

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

для самостійного вивчення дисципліни «Інженерія поверхні»

для студентів спеціальності

131 «Прикладна механіка»

Затверджено  
на засіданні кафедри зварювання  
Протокол № 12 від 30.06.2023

Харків  
НТУ «ХП»  
2023

Методичні вказівки для самостійного вивчення дисципліни «Інженерія поверхні» для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» / уклад. С. О. Лузан.  
– Харків : НТУ «ХП», 2023. – 14 с.

Укладач: С. О. Лузан

Рецензент Б.В. Сітніков

Кафедра зварювання

## Вступ

Рішення задачі підвищення ресурсу деталей машин і устаткування за рахунок застосування високоміцних нержавіючих сталей і сплавів приводить до великих витрат, як на дорогі матеріали, так і на металоріжучий і штампувальний інструмент. Причому, не дивлячись на те, що із збільшенням змісту легуючих елементів міцність, твердість і зносостійкість зростають, в той же час вірогідність крихкого руйнування підвищується. Для запобігання цьому необхідне застосування нових конструкційних матеріалів, що поєднують міцну, зносостійку і тверду поверхню з пластичною, в'язкою і тріщиностійкою основою. Цим пояснюється все зростаючий в даний час інтерес до покриттів, модифікації структури або легування поверхневого шару. Таким чином механічна міцність деталей забезпечується матеріалом основи, а спеціальними властивостями матеріалом покриття або формуванням нової структури, а також хімічного складу приповерхневого шару матеріалу деталі. Ці задачі можливо вирішити методами інженерії поверхні.

Інженерія поверхні (surface engineering) відноситься до одного з нових напрямів в науці і технології, яке включає традиційні і інноваційні процеси нанесення захисних покриттів, модифікації поверхні деталей для отримання спеціальних властивостей, відмінних від основного матеріалу.

Метою викладання навчальної дисципліни «Інженерія поверхні» є – навчити студентів застосовувати на практиці комплексний підхід при виборі найбільш раціонального способу відновлення або зміцнення деталей машин.

Дані методичні вказівки присвячені організації самостійної роботи з дисципліни «Інженерія поверхні».

### **1. Мета та задачі курсу**

Мета навчальної дисципліни «Інженерія поверхні» - навчити магістрів застосовувати на практиці комплексний підхід при виборі найбільш раціонального способу відновлення або зміцнення деталей машин.

Завдання: навчити виконувати критичний аналіз інформаційних джерел за результатами лабораторних і експлуатаційних випробувань машин і механізмів, організації та проведенню порівняльних досліджень властивостей відновлених поверхонь деталей різними методами, методології вибору найбільш оптимального способу відновлення, що забезпечує заданий ресурс деталей.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен

знати: методи інженерії поверхні, будову твердої речовини, свойства поверхні твердого тіла, види зношування поверхонь, технологічні можливості газотермічних методів нанесення покриттів і процеси, що відбуваються на поверхні основи при формуванні покриттів, їх структура і властивості, способи наплавлення, структуру і властивості наплавленого металу, електроіскрового легування, гальванічні процеси відновлювання, методи хімічного осадження, дифузійне насичення, принципи управління якістю поверхні та вибір технології відновлення деталей.

Вміти: проводити лабораторні та стендові випробування вибору матеріалів функціональних покриттів і модифікованих шарів з урахуванням умов експлуатації виробів. Оцінювати трибологічні характеристики відновлювальних покриттів та обирати ефективне моделююче обладнання. Підвищувати трибологічні властивості за рахунок інтегрування способів нанесення покриттів з іншими технологіями. Вибирати найбільш оптимальний метод відновлення конкретної деталі.

## **2. Робоча програма дисципліни**

### **Змістовий модуль 1. Будова твердої речовини. Процеси в потоці газу и на поверхні основи.**

Тема 1. Вступ. Будова твердої речовини. Задачі, які вирішує інженерія. Кристалічні структури. Поверхня твердого тіла. Поверхнева енергія, адсорбція, окиснення. Сегрегаційні явища на поверхні. Зношування поверхонь. Підготовка поверхонь.

