків перших двох типів відноситься складність виготовлення вузла рухомої пари, де повинно бути гарантоване збереження сталості зазору в умовах роботи деталей при підвищених температурах. Внаслідок цього, зазначені тримачі можуть застосовуватися тільки в тих випадках, коли їхня конструкція передбачає струмопідвід з можливістю ближче до робочого інструменту. При цьому, у випадку тривалої безперервної роботи, необхідне зовнішнє охолодження рухомих з'єднань тримача. Як охолоджувальне середовище може застосовуватися повітря або звичайна емульсія.

Перевагою тримачів на основі плоских пружин є їх менша чутливість до температурних впливів.

У ремонтному виробництві знайшли застосування тримачі з однопетлевими плоскими пружинами (рис. 3.4). Підвідний кабель від вторинної обмотки силового трансформатора кріплять болтом у хвостовику тримача. Спеціально заточену і доведену оброблювальну пластину з твердого сплаву кріплять болтом і притискною планкою. Бічні пружини тримача запобігають виникненню вібрації при роботі.

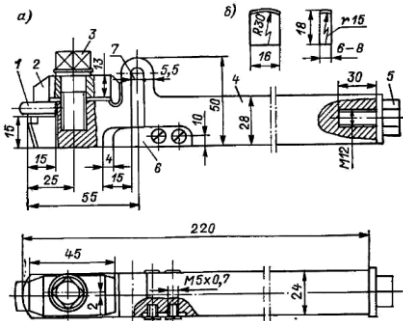


Рис. 3.4. Пружинний тримач:  
 1 – твердосплавна пластина;  
 2 – притискач;  
 3 – болт; 4 – корпус тримача;  
 5 – болт хвостовика;  
 6 – плоска пружина

Тримач з вертикальним кріпленням пластини (рис. 3.5, а) зручно застосовувати при ЕМО ступінчатих валів; при цій конструкції представляється можливість кілька разів використовувати контактну поверхню пластини за рахунок вертикального періодичного її переміщення щодо осі центрів верстату.

Тримача з роликовою пластиною (рис. 3.5, б) дає можливість періодично повертати ролик у міру зносу контактної поверхні та збільшити загальну стійкість інструмента. Замість згладжувального ролика на тримачі може бути встановлений висаджувальний. Цей тип інструмента особливо ефективний в умовах серійного зміцнення і відновлення деталей.

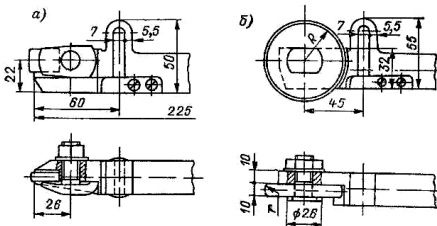


Рис. 3.5. Конструкції тримачів:  
 а – з вертикальним кріпленням пластини;  
 б – з нерухомим кріпленням ролика



Перевагою нерухомого інструмента є можливість одержання високих класів шорсткості поверхні (8-10) при відсутності хвилястості, що характерна для тримачів з обертовими роликами. Перевага ролика в порівнянні з плоскою пластиною полягає в тому, що він має велику масу і гарантує велику стабільність робочого профілю. До недоліків нерухомого інструмента відноситься його порівняно невелика стійкість. Тому він знаходить застосування при обробці невеликих поверхонь типу шийок валів у дрібносерійному і ремонтному виробництві.

Перевагою обертового ролика є висока стійкість, можливість зміцнення деталей на велику глибину. Обертвий ролик знаходить застосування при обробці великих поверхонь, коли не пред'являються високі вимоги до хвилястості, а також у всіх випадках обробки чавуну.

Джерелом живлення лабораторної установки є переобладнаний зварювальний трансформатор (розрахований на напругу 1-5В і силу струму 300-1000А), вторинна обмотка якого складається з двох котушок по три витки в кожній, з'єднаних паралельно (котушки виготовлені із шин, з просвердленими отворами для ступеневого регулювання сили струму, за рахунок зміни кількості витків вторинної обмотки). Трансформатор має вбудований вольтметр і амперметр.

Розмір висаджування  $\Delta D$  металу визначають за формулою

$$\Delta D = \frac{S \cdot \Delta D_1 \cdot K_1}{S - 3,46 \cdot \Delta D_1}, \quad (3.1)$$

де  $\Delta D_1$  – збільшення діаметра після згладжування, мм;

$S$  – подача деформуючого інструменту при висаджуванні, мм/об;

$K_1$  – коефіцієнт повноти профілю ( $K_1 = 1,6$ ).

Глибину  $\delta$  зміцненого шару обчислюють за формулою

$$\delta = \frac{K \cdot \mu \cdot (\eta \cdot I \cdot U + 0,098 \cdot P \cdot V \cdot f)}{C \cdot v \cdot B \cdot \gamma \cdot T_{\phi}}, \text{ мм} \quad (3.2)$$

де  $I$ ,  $U$  – сила струму і напруга вторинного ланцюга трансформатора;

$P$  – зусилля нормального тиску при згладжуванні, Н;

$V$  – швидкість згладжування, см/с;

$B$  – ширина контакту інструменту з деталлю, см;

$C$  – питома теплоємність матеріалу деталі, Дж/(кг·К);

$\gamma$  – густина матеріалу деталі, г/см<sup>3</sup>;

$T_{\phi}$  – температура фазового перетворення матеріалу деталі, °С;

$f$  – коефіцієнт тертя при згладжуванні;

$\eta$  – коефіцієнт втрати теплоти в трансформаторі;

$\mu$  – коефіцієнт кількості теплоти, що утворилася в зоні контакту і відводиться до деталі;

$K$  – коефіцієнт кількості теплоти, яку вбирає надвисокотемпературний об'єм.

