

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**Український державний університет
науки і технологій**

Кафедра «Покриттів, композиційних матеріалів
та захисту металів»

В авторській редакції

**СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ НАНЕСЕННЯ
ТА ВЛАСТИВОСТІ ПОКРИТТІВ**

Навчально-методичні рекомендації
до практичних робіт
для студентів спеціальності 132 – матеріалознавство
ОПП «Матеріалознавство»
(магістерський рівень)

Електронне видання

ДНІПРО
2025

УДК 621.793(076.5)

С 91

Упорядники:

*А. М. Ковзік, Т. А. Аюпова, О. А. Носко, І. В. Голуб,
О. В. Біла, Ю. О. Кушнір*

Електронне видання

Схвалено Групою забезпечення якості освітньої програми
132 «Матеріалознавство»
Протокол № 2 від 03.09.2025 р.

С 91 Сучасні технології нанесення та властивості покриттів : навчально-методичні рекомендації до практичних занять для студентів спеціальності 132 Матеріалознавство ОПП «Матеріалознавство» (магістерський рівень) / упоряд. А. М. Ковзік, Т. А. Аюпова, О. А. Носко, І. В. Голуб, О. В. Біла, Ю. О. Кушнір ; Укр. держ. ун-т науки і технологій. – Електрон. вид. – Дніпро : УДУНТ, 2025. – 36 с.

Навчально-методичні рекомендації з дисципліни «Сучасні технології нанесення та властивості покриттів» спрямовані на формування у студентів знань про сучасні методи нанесення, будову та властивості покриттів, а також практичних навичок розрахунку технологічних параметрів і оцінювання якості шарів. Подано відомості про основні способи нанесення покриттів, підготовку поверхні, методи контролю, вибір матеріалів і технологічних режимів. Матеріали супроводжуються прикладами розрахунків і контрольними питаннями для самоперевірки. Рекомендації призначені для викладачів і студентів спеціальності 132 – Матеріалознавство, ОПП «Матеріалознавство» (магістерський рівень) денної та заочної форм навчання.

© Ковзік А. М. та ін., упорядкування, 2025

© Укр. держ. ун-т науки і технологій, 2025

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №1	5
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №2	9
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №3	14
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №4	28
ЛІТЕРАТУРА.....	35

ВСТУП

Сучасний рівень розвитку техніки, енергетики, транспорту та промислового виробництва потребує матеріалів із підвищеними експлуатаційними властивостями — зносостійкістю, корозійною стійкістю, жароміцністю та довговічністю. Одним із найефективніших способів забезпечення цих властивостей є нанесення функціональних покриттів із використанням сучасних технологій — газотермічного, плазмового, електродугового, детонаційного, вакуумного та інших методів.

Дисципліна «Сучасні технології нанесення та властивості покриттів» спрямована на формування у студентів знань про принципи отримання покриттів, особливості їх мікроструктури, фізико-механічні характеристики та методи контролю якості. Вона забезпечує підготовку майбутніх фахівців з матеріалознавства до самостійного вибору матеріалів, технологічних процесів і обладнання для створення покриттів різного призначення.

Мета укладання навчально-методичних рекомендацій — надати студентам методичну підтримку при виконанні практичних робіт, ознайомити їх із вимогами до змісту, оформлення й послідовності виконання завдань, а також сприяти розвитку навичок практичного застосування теоретичних знань у галузі технологій нанесення покриттів.

Запропоновані матеріали містять приклади розрахунків параметрів процесів напилення, методики підготовки поверхні, вибору технологічних режимів і контролю властивостей покриттів. Їхнє використання забезпечить глибше засвоєння навчального матеріалу та підвищить рівень професійної підготовки майбутніх інженерів-матеріалознавців.

Практичне заняття №1

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ПОТОКУ ЧАСТИНОК ПРИ НАПИЛЕННІ

При плазмовому напиленні використовують подачу матеріалу до плазмотрону у вигляді дроту або порошку [1-2].

При нагріві дроту на його торці утворюється крапля металу, розмір якої визначається конструкцією плазмотрону (горілки), складом та витратами плазмоутворюючого газу, температурою плазмового струменю, діаметром дроту. Для отримання якісного покриття необхідно забезпечити оптимальний розмір крапель в потоці, їх швидкість польоту та прогрів кожної краплі до необхідної температури. Правильна організація процесу напилення забезпечує якість покриття, яка, насамперед; оцінюється достатньою щільністю покриття та високою адгезійною та когезійною міцністю.