Тема 2. Методи інженерії поверхні. Основні поняття та визначення. Класифікація методів за способом утворення шару та покриття. Суть механічних, термомеханічних, хіміко-термічних, електрохімічних і хімічних, фізичних методів інженерії поверхні.

Тема 3. Газотермічне напилення. Історія створення способу напилення металу. Джерела енергії. Газополуменевий струмінь. Форма, будова ацетиленокисневого полум'я та діаграма розподілу температури в зонах. Стадії процесу горіння ацетилену. Структура детонаційної хвилі. Електрична дуга. Фізичні процеси в області дуги. Схема плавлення електродів при електродуговому розпиленні. Особливості течії надзвукового потоку розпилювального газу в електродугових розпилювачах. Струмінь низькотемпературної плазми. Формування структури і властивостей покриття.

Тема 4. Процеси в потоці газу і частинок. Прискорення частинок матеріалу. Схема аксіального і радіального завантаження потоку дисперсною фазою. Формування потоку частинок при розпиленні дроту. Нагрівання матеріалу у високотемпературному газовому потоці. Число Рейнольдса (Re). Число Маха. Критерій Прандтля. Число Кнудсена. Процеси на поверхні основи. Число Нуссельта. Число Біо. Критерій Біо. Удар частинок. Температура контакту. Умови з'єднання. Формування структури і властивостей покриття. Структура покриття. Напруження в покриттях.

### **Змістовий модуль 2. Способи відновлення і зміцнення деталей.**

#### **Управління якістю поверхні та вибір технології відновлення деталей.**

Тема 5. Способи газотермічного напилення та матеріали покриттів. Класифікація газотермічних покриттів. Газополуменеве напилення. Детонаційне напилення. Плазмове напилення. Електродугове напилення. Газотермічні способи напилення. Матеріали для нанесення газотермічних покриттів. Способи відновлення. Застосування газотермічного напилення.

Тема 6. Наплавлення та електроіскрове легування. Загальні теоретичні відомості. Характеристика способів наплавлення. Ручне дугове наплавлення покритим електродом. Наплавлення деталей під шаром флюсу. Дугове наплавлення в середовищі захисних газів. Вібродугове наплавлення. Електрошлакове наплавлення. Плазмове наплавлення. Індукційне наплавлення. Лазерне (світлове) наплавлення. Електронно-променеве наплавлення. Газове наплавлення.

Тема 7. Модифікування поверхні та інші методи нанесення покриття. Модифікування поверхні лазером. Модифікування поверхні електронним променем. Іонна імплантація. Обробка плазмою. Гальванічні процеси. Хімічне осадження. Дифузійне насичення.

Тема 8. Управління якістю поверхні та вибір технології відновлення деталей. Якість покриття. Методика визначення товщини відновлювальних покриттів, які забезпечують необхідний ресурс. Вибір технології відновлювання деталей. Перспективи застосування наноструктурованих матеріалів у машинобудуванні.

## 2.1. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин					
	усього	у тому числі				
		л	п	лаб.	інд.	с.р.
1	2	3	4	5	6	7
Тема 1. Вступ. Будова твердої речовини. Задачі, які вирішує інженерія. Кристалічні структури. Поверхня твердого тіла. Поверхнева енергія, адсорбція, окиснення. Сегрегаційні явища на поверхні. Зношування поверхонь. Підготовка поверхонь.	16	8				8
Тема 2. Методи інженерії поверхні. Основні поняття та визначення. Класифікація методів за способом утворення шару та покриття. Суть механічних, термомеханічних, хіміко-термічних, електрохімічних і хімічних, фізичних методів інженерії поверхні.	15	8				7
Тема 3. Газотермічне напилення. Історія створення способу напилення металу. Джерела енергії. Газополуменевий струмінь. Форма, будова ацетилено-кисневого полум'я та діаграма розподілу температури в зонах. Стадії процесу горіння ацетилену. Структура детонаційної хвилі. Електрична дуга. Фізичні процеси в області дуги. Схема плавлення електродів при електродуговому розпиленні. Особливості течії надзвукового потоку розпилювального газу в електродугових розпи-	15	8				7