Рекомендовані режими електромеханічної обробки наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Рекомендовані режими ЕМО деталей

Вид обробки	Тип поверхні відновлюваної деталі	Сила струму, А	Кількість проходів	Зусилля, Н
	загартована	550-600	1-2	900-1200
Згладжування	незагартована	400-450	2-3	300-400
	загартована	500-550	2-3	400-600
Подача, мм/об	збільшення діаметра, мм			
		після згладжування		після висаджування
1	до 0,10		0,30	
1-1,15	0,15-0,20		0,40-0,60	
1,5-2	0,26-0,30		0,75-0,90	
2-2,6	0,35-0,40		1,10-1,30	

Машинний час на виконання операції відновлення деталей електромеханічною обробкою (здійснюється на модернізованому токарно-гвинторізному верстаті)

$$T_M = \frac{L \cdot i}{n \cdot S}, \quad (3.3)$$

де  $L$  – довжина відновлюваної поверхні, мм;  
 $i$  – кількість проходів;  $n$  – кількість обертів деталі.

Гарантований мінімальний натяг характеризується коефіцієнтом повноти контакту  $k$  відновленої поверхні деталі (рекомендоване значення  $k \geq 0,67$ )

$$k = \frac{l_k}{L} = \frac{l_1}{S} \quad (3.4)$$

де  $l_k$  – довжина відновленої поверхні деталі, мм;  
 $L$  – довжина робочої поверхні деталі, мм;  
 $l_1$  – довжина канавки, мм;  
 $S$  – крок подачі (канавки), мм.

## 2. Послідовність виконання роботи

1. Під керівництвом майстра виробничого навчання ознайомитися з організацією робочого місця для виконання лабораторної роботи, з необхідним обладнанням для відновлення деталей електромеханічною обробкою, інструментом, оснасткою тощо.

2. Ознайомитися з технікою безпеки при виконанні лабораторної роботи.

3. Вивчити загальні відомості до виконання лабораторної роботи, надану технічну документацію або довідкову літературу.

4. Описати в робочому зошиті суть процесу відновлення і зміцнення деталей транспортних засобів електромеханічною обробкою, намалювати ескіз пристрою для відновлення деталей та опис його конструктивних елементів, режимів обробки (сила

струму  $I$ , напруга  $U$ , швидкість обробки  $V$ , подача  $S$ , зусилля інструменту  $P$ , частота обертання деталі  $n$ , кількість проходів  $i$  для висадки і згладжування).

Згідно обраного режиму електромеханічної обробки обчислити глибину зміцнення поверхневого шару посадочної поверхні вала під підшипник кочення, а також розрахувати машинний час процесу (висаджування і згладжування).

5. Провести мікрометражне вимірювання спряжованої деталі (вал-підшипник кочення) для відновлення електромеханічною обробкою.

Обчислити величину  $\Delta D_1$  збільшення циліндричної поверхні вала під підшипник кочення після згладжування

$$\Delta D_1 = S_\phi + N_{\max}, \quad (3.5)$$

де  $N_{\max}$  – максимальний натяг спряження «підшипник-посадочна поверхня»,  $N_{\max} = eS - IE$  – відповідно верхнє  $eS$  відхилення діаметра посадочної поверхні вала і нижнє відхилення  $IE$  посадочної поверхні підшипника.

За величиною  $\Delta D_1$  визначаємо величину висаджування  $\Delta D$ .

6. Разом з майстром виробничого навчання підготувати лабораторне устаткування до роботи (перевіряють місця кріплення кабелів трансформатора до електроконтактного пристрою і державки, надійність ізоляції деталі та інструменту відносно верстата, налагоджують технологічні режими відновлення).

Підготовлену для відновлення деталей встановлюють у шпindelь токарно-гвинторізного верстату, а в різцетримач встановлюють спеціальний висаджувальний різець.

Здійснити процес висаджування шляхом підведення висаджувального різця до циліндричної поверхні вала за допомогою рукоятки поперечної подачі із заданим зусиллям  $P$  (попередньо тарованого за поділками шкали лімба) і ввімкненням подачі супорта і одночасним натисненням кнопки «Пуск» джерела живлення.

Замінити висаджувальний різець на згладжувальний і переналагодити оснащення на заданий режим (згладжування).

Здійснити процес висаджування шляхом підведення згладжувального різця на гребені висадженої поверхні вала із заданим зусиллям  $P$  і ввімкненням подачі супорта та одночасним натисненням кнопки «Пуск» джерела живлення. За потреби повторити процес декілька проходів для отримання розміру  $D_0$ .

8. Проконтролювати якість виконання виконаної операції з відновлення деталі електромеханічною обробкою (виміряти діаметр відновленої поверхні вала).

9. По завершенні лабораторної роботи, під керівництвом майстра виробничого навчання, виконати організаційно-технічне обслуговування робочого місця.

### **3. Контрольні запитання**

1. У чому суть електромеханічної обробки? 2. Які бувають види електромеханічної обробки? 3. Яка мета застосування електромеханічної обробки для ремонту машин. Які її переваги і недоліки? 4. Як визначають величину висадки металу при електромеханічному відновленні? 5. Для чого призначений електроконтактний пристрій? 6. Для чого потрібна ізоляція деталі та інструменту від верстата? 7. За рахунок чого компенсують несучість поверхні спряження вала при ЕМО?