Ціль проведення заняття – розрахунок основних параметрів потоку частинок при напиленні, за яким можливо оцінити розміри та ступінь розігріву частинок для отримання якісного напиленого покриття. Як приклад, нижче наведено розрахунок параметрів потоку частинок при плазмовому напиленні [3-4].

Приклад

Плазмовим напиленням проведено нанесення проміжного шару з нікелю. Плазмоутворюючий газ – аргон. Потім даним способом проведено напилення основного матеріалу покриття – оксиду алюмінію. Плазмоутворюючий газ – суміш 80% Ar + 20% H₂.

Кінематичну в'язкість розплавленого нікелю прийняти рівною $\nu_1=51,3 \cdot 10^4 \text{ м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$, оксиду алюмінію – $\nu_2=10,1 \cdot 10^2 \text{ м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$.

Середня швидкість потоку становить при напиленні підшару $1000 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, а при напиленні покриття – $800 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. Постійні c_1 і c_2 прийняти рівними у першому випадку 0,008 та 0,0245, а у другому – 0,015 та 0,416, відповідно. Діаметр плями напилення в обох випадках прийняти рівним $2 \cdot 10^{-2} \text{ м}$. Товщина нікелевого шару повинна бути $50 \cdot 10^{-6} \text{ м}$, а покриття з оксиду алюмінію – $300 \cdot 10^{-6} \text{ м}$. Тривалість напилення шару в межах плями напилення за один прохід становить 2 та 3,5 с відповідно.

Визначити середній розмір частинок підшару з нікелю і покриття з оксиду алюмінію. Оцінити однорідність розподілу температури у розплавлених частинках двох типів. Зробити аналіз одержаних результатів.

Рішення

1. Визначаємо значення числа Маха при напиленні підшару і покриття. Число Маха – це безрозмірна характеристика течії газу, що стискається, яка дорівнює відношенню швидкості течії v до швидкості звуку a в тій самій точці потоку. Значення a в сухому газовому середовищі приймають рівним $330 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$.

Тоді при напиленні нікелю

$$M_1 = \frac{v_1}{a} = \frac{430}{330} = 1,3;$$

При напиленні Al_2O_3

$$M_1 = \frac{v_2}{a} = \frac{330}{330} = 1.$$

2. Визначаємо значення середнього розміру частинок при напиленні кожного шару за формулою

$$d = d_0 (c_1 + c_2 \frac{v^{0,44}}{M^{0,817}} \cdot p^{-1/3}),$$

де d_0 - діаметр дроту (прутка), що подається в розпилювач, м;

v – кінематична в'язкість напилюваного матеріалу при температурі, до якої нагріваються частинки матеріалу в плазмовому або газовому потоці, $\text{м}^2/\text{с}$;

M – число Маха супутного потоку;

P – надлишковий тиск в супутному потоці, Па;

c_1 і c_2 – постійні, залежні від властивостей напилюваного матеріалу, зокрема, від його температури та поверхневого натягу.

Тоді при напиленні нікелю та алюмінію, відповідно

$$d_{Ni} = d_0 (c_{1Ni} + c_{2Ni} \frac{v_{Ni}^{0,44}}{M_1^{0,817}} \cdot p^{-1/3}) = 1 \cdot 10^{-3} [0,008 + 0,0245 \frac{(51,3 \cdot 10^4)^{0,44}}{1,3^{0,817}} \cdot (4 \cdot 10^5)^{-1/3}] = 90 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

$$d_{Al_2O_3} = d_0 (c_{1Al_2O_3} + c_{2Al_2O_3} \frac{v_{Al_2O_3}^{0,44}}{M_2^{0,817}} \cdot p^{-1/3}) = 1 \cdot 10^{-3} [0,015 + 0,416 \cdot \frac{(10,1 \cdot 10^4)^{0,44}}{1,0^{0,817}} \cdot (4 \cdot 10^5)^{-1/3}] = 133 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

3. Визначаємо час знаходження частинки в струмені

$$\tau = \frac{s}{v}, \text{ с,}$$

де s – відстань від плазмотрона до поверхні, м.

Приймаємо s рівним 0,5м;

v – середня швидкість потоку, м·с⁻¹.