лювачах. Струмінь низькотемпературної плазми. Формування структури і властивостей покриття.					
Тема 4. Процеси в потоці газу і частинок. Прискорення частинок матеріалу. Схема аксіального і радіального завантаження потоку дисперсною фазою. Формування потоку частинок при розпиленні дроту. Нагрівання матеріалу у високотемпературному газовому потоці. Число Рейнольдса (Re). Число Маха. Критерій Прандтля. Число Кнудсена. Процеси на поверхні основи. Число Нуссельта. Число Біо. Критерій Біо. Удар частинок. Температура контакту. Умови з'єднання. Формування структури і властивостей покриття. Структура покриття. Напруження в покриттях.	14	8			6
Разом за змістовим модулем 1	60	32			28
Тема 5. Способи газотермічного напилення та матеріали покриттів. Класифікація газотермічних покриттів. Газополуменеве напилення. Детонаційне напилення. Плазмове напилення. Електро-дугове напилення. Газотермічні способи напилення. Матеріали для нанесення газотермічних покриттів. Способи відновлення. Застосування газотермічного напилення.	16	8			8
Тема 6. Наплавлення та електроіскрове легування. Загальні теоретичні відомості. Характеристика способів наплавлення. Ручне дугове наплавлення покритим електродом. Наплавлення деталей під шаром флюсу. Дугове наплавлення в середовищі захисних газів. Вібродугове наплавлення. Електрошлакове наплавлення. Плазмове наплавлення. Індукційне наплавлення. Лазерне (світлове) наплавлення. Електронно-променеве наплавлення. Газове наплавлення.	16	8			8
Тема 7. Модифікування поверхні та інші методи нанесення покриття. Модифікування поверхні лазером. Модифікування поверхні електронним променем. Іонна імплантація. Обробка плазмою. Гальванічні процеси. Хімічне осадження. Дифузійне насичення.	14	8			6
Тема 8. Управління якістю поверхні та вибір технології відновлення деталей. Якість	14	8			6

покриття. Методика визначення товщини відновлю-вальних покриттів, які забезпечують необ-хідний ресурс. Вибір технології відновлю-вання деталей. Перспективи засто-сування нанострукту-рованих матеріалів у машинобудуванні.					
Разом за змістовим модулем 2	60	32			28
<b>Усього годин</b>	120	64			56

## 2.2. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Методи визначення твердості металів і сплавів	2
2	Моделі та механізми створення покриття	2
3	Оцінка взаємодії компонентів при формуванні композиційних покриттів	2
4	Визначення температури частинок при формуванні газотермічного покриття	2
5	Визначення фізико-механічних характеристик вакуумно-конденсаційних покриттів	2
6	Вимірювання міцності зчеплення покриття з основою	2
7	Визначення міцності матеріалу покриття	2
8	Методи оцінки величини зносу матеріалів	2

## 2.3. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Властивості аморфних газотермічних покриттів	2
2	Нанопорошки і їх властивості	2
3	Теплопровідність покриттів	2
4	Жаро- і термостійкість, корозійна стійкість композиційних покриттів	4
5	Стійкість до зношування, антифрикційні властивості покриттів	4
6	Високошвидкісне киснево-паливне напилення (HVOF) і Високошвидкісне повітряно-паливне напилення (HVOF)	2
7	Газодинамічне напилення покриття	2
8	Плазмове нанесення покриття в динамічному вакуумі – методи VPS і LPPS	2
9	Обладнання для газополуменевого напилення	2
10	Обладнання для електродугового напилення	2
11	Обладнання для плазмового напилення	2
12	Обладнання для нанесення покриття в динамічному вакуумі	2