## **Лабораторна робота № 4** **Відновлення деталей транспортних засобів методом** **пластичного деформування**

**Мета лабораторної роботи:** вивчити технологію та набути практичні навички роботи з технологічним обладнанням з відновлення і зміцнення деталей транспортних засобів пластичним деформуванням.

**Обладнання, інструмент:** верстат токарно-гвинторізний, обкатник кульковий жорсткий, розкатник багатороликовий, пристрій для зміцнення пружин, пристрій для вимірювання жорсткості пружин, еталонні зразки шорсткості поверхонь.

### **1. Загальні відомості**

Роботоздатність деталей транспортних засобів в певній мірі залежить від стану поверхневого шару металу, структура якого, фазовий і хімічний склад відрізняються від основного металу (характеризується поверхневий шар, в основному, параметрами шорсткості поверхні, глибиною і ступенем зміцнення, залишковими напруженнями).

При виготовленні і експлуатації деталей транспортних засобів на їх поверхнях утворюються нерівності і мікронерівності, а шар металу, який безпосередньо прилягає до поверхні, змінює структуру, фазовий та хімічний склад, в ньому виникають залишкові напруження.

За допомогою зарекомендованих способів завершальної обробки – шліфування, хонінгування, доводки, – забезпечується необхідна форма деталей з необхідною точністю, але не завжди забезпечується оптимальна з точки зору експлуатаційних властивостей якість поверхневого шару. Застосування пружно-пластичного деформування (надалі в тексті ППД) дозволяє підвищити експлуатаційні властивості деталей, збільшити термін їх служби.

Незважаючи на різноманітність способів ППД їх об'єднує спільність основних процесів і їх впливу на стан металу, деталі і поверхні, яка обробляється.

Для пояснення механізму пластичної деформації

найбільше поширення набула теорія дислокацій. При ППД відбувається викривлення кристалічної решітки в області площин ковзання, а також зміщення атомів з положення стійкої рівноваги і пружне викривлення площини ковзання, що зумовлює появу додаткових напружень, які залишаються після зняття навантаження.

Утворення залишкових напружень стиснення в поверхневому шарі має головне значення для покращення фізико-механічних та експлуатаційних властивостей деталей.

В умовах експлуатації поверхневий шар деталі підлягає найбільш сильному фізико-хімічному впливу: механічному, тепловому, магнітоелектричному, світловому, хімічному та ін. У більшості випадків у деталі починають погіршуватися функціональні (робочі) властивості поверхні, наприклад, спрацювання, ерозія, кавітація, корозія, втомлені тріщини і інші руйнування, які розвиваються на спочатку на поверхні. Тому до поверхневого шару пред'являються більш високі вимоги, ніж до основної маси металу.

Розрізняють наступні геометричні відхилення поверхонь залежно від відношення кроку  $S$  до висоти нерівностей  $R_z$ : при  $S/R_z < 50$  – шорсткість поверхні, при  $S/R_z = 50-1000$  – хвилястість поверхні і при  $S/R_z > 1000$  – макроскопічні відхилення або відхилення від правильної геометричної форми (конусність, овальність, вигнутість і ін.). Дефекти поверхні – це окремі нерівності, сукупність нерівностей або ділянки поверхні, розміри яких суттєво відрізняються від параметрів шорсткості і хвилястості. До дефектів поверхні відносять риски, царапини, вм'ятини, раковини, пори, сколи, викришування, тріщини, задири, заусениці і ін.

Шорсткість поверхні регламентується нормативними документами (державними стандартами), в яких передбачено нормування шорсткості за висотою ( $R_z$ ,  $R_a$ ,  $R_{max}$ ) і за параметрами, які характеризують форму, розміщення і напрямок мікронерівностей у межах базової довжини – середньому кроку нерівностей  $S_m$ , середньому кроку нерівностей за вершинам  $S$  і відносної опорної довжини профілю  $t_p$ .

Хвилястість може утворюватися на поверхні деталі при її

виготовленні (наприклад, у результаті вібрацій системи верстат-пристрій-інструмент-заготовка). Розрізняють хвилястість поперечну – з розміщенням хвиль перпендикулярно до руху ріжучого інструменту і поздовжню – з розміщенням хвиль у напрямку руху інструменту.

Для оцінки хвилястості поверхні встановлюють три параметри: висоту хвилястості  $W_z$ , найбільшу висоту хвилястості  $W_{max}$ , середній крок хвилястості  $S_w$  (рис. 4.1).

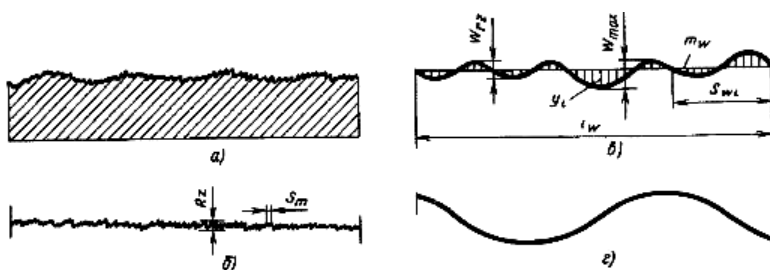


Рис. 4.1. Геометричні характеристики поверхні:

*a* – характер реальної поверхні; *б* – мікрогеометрія; *в* – хвилястість; *г* – макрогеометрія

Головним чинником, що визначає позитивні зміни експлуатаційних властивостей деталей внаслідок ППД, є стискаючі залишкові напруження, причиною утворення яких при обробці ППД є, насамперед, пластична деформація металу і, в меншій мірі, температура і структурні перетворення. Залишкові напруження стискання особливо потрібні для деталей, від яких вимагається висока втисненісна міцність.