При напиленні нікелю

$$\tau_{Ni} = \frac{0,5}{1000} = 50 \cdot 10^{-5} \text{ с};$$

при напиленні Al_2O_3

$$\tau_{Al_2O_3} = \frac{0,5}{800} = 62,5 \cdot 10^{-5} \text{ с}.$$

4. З врахуванням того, що при газотермічному напиленні для забезпечення необхідної адгезії достатнім є нагрів частинки до температури, яка в її центрі дорівнює 0,9 від температури плавлення матеріалу, розраховуємо максимальний розмір частинки (d_{max}) для нагріву до необхідної температури

$$d_{max.} = \sqrt{4\alpha\tau/0,3},$$

де α – коефіцієнт температуропровідності речовини (таблиця 1.1);

τ – час знаходження частинки в струмені.

$$d_{max.Ni} = \sqrt{4 \cdot 1,35 \cdot 10^{-5} \cdot 50 \cdot 10^{-5} / 0,3} = 300 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

$$d_{max. Al_2O_3} = \sqrt{4 \cdot 2,00 \cdot 10^{-6} \cdot 62,5 \cdot \frac{10^{-5}}{0,3}} = 129 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

Таблиця 1.1 – Значення коефіцієнтів температуропровідності речовин

Матеріал	α , м ² ·с ⁻¹
Cu	$1,03 \cdot 10^{-4}$
Al	$9,50 \cdot 10^{-5}$
WC	$6,40 \cdot 10^{-5}$
Ni	$1,35 \cdot 10^{-5}$
V2A – сталь	$4,00 \cdot 10^{-6}$
Al_2O_3	$2,00 \cdot 10^{-6}$
ZrO_2	$5,00 \cdot 10^{-7}$

Проведені розрахунки показують, що діаметр частинок нікелю, які утворюються при напиленні ($90 \cdot 10^{-6}$ м) значно менший, ніж допустимий для

необхідного прогріву частинок ($300 \cdot 10^{-6}$ м). Розмір частинок Al_2O_3 , що утворюються ($133 \cdot 10^{-6}$ м), дещо перевищує допустимий ($129 \cdot 10^{-6}$ м). Звідси виходить, що тривалість перебування частинок нікелю у високотемпературній зоні пальника достатня для їх повного розплавлення цих частинок. Таким чином, створені сприятливі умови для отримання проміжного нікелевого шару з гарною суцільністю (низькою пористістю). Покриття з оксиду алюмінію, ймовірно, матиме велику пористість. Враховуючи той факт, що покриття з оксидів часто створюють з метою підвищення корозійної стійкості виробу, слід рекомендувати використовувати технологічні прийоми, які забезпечують зменшення розміру частинок (збільшення швидкості плазмового потоку, зменшення дистанції напилення) або додаткову фінішну обробку покриття плазмовим струменем з метою оплавлення його поверхні. Це призведе до зменшення або ліквідації наскрізної пористості і, відповідно, збільшення корозійної стійкості покриття.

Контрольні питання

1. В якому вигляді проводять подачу матеріалу в установках напилення?
2. Які фактори впливають на якість напиленого покриття?
3. Як кінетична в'язкість розплавленого матеріалу впливає на розмір частинок при плазмовому напиленні?
4. Як розрахувати число Маха?
5. Які матеріали використовуються в якості підшару та основного шару при напиленні корозієстійких покриттів?
6. Який параметр використовують при оцінці адгезійної міцності покриття?
7. Які технологічні прийоми використовують для зниження пористості напиленого покриття?

Практичне заняття №2

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ, ЩО ХАРАКТЕРИЗУЮТЬ МІЖФАЗНУ ВЗАЄМОДІЮ НА МЕЖІ «ПОКРИТТЯ-ОСНОВА»

Процес утворення з'єднання між частинками, що напилюються, і підкладкою можна розглядати як хімічну реакцію на межі розділу фаз, що вступили у фізичний контакт внаслідок деформації і розтікання частинок. Враховуючи, що частинка, що напилюється, нагріта до високої температури і інтенсивно деформується на підкладці, швидкість цієї реакції визначається тільки умовами активації атомів поверхні підкладки [3].

Від умов протікання цієї реакції залежить величина адгезії напиленого шару на підкладці [1,2,5]. Ці умови, насамперед, залежать від контактної температури частинки з підкладкою T_k , часу реагування частинки з підкладкою τ_k , енергії активації процесу E_a .

Якщо прийняти, що покриття повністю вкриває поверхню основи і число атомів, що вкривають одиницю поверхні, дорівнює N , а в реальних умовах аналогічна