13	Способи одержання порошків для напилення покриттів	2
14	Склад та призначення порошків для газотермічного напилення покриттів	2
15	Дроти, стержні, гнучкі шнури для газотермічного напилення	2
16	Технологія газотермічного напилення покриттів	4
17	Поверхневі фізико-хімічні процеси при формуванні вакуумних покриттів	4
18	Структура і властивості вакуумних покриттів	2
19	Процеси вакуумно-кондесційного нанесення покриттів	2
20	Технологія вакуумно-кондесційного нанесення покриттів	2
21	Обробка наплавлених деталей	2
22	Термічна обробка наплавлених деталей	2
23	Контроль якості наплавлених покриттів. Види дефектів при наплавних роботах.	2
24	Лазерне легування матеріалів	2
	Разом	56

## 2.4. Рекомендована література

### Основна література

1. Офіційний сайт Міністерства освіти і науки України: <https://mon.gov.ua/ua>
2. Стандарт вищої освіти України: перший (бакалаврський) рівень, галузь знань 13 – Механічна інженерія, спеціальність 131 – Прикладна механіка. Затверджено і введено в дію наказом Міністерства освіти і науки України від 20.06.2019 р. № 865
3. . Інженерія поверхні: підручник / К. А. Ющенко, Ю. С. Борисов, В. Д. Кузнецов, В. М. Корж. - Київ: Наукова думка, 2007. – 559 с.
4. Газотермические покрытия из порошковых материалов: Справочник / Ю. С. Борисов, Ю. А. Харламов, С. Л. Сидоренко, Е. Н. Ардатовская. – К. : Наукова думка, 1987. – 544 с.
5. Лузан С.А. Газотермическое напыление покрытий [Текст]: Монография. - Харьков: Издательство "НТМТ", 2009. - 134 с.
6. Лузан С. А. Научные основы разработки концепции восстановительного ремонта транспортной техники / С. А. Лузан // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків : НТУ «ХПІ», 2010. – № 39. – С. 56-63.
7. Лузан С. О. Структура концепції відновного ремонту газотермічним напиленням покриттів / С. О. Лузан // Механіка та машинобудування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2011. – № 1. – С. 163-169.
8. Лузан С. А. Предлагаемые общие принципы управления качеством газопламенных покрытий при восстановительном ремонте деталей / С. А. Лузан // Механіка та машинобудування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2011. – № 2. – С. 211-219.
9. Лузан С. А. К методике оценки влияния иглофрезерования на свойства газопламенных покрытий / С. А. Лузан, Е. С. Дерябкина // Труды 8-го



Международного Конгресса ОТТОМ-8. Оборудование и технологии термической обработки металлов и сплавов. – Харьков : ННЦ ХФТИ, ИПЦ «Контраст», 2007. – Т. 2. – С. 74-75.

10. Лузан С. А. Определение оптимальных значений параметров иглофрезы и скорости ее вращения при совмещении способа газопламенного напыления с иглофрезерованием / С. А. Лузан, Е. С. Дерябкина // Науковий вісник будівництва. – Харків : ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2009. – Вип. 55. – С. 249-253.

11. Лузан С.О. Забезпечення зносостійкості деталей газополум'яним напиленням покриттів з віброобробкою / С.О. Лузан // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. – Харків : 2011. – Вип. 114. – С. 196-202.

12. Туренко А. Н. Интегрирование технологии газотермического напыления покрытий и метода электроискрового легирования / А. Н. Туренко, А. С. Полянский, С. А. Лузан // Автомобильный транспорт : 2011. – Вып. 28. – С. 109-113.

13. Лузан С.О. Інженерія поверхні. Курс лекцій / С.О. Лузан, О.І. Сідашенко. – Харків: Водний спектр Джі-Ем-Пі, 2019. – 188 с.

14. Лузан С.А. СВС-процессы в технологиях упрочнения и восстановления деталей машин наплавкой и газотермическими способами напыления покрытий (обзор) / С.А. Лузан, А.И. Сідашенко, А.С. Лузан // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. – Харків: 2016. - № 6. – С. 152-162.