Експлуатаційні властивості деталей в значній мірі залежать від глибини пластичної деформації в поверхневому шарі. Товщину верхнього шару після ППД визначає, в основному, глибина поширення залишкових напружень стискання. Як правило, залишкові напруження стискання поширюються на більшу глибину, ніж глибина пластичної деформації. Залежно від матеріалу і умов проведення ППД, глибина поширення залишкових напружень може бути в 1,3-1,8 разів більшою глибини деформованої зони.



Методи ППД підрозділяють на статичні і ударні. При статичних методах обробки інструмент, робочі тіла або середовище впливу на поверхню, що оброблюється, з визначеною постійною силою  $P$ , проходить плавне переміщення джерел впливу, які послідовно проходять всю поверхню, яка підлягає обробці. При цьому інерційні сили не здійснюють суттєвого впливу на ППД. До таких методів відносяться вигладжування (рис. 4.2, а) і накатування (рис. 4.2, б), а також метод однократного обтискування оброблюваної поверхні (рис. 4.2, в) без переміщення джерел впливу.

В ударних методах (рис. 4.2, г) інструмент, робочі тіла або середовище багаторазово впливають на всю поверхню, яка обробляється (або на її частину), при цьому сила впливу  $P$  в кожному циклі змінюється від нуля або від деякого значення  $P_1$  до максимуму, а у випадку місцевого ударного впливу джерело деформування може послідовно і рівномірно проходити всю оброблену поверхню.

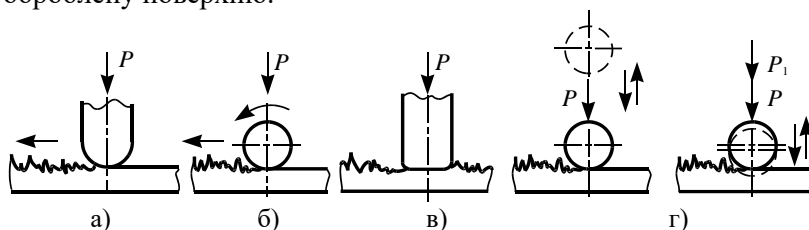


Рис. 4.2. Характер взаємодії інструменту з поверхнею, що оброблюється, при різних методах ППД:

а – вигладжування; б – накатування; в – обтискування; г – ударний

Інструментами при ППД можуть бути ролик, шар, гладилка, дорн з не ріжучими кільцями, бойок-чекан і т.д. у якості робочих тіл при ППД можуть бути використані дріб, кульки з скла, пластмаси і ін. Робочим середовищем при ППД можуть бути рідина, газ і їх суспензії з частинками абразиву.

Необхідно враховувати, що обробка, основана на пластичному деформуванні тонкого поверхневого шару, має у порівнянні з обробкою точінням, шліфуванням, поліруванням, доводкою ряд переваг, в тому числі:

- зберігається цілісність волокон металу і утворюється мілко зерниста структура-текстура у поверхневому шарі;
- відсутнє шаржування оброблюваної поверхні частинками шліфувальних кругів, полірувальних паст;
- відсутні термічні дефекти;
- стабільні процеси обробки, які забезпечують стабільну якість поверхні;
- можна досягнути мінімального параметру шорсткості поверхні ( $R_a = 0,1 \dots 0,05$  мкм і менше) як на термічно оброблених сталях, кольорових сплавах, так і на високоміцних матеріалах, зберігаючи вихідну форму заготовки;
- можна зменшити шорсткість поверхні у декілька разів за один робочий хід;
- створюється відповідна форма мікронерівностей з більшою часткою опорної площі;
- можна утворювати регулярні мікрорельєфи з заданою площею заглиблення для утримання мастильного матеріалу;
- створюються стискуючі остаточні напруження у поверхневому шарі;
- плавно і стабільно підвищується мікротвердість поверхні.

Вказані і інші переваги методів ППД забезпечують підвищення зносостійкості, опір втоми, контактну витривалість і інші експлуатаційних властивостей оброблених деталей на 20-50%, а у деяких випадках – в 2-3 рази (при умові вибору в кожному конкретному випадку найбільш раціонального методу і призначення оптимальних режимів обробки).

В ремонтній практиці методом ППД обробляють циліндри двигунів внутрішнього згоряння, отвори корпусних деталей, втулки верхньої головки шатунів, фаски клапанів і клапанних гнізд, відновлюють пружні властивості пружин, зміцнюють галтелі шатунних і корінних шийок колінчастих валів, оброблюють зовнішні і внутрішні поверхні інших деталей.

Суть процесу ППД за допомогою розкатника полягає у змінанні виступів мікронерівностей і заповнення впадин за рахунок тиску з обертання роликів розкатника на оброблювальній поверхні (рис. 4.3).