15. Лузан С.А. Определение способов восстановления деталей сельскохозяйственных машин, обеспечивающих их ресурс на уровне и превышающем уровень новых / С.А. Лузан // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. – Харків: 2015. – Вип. 158. – С. 93-98.

### **Додаткова література**

1. Пащенко В. М. Обладнання для газотермічного нанесення покриттів: навчальний посібник. К.: ІВЦ «Політехніка». 2001. – 416 с.

2. Корж В. М. Технологія та обладнання для напилення. навчальний посібник. К.: НМЦ ВО. 2000. – 407 с.

3. ГОСТ 28076-89 Газотермическое напыление. Термины и определения. – 10 с.

### **Інформаційні ресурси в інтернеті**

1. Сайт бібліотеки НТУ «ХП»: <http://library.kpi.kharkov.ua>

2. eNTUKhPIR; Головна сторінка: <http://repository.kpi.kharkov.ua>

3. <http://www.cogeneration.com.ua/html/pan2.htm>

4. <http://www.dizelist.ru/>

### **3. Методичні вказівки з вивчення курсу**

#### **Змістовий модуль 1. Будова твердої речовини. Процеси в потоці газу и на поверхні основи.**

##### Тема 1. Вступ.

###### ***Питання, що розглядаються у даній темі***

Будова твердої речовини. Задачі, які вирішує інженерія. Кристалічні структури. Поверхня твердого тіла. Поверхнева енергія, адсорбція, окиснення. Сегрегаційні явища на поверхні. Зношування поверхонь. Підготовка поверхонь.

##### Тема 2. Методи інженерії поверхні.

###### ***Питання, що розглядаються у даній темі***

Основні поняття та визначення. Класифікація методів за способом утворення шару та покриття. Суть механічних, термомеханічних, хіміко-термічних, електрохімічних і хімічних, фізичних методів інженерії поверхні.

##### Тема 3. Газотермічне напилення.

###### ***Питання, що розглядаються у даній темі***

Історія створення способу напилення металу. Джерела енергії. Газополуменевий струмінь. Форма, будова ацетилено-кисневого полум'я та діаграма розподілу температури в зонах. Стадії процесу горіння ацетилену. Структура детонаційної хвилі. Електрична дуга. Фізичні процеси в області дуги. Схема плавлення електродів при електродуговому розпиленні. Особливості течії надзвукового потоку розпилювального газу в електродугових розпилювачах. Струмінь низькотемпературної плазми. Формування структури і властивостей покриття.

##### Тема 4. Процеси в потоці газу і частинок.

###### ***Питання, що розглядаються у даній темі***

Прискорення частинок матеріалу. Схема аксіального і радіального завантаження потоку дисперсною фазою. Формування потоку частинок при розпиленні дроту. Нагрівання матеріалу у високотемпературному газовому потоці. Число Рейнольдса ( $Re$ ). Число Маха. Критерій Прандтля. Число Кнудсена. Процеси на поверхні основи. Число Нуссельта. Число Біо. Критерій Біо. Удар частинок. Температура контакту. Умови з'єднання. Формування структури і властивостей покриття. Структура покриття. Напруження в покриттях.

## Контрольні запитання до теми 1 та 4

1. В яких основних формах існує речовина? Що відрізняє кожен із форм?
2. У чому полягає суть фізичної і хімічної неоднорідності?
3. Що є основною структурною ознакою поверхні? Чим розрізняються зміщені і перебудовані поверхні?
4. Як схематично можна зобразити будову поверхневого шару?
5. Що є причиною виникнення поверхневої енергії?
6. Що є мірою сил міжатомного зчеплення у твердому тілі?
7. Що визначає змочування і адгезію матеріалів у рідкофазних процесах?
8. Охарактеризуйте поняття явища адсорбції.
9. Фізична і хімічна адсорбція. Різниця між ними.
10. На які стадії може бути поділена хемосорбція?
11. Як схематично можна зобразити появу плівки оксиду на поверхні металу з хемосорбованого кисню?
12. Суть і різновиди поверхневої сегрегації.
13. Основні види зношування поверхонь і умови їх прояву.
14. Основні види попередньої підготовки поверхонь.
15. Поясніть суть поняття "інженерія поверхні".
16. Які основні напрямки інженерії поверхні, їх суть?
17. За якими ознаками класифіковано методи інженерії поверхні?
18. У чому полягає суть механічних методів обробки (створення) поверхневих шарів?
19. У чому полягає суть термомеханічних методів обробки (створення) поверхневих шарів?
20. У чому полягає суть термічних методів обробки (створення) поверхневих шарів?
21. У чому полягає суть хіміко-термічних методів обробки (створення) поверхневих шарів?
22. У чому полягає суть електрохімічних і хімічних методів обробки (створення) поверхневих шарів?
23. У чому полягає суть фізичних методів обробки (створення) поверхневих шарів?
24. Коли і хто винайшов спосіб наплення металу на поверхню деталей?
25. В якому році запатентована перша конструкція газополуменового розпилювача?
26. На які способи за енергетичною ознакою поділяються газотермічні методи нанесення покриттів?
27. Яке джерело енергії для нагрівання та прискорення частинок матеріалу?
28. Використовується при газополуменовому напленні?
29. На які типи поділяється полум'я суміші ацетилену і кисню?
30. Що являє собою детонаційна хвиля?
31. Що називають стовпом дуги?

32. Який основний механізм іонізації в стовпі дуги?
33. Що характеризує число Маха?
34. Що являє собою низькотемпературна плазма?
35. Які гази найбільш часто застосовуються при плазмовому напиленні?
36. Що характеризує число Рейнольдса?
37. Що являє собою гетерофазний потік, який формується при газотермічному напиленні?
38. Які схеми подачі порошку у високотемпературний струмінь?
39. Як здійснюється теплообмін між частицею і газовим потоком?
40. Що характеризує число Маха?
41. Напишіть вираз критерію Прандтля.
42. Чим характеризується ступінь розрідженості газового потоку?
43. Що характеризує число Нуссельта?
44. Що характеризує число Біо?
45. З яких складових складається тиск, що виникає в зоні зіткнення частинки з поверхнею?
46. Що оцінюється за критерієм Вебера?
47. На які стадії підрозділяється процес утворення з'єднання напилюваних частинок з поверхнею деталі?
48. Якого характеру залишкові напруги формуються в покриттях?

**Змістовий модуль 2. Способи відновлення і зміцнення деталей.  
Управління якістю поверхні та вибір технології  
відновлення деталей.**

Тема 5. Способи газотермічного напилення та матеріали покриттів.

***Питання, що розглядаються у даній темі***

Класифікація газотермічних покриттів. Газополуменеве напилення. Детонаційне напилення. Плазмове напилення. Електродугове напилення. Газотермічні способи напилення. Матеріали для нанесення газотермічних покриттів. Способи відновлення. Застосування газотермічного напилення.

Тема 6. Наплавлення та електроіскрове легування.

***Питання, що розглядаються у даній темі***

Загальні теоретичні відомості. Характеристика способів наплавлення. Ручне дугове наплавлення покритим електродом. Наплавлення деталей під шаром флюсу. Дугове наплавлення в середовищі захисних газів. Вібродугове наплавлення. Електрошлакове наплавлення. Плазмове наплавлення. Індукційне наплавлення. Лазерне (світлове) наплавлення. Електронно-променеве наплавлення. Газове наплавлення.

Тема 7. Модифікування поверхні та інші методи нанесення покриття.

***Питання, що розглядаються у даній темі***

Модифікування поверхні лазером. Модифікування поверхні електронним променем. Іонна імплантація. Обробка плазмою. Гальванічні процеси. Хімічне осадження. Дифузійне насичення.

Тема 8. Управління якістю поверхні та вибір технології відновлення деталей.