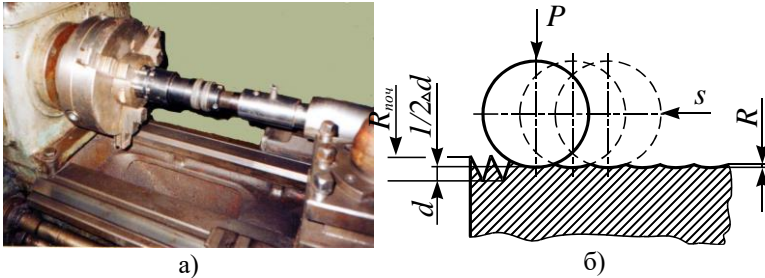


Рис. 4.3. ППД деталі за допомогою розкатника на токарному верстаті (а) та схема деформування нерівностей (б):

$d$  – діаметр деталі;  $\Delta d$  – залишкова деформація;

$R_{нач}$  – шорсткість поверхні до ППД;  $R$  – шорсткість процесу після ППД;  $S$  – подача розкатника;  $P$  – зусилля деформування

З врахуванням особливостей конструктивного виконання деталі та характеристики матеріалу з якого вона виготовлена (твердість, межі пластичності, структура матеріалу, шорсткості поверхні), а також конструкції інструменту визначають розрахункове зусилля ППД кульковим  $P_k$  або роликівим  $P_p$  інструментом

$$P_k = \left( \frac{d \cdot q}{0,54 \cdot E} \right)^2 \cdot q, \text{ Н}; \quad P_p = \frac{D \cdot b \cdot q^2}{0,126 \cdot E \cdot \left( \frac{D}{d} + 1 \right)}, \text{ Н} \quad (4.1)$$

де  $d$  – діаметр інструменту ППД (ролик, кулька), мм;

$q$  – максимальний питомий тиск при ППД, МПа ( $q = (1,8 - 2,1)\sigma_m$ ),  $\sigma_m$  – межа текучості матеріалу деталі, МПа.

$E$  – модуль пружності оброблюваного матеріалу, МПа;

$D$  – діаметр оброблюваної деталі, мм;

$b$  – довжина контакту ролика з деталлю, мм.

Глибина наклепу  $h$  залежить від сили деформування  $P$  при ППД

$$h = \sqrt{\frac{P}{2 \cdot \sigma_m}}, \text{ мм} \quad (4.2)$$

Розглянемо конструктивне виконання кулькової жорсткої накатки (рис. 4.4). Накатка складається з державки 1 з привареним корпусом 6. Корпус 6 служить для кріплення двох кулькових підшипників 7, які фіксуються центрувальним гвинтом 3. Між двома підшипниками 7 встановлюється кулька 5, які фіксується від випадіння обоймою 8.

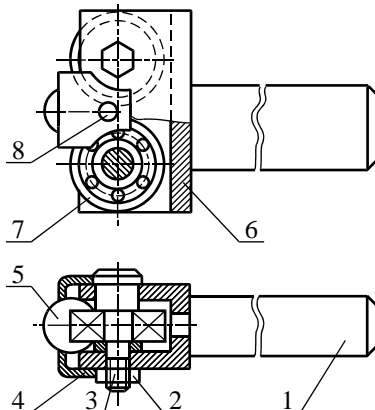


Рис. 4.4. Кулькова жорстка накатка та її встановлення у різцетримачі токарного верстата: 1 – державка; 2 – гайка; 3 – центрувальний гвинт; 4 – сепаратор; 5 – кулька (деформуючий елемент); 6 – корпус; 7 – шарикопідшипник; 8 – обойма кульки

Машинний час  $T_m$  обробки деталі ППД на токарному верстаті

$$T_m = \frac{l_p \cdot i}{n \cdot s}, \text{ хв.} \quad (4.1)$$

де  $l_p$  – розрахункова довжина накатування з врахуванням перебігу інструменту, мм;

$i$  – кількість проходів;

$n$  – кількість обертів деталі;

$s$  – подача інструменту, мм/об.

Пружні властивості пружин також можна відновити методом ППД застосувавши роликову накатку і токарний верстат (рис. 4.5).

Для цього пружину 2 встановлюють на оправку 4 (зовнішній діаметр якої відповідає внутрішньому діаметру отвору пружини) і фіксують штифтами 1.

До пружини підводять ролик 3 і виставляють необхідне зусилля ППД (гвинт 9 через пружину 7 передає зусилля на стержень і забезпечує необхідний тиск) попередньо протарованої пружини накатки. Включивши оберти верстата і задавши подачу проводять її ППД.

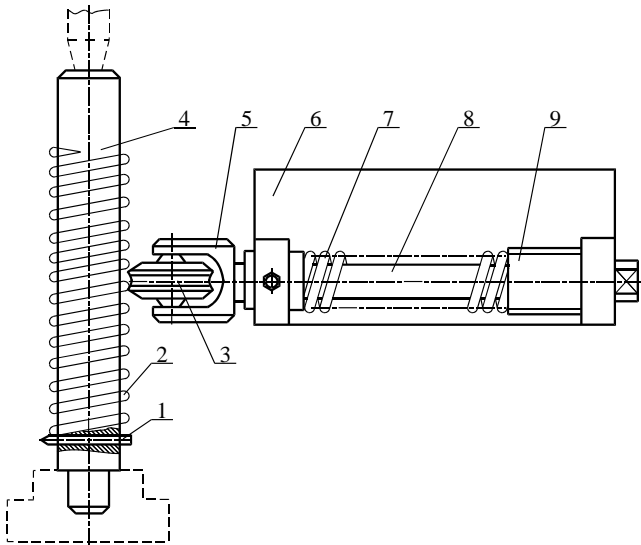


Рис. 4.5. Накатка для відновлення пружин:

- 1 – штифт; 2 – пружина, яка підлягає відновленню; 3 – деформуючий ролик; 4 – оправка пружини; 5 – корпус; 6 – плита; 7 – тарована пружина накатки; 8 – вісь; 9 – регулювальний гвинт

## 2. Послідовність виконання роботи

1. Під керівництвом майстра виробничого навчання ознайомитися з організацією робочого місця для виконання лабораторної роботи, з необхідним інструментом, пристосуванням для відновлення деталей методом ППД, особливостями його застосування, розміщенням іншого допоміжного обладнання.