***Питання, що розглядаються у даній темі***

Якість покриття. Методика визначення товщини відновлювальних покриттів, які забезпечують необхідний ресурс. Вибір технології відновлювання деталей. Перспективи застосування наноструктурованих матеріалів у машинобудуванні.

**Контрольні запитання до теми 5 та 8**

1. В якому році і ким винайдений спосіб напилення металу на поверхню?
2. За якими ознаками класифікуються газотермічні покриття?
3. Які гази використовуються в якості пального газу при газополуменевому напиленні?
4. Яка максимальна температура полум'я ацетиленокисневої суміші?
5. Суть детонаційного методу напилення?
6. Суть плазмового методу напилення?
7. Суть електродугової металізації?
8. Класифікація матеріалів для нанесення газотермічних покриттів?
9. На які групи поділяються композиційні порошки?
10. Яке підприємство в Україні випускає порошки для газотермічного напилення?
11. Якими параметрами характеризується форма валиків?
12. Чим оцінюється продуктивність наплавлення?
13. Як оцінюється продуктивність розплавлення?
14. За якими ознаками класифікуються способи наплавлення?
15. Як здійснюється легування наплавленого металу?
16. Від яких параметрів залежить режим наплавлення під шаром флюсу?
17. Поясніть сутність способу наплавлення в середовищі захисних газів?
18. Сутність процесу вібродугового наплавлення?
19. Які застосовують види електрошлакового наплавлення?
20. Які основні схеми застосовуються при плазмовому наплавленні?
21. Поясніть суть індукційного наплавлення?
22. Які застосовують способи лазерного наплавлення?
23. Які переваги електронно-променевого наплавлення?
24. Назвіть переваги газової наплавлення.

25. Які переваги процесу електроконтактної наплавлення?
26. На які класи за структурними ознаками поділяються зносостійкий наплавлений метал?
27. На які групи поділяються електроди для наплавлення?
28. Як проводиться підготовка деталей для наплавлення?
29. У чому полягає суть електроіскрового легування поверхні?
30. Охарактеризуйте основні схеми утворення легованого шару при електроіскровому легуванні поверхні.
31. Чим визначається електроерозійна стійкість матеріалів у процесі електроіскрового легування поверхні?
32. Які особливості формування покриттів при електроіскровому легуванні поверхні та їх властивості?
33. У чому полягає фізична суть лазерного випромінювання?
34. Тип легуючого елемента впливає на твердість легованого шару?
35. У чому полягає суть лазерного легування матеріалів?
36. У чому полягає суть модифікування поверхні електронним променем?
37. Які основні схеми електронно-променевого модифікування поверхні?
38. У чому полягає суть іонної імплантації?
39. Якої величини вакуум застосовується для іонного легування?
40. Як змінюється при іонному бомбардуванні коефіцієнт тертя?
41. У чому полягає фізична суть плазмового зміцнення?
42. Які основні технологічні варіанти плазмового зміцнення?
43. Які основні закономірності структурних перетворень при плазмовому зміцненні?
44. Поясніть схему отримання металевого покриття методом електролітичного осадження.
45. На які типи за характерними ознаками і призначенням поділяють КЕП?
46. Якими можуть бути електроліти?
47. Які характерні типи структур мають при КЕП електролітичні осади без включень і з включеннями дрібнодисперсних частинок?
48. Поясніть механізм утворення покриття при газофазному осадженні.
49. Скількох типів буває структура газофазних покриттів?
50. Опишіть схему утворення покриттів із парогазової фази.
51. Яким законом описується зміна концентрації в часі в певній точці по глибині дифузійного шару?
52. Якими властивостями характеризується якість покриття?
53. На скільки груп поділяються фактори, які впливають на якість покриття?
54. За якими критеріями проводиться вибір технології відновлення деталей?
55. Якими способами утворення наноструктурованих матеріалів можливо покращити якісні показники деталей?
56. Дайте визначення наноматеріалів?
57. Як впливають нанорозмірні компоненти на рух дислокацій?
58. Як впливає наноструктурування металу на ресурс виробів?