2. Ознайомитися з технікою безпеки при виконанні лабораторної роботи.

3. Вивчити загальні відомості до виконання лабораторної роботи, надану технічну документацію або довідкову літературу.

4. Підготувати вхідні дані для виконання роботи, намалювавши ескіз інструменту і заповнити вихідну форму – таблиці вимірювань параметрів ППД (табл. 4.1-4.2).

Таблиця 4.1

Результати вимірювань технологічних параметрів процесу відновлення деталей методом ППД накатуванням

Вид механічної обробки поверхні деталі	Шорсткість поверхні деталі після проходу	Діаметр отвору деталі, мм		Поверхнева твердість деталі
		перед проходом	після проходу	
Обточування 1 прохід 2 прохід 3 прохід				

Таблиця 4.2

Результати вимірювань технологічних параметрів процесу відновлення жорсткості пружини методом ППД

Робоча довжина пружини, мм	Жорсткість пружини, Н		Приріст пружності	
	до ППД, $P_1$	після ППД, $P_2$	абсолютний, Н $\Delta P = P_2 - P_1$	відносний, % $\Delta P = \frac{\Delta P}{P_2} 100\%$

5. Під керівництвом майстра виробничого навчання підготувати верстат до роботи з інструментом (кульковою накаткою). Встановити деталь у шпindel токарного верстата і закріпити. Встановити у різцетримач кулькову накатку. Виставити за допомогою перемикачів на верстаті параметри накатування (оберти деталі і подачу).

3. З дозволу майстра (переконавшись у безпечності) включити токарний верстат і проточити деталь під накатування на довжину  $L=90-100$  мм (шорсткість  $R_a=2,5-1,6$  мкм). Виключити верста.

Підвести кульку накатника в дотик з деталлю, задати потрібне зусилля  $P=500-1000$  Н повернувши рукоятку поперечної подачі на пів-оберту. Включити токарний верстат. Здійснити накатування за 1, 2, 3 проходи з вимірюванням діаметру і шорсткості після кожного проходу дані занести у табл. 4.1

6. Переналадити токарний верстат для відновлення пружності пружини стиснення. Попередньо виміряти жорсткість пружини стиснувши її до робочого положення на пристрої для стиснення пружини. Встановити пружину на оправку, зафіксувати. Встановити у різцетримач накатку. Виставити режими накатування (подача  $S$  повинна відповідати кроку пружини, а швидкість обертання шпинделя верстата в межах 20-50 об/хв. Підвести ролик до пружини і задати за тарованою лінійкою зусилля в  $P=500-1000$  Н. Включити верстат і провести накатування – переміщення ролика накатки вздовж витків пружини в 2-4 проходи. Дані занести у табл. 4.2.

7. Проконтролювати якість відновлення деталей методом ППД (використавши еталонні зразки шорсткості поверхонь).

8. Заміряти пружність відновленої пружини, виконавши її стиснення за допомогою прес-ваги (пристрій для вимірювання жорсткості пружин).

9. По завершенні лабораторної роботи, під керівництвом майстра виробничого навчання, виконати організаційно-технічне обслуговування робочого місця.

### 3. Контрольні запитання

1. Опишіть технологічний процес зміцнення деталі накатуванням. 2. Дайте порівняльну характеристику зміцненню деталей методом ППД. Для яких деталей він застосовується, наведіть приклади. 3. Опишіть технологічний процес відновлення пружних властивостей пружин. 4. Яке обладнання та оснащення застосовується для контролю якості відновленої деталі методом ППД?

## Лабораторна робота № 5

### Відновлення деталей транспортних засобів електролітичним хромуванням

**Мета лабораторної роботи:** вивчити технологію та набути практичні навички роботи з технологічним обладнанням для відновлення деталей транспортних засобів шляхом нанесення електролітичних захисних покриттів

**Обладнання, інструмент:** лабораторна установка для нанесення гальванічних покриттів (хромування), джерело живлення, плоскогубці, мікрометр молоток, збільшуваче скло.

### 1. Загальні відомості

Гальванічні покриттями наносяться на відновлювану поверхню шляхом електролітичного осадження металу (хрому, цинку, міді тощо). Для цього у ванну 1 (рис. 5.1) з електролітом 2 встановлюють металеві пластини 3 або 5, які в свою чергу з'єднані з джерелом електричного струму (пластину з'єднану з додатнім полюсом джерела струму називають анодом 3, а деталь з'єднану з від'ємним полюсом – катодом 5).

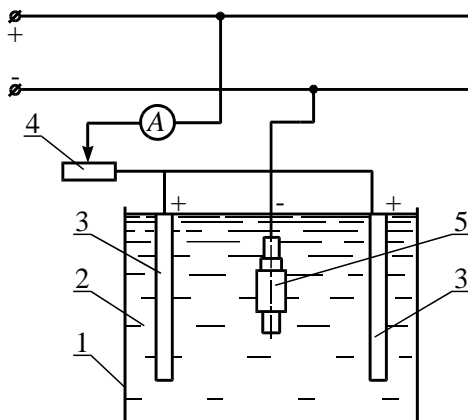


Рис. 5.1. Схема установки гальванічного хромування:  
1 – ємність (ванна); 2 – електроліт; 3 – пластина (анод); 4 – реостат;  
5 – відновлювана деталь (катод)



При проходженні постійного електричного струму відбувається процес електролізу, завдяки якому позитивно заряджені іони (їх називають катіонами) переміщуються до деталі 5 (катода), а негативно заряджені іони (аніони) – до пластини 3 (анода). Наприклад, при хромуванні на деталі осаджується метал (хром), отриманий за рахунок дисоціації електроліту, який містить солі хрому у вигляді хромового ангідриду.

Розглянемо конструктивне виконання лабораторної установки для хромування деталей на два робочі місця – з двома ваннами (рис. 5.2). Ванна прямокутної форми складається з двох ізованих між собою корпусів (зовнішнього 4 і внутрішнього 5), простір між якими заповнено мінеральним маслом 6 і вбудованим електричним нагрівальним елементом 7 (тен). Ванни закриваються захисними кришками 2.

Для контролю нагріву ванни передбачено термометр.

Над ванною через ізолятор закріплено підвісний пристрій 1 для підвішування деталі і пластини (анод).

Панель керування 3 включає вмикач нагрівального елемента і втяжної шафи, вмонтований амперметр на 200 А, вольтметр на 30 В, перемикач полярності струму, а також реостат плавного регулювання сили струму.

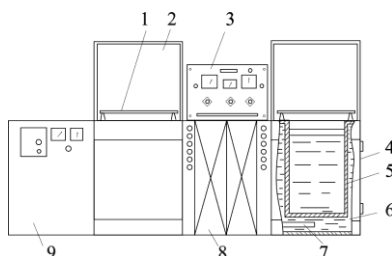


Рис. 5.2. Загальний вигляд лабораторної установки для нанесення гальванічних покриттів (хромування):

- 1 – підвісний пристрій; 2 – захисна кришка електролітичної ванни;
- 3 – панель керування; 4, 5 – зовнішній і внутрішній корпус ванни;
- 6 – мінеральне масло; 7 – електричний нагрівач; 8 – витяжка;
- 9 – джерело живлення

Технологічний процес нанесення покриттів електролітичним нарощуванням металів передбачає такі операції:

1. підготовка поверхні під електролітичне нарощування шляхом видалення з поверхні слідів спрацювання, видалення окислів і надання їй необхідної шорсткості (активування, крацювання, струминна обробка піском або дробом, механічна обробка, травлення металів тощо);

2. безпосереднє нанесення відновлюваного покриття (необхідно враховувати з якого матеріалу виготовлена деталь та умови її експлуатації, властивості нанесеного покриття);

3. механічна обробка відновленої поверхні (шліфування, полірування).

Розрізняють блискучі, молочні і матові покриття, які характеризуються різними властивостями. Наприклад, блискучі покриття мають високу твердість і зносостійкість; молочні покриття – підвищену пластичність і понижену твердість; матові – високу твердість і підвищену крихкість.

Утворені покриття можна розділити на три групи. Для захисту від впливу дії агресивного середовища застосовуються захисні покриття (цинкові, свинцеві, кадмієві). З метою надання поверхні захисного і водночас привабливого вигляду застосовують захисно-декоративні (нікелеві, хромові). Спеціальні покриття (олов'яні, золоті, срібні) забезпечують певні фізико-механічні властивості, наприклад магнітні, електроізоляційні тощо. Для отримання якісної відновленої поверхні з заданими фізико-механічними властивостями застосовують багат шарове нанесення покриттів (в тому числі і з різними металами). Зауважимо, що за рахунок зміни режиму електролітичного нарощування можна отримати різні покриття.

Наприклад, при хромуванні, залежно від призначення отриманого покриття готують електроліт шляхом розчинення хромового ангідриду у воді з підкисленням сірчаною кислотою (табл. 5.1).

Таблиця 5.1

Склад електроліту і режиму гальванічного нарощуваного покриттям

Тип покриття	Склад електроліту, г/л води		Режим гальванічного нарощування	
	хромовий ангідрид (CrO <sub>3</sub> )	сірчана кислота (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	Густина струму, А/дм <sup>2</sup>	Температура електроліту, °С
Зносостійке	150-180	1,5-1,8	35-100	55-70
Захисно-декоративне і зносостійке	230-260	2,3-2,6	30-45	50-55
Захисно-декоративне	350-400	3,5-4,0	45-55	15-20

Товщина нарощуваного металу  $h$  визначається величиною спрацювання деталі і наступною механічною обробкою

$$h = \frac{D_{кр} - D_{спр} - z}{2}, \text{ мм} \quad (5.1)$$

де  $D_{кр}$  – номінальний (ремонтний) розмір відновлюваної деталі, мм;

$D_{спр}$  – вимірний діаметр зношеної поверхні деталі, мм;

$z$  – припуск на механічну обробку (наприклад, припуск для шліфування приймають в межах 0,05-0,15 мм).

Теоретична маса речовини  $m_m$ , яка виділяється на катоді, пропорційна кількості електроенергії, яка пройшла через електроліт

$$m_m = c \cdot I \cdot t, \text{ г} \quad (5.2)$$

де  $c$  – електрохімічний еквівалент речовини, яка виділяється на катоді, г/(А·год.);

$I$  – сила струму, А;

$t$  – тривалість електролітичного нарощування, год.

Вихід металу за струмом  $\eta$  – відношення дійсної кількості отриманого металу ( $m_o$ ) до теоретично можливого ( $m_m$ )

$$\eta = \frac{m_o}{m_m} \cdot 100, \% \quad (5.3)$$

Умови електролітичного нарощування металу обумовлюються складом і концентрацією електроліту, а також режимом процесу, який характеризується густиною струму  $D$

$$D = \frac{I}{S}, \text{ A/дм}^2 \quad (5.4)$$

де  $S$  – площа поверхні пластини (електрода), дм<sup>2</sup>.

Тривалість електролітичного нарощування прошарку хрому визначають за формулою

$$T = \frac{h \cdot \gamma \cdot 1000}{c \cdot D_k \cdot \eta}, \text{ год} \quad (5.5)$$

де  $\gamma$  – питома вага речовини для гальванічного нарощування (наприклад, для електролітичного хрому  $\gamma = 6,920 \text{ г/см}^3$ ).

## 2. Послідовність виконання роботи

1. Під керівництвом майстра виробничого навчання ознайомитися з організацією робочого місця для виконання лабораторної роботи, з необхідним оснащенням для відновлення деталей гальванічним нарощенням, особливостями його застосування, розміщенням іншого допоміжного обладнання.

2. Ознайомитися з технікою безпеки при виконанні робіт на лабораторній установці.

3. Вивчити загальні відомості до виконання лабораторної роботи, надану технічну документацію або довідкову літературу.

4. Детально ознайомитися з конструктивним виконанням деталі для електролітичного нарощення, дослідити і очистити поверхні які підлягають відновленню (вимірюють діаметр  $D_{спр}$  і ширину  $B_{спр}$  відновлюваної поверхні до початку гальванічного нарощування, а також визначають площу її поверхні (катода)  $F_k$ ,  $dm^2$ . Деталь також зважують.

5. Розраховують товщину осадів  $h$  за формулою (5.1). Розраховують режими електролітичного нарощування за формулами (5.2)-(5.5).

6. Готують до роботи лабораторну установку, для цього:

- перевіряють стан анодних пластин (за потреби виконують їх очищення наждачним папером). Вимірюють площу анодних пластин  $F_a$ ,  $dm^2$

- нагрівають електроліт у ванні до температури  $60^\circ C$  (контролюють за показами вбудованого у стінку ванни термометра);

- встановлюють деталь (поверхні які не підлягають хромування захищають) на спеціальному підвісному пристрої у ванну установки;

7. Здійснення процесу електролітичного нанесення гальванічного покриття, для цього:

- проводять анодне декопіювання деталі протягом 40 сек. (густина струму  $D_a = 25-40 A/dm^2$  виставляється за допомогою ручки повзунка реостата і фіксується за показами вбудованого амперметра);

- перемикають полярність струму і здійснюють безпосередній процес хромування за розрахунковою тривалістю за товщиною нарощуваного покриття (для навчальних цілей процес триває, як правило, 40хв.);

- вимикають установку.

8. Виймають деталь з ванни і промивають у гарячій воді (температура  $40-50^\circ C$ ), а потім в холодній і просушують у сушильній шафі (температура  $100-150^\circ C$ ).

9. За зовнішнім виглядом перевіряють якість нанесеного покриття (вид покриття, наявність дефектів тощо). Зважують повторно деталь після її відновлення і розраховують вихід хрому за струмом:

$$\eta = \frac{q_2 - q_1}{c \cdot I \cdot T} 100\% , \quad (5.6)$$

де  $q_1$  – маса деталі до гальванічного нарощування, г;  
 $q_2$  – маса деталі після гальванічного нарощування, г;  
 $c$  – електролітичний еквівалент хрому,  $c = 0,323$  г/(А·год);  
 $I$  – сила струму гальванічного нарощування, А;  
 $T$  – тривалість процесу нарощування (електролізу), год.

10. По завершенні лабораторної роботи, під керівництвом майстра виробничого навчання, виконати організаційно-технічне обслуговування і прибирання робочого місця.

### 3. Контрольні запитання

1. Опишіть технологічний процес гальванічного нарощування металу?

2. Які гальванічні покриття найчастіше застосовуються для відновлення деталей транспортних засобів?

3. Дайте коротку характеристику типу захисного покриття.

4. Охарактеризуйте вплив режимів на утворення захисного, зносостійкого або декоративного покриття.

5. Якими параметрами характеризується тривалість електролітичного хромування деталей транспортних засобів?

6. Опишіть конструктивне виконання лабораторної установки для електролітичного хромування деталей транспортних засобів.

7. З якою метою проводять процес декопювання?

8. Перерахуйте способи очищення поверхні деталі перед гальванічним нанесенням покриттів.

9. Перелічіть групи гальванічних покриттів за їх призначенням? Наведіть приклади їх застосування.

10. Чи можна нанести гальванічне покриття на неметалеві поверхні?

## Література

1. Александров О. Г., Заруба І. І., Пінковський І. В. Будова та експлуатація устаткування для зварювання плавленням. Київ : Техніка, 1998. 176 с.
2. Мірошник В. О., Фабровський Є. М. Ремонт меліоративних і будівельних машин. Київ : Вища шк., 1995. 207с.
3. Молодик М. В. Наукові основи системи технічного обслуговування і ремонту машин у сільському господарстві. Кіровоград : КОД, 2009. 180 с.
4. Молодик М. В., Лангерт Б. А., Бредун А. К. Відновлення деталей машин. Київ : Урожай, 1985. 160 с.
5. Одинцов Л. Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием. Машиностроение, 1987. 328 с.
6. Таратута А. И., Сверчков А. А. Прогрессивные методы ремонта машин. Минск : Урожай, 1986. 376 с.
7. Монтаж і ремонт об'єктів теплоенергетики / Тхорук Є. І., Корнієнко В. Я., Гавриш В. С., Хітров І. О. Рівне : НУВГП, 2013. 116 с.
8. Хітров І. О., Гавриш В. С. Ремонт машин і обладнання. Рівне : НУВГП, 2011. 184 с.
9. Хітров І. О., Кононогов Ю. А. Технологічний процес та оснащення для подовження ресурсу роботи корпусних деталей транспортних засобів. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування*. Рівне, 2022. №2(98). С. 288–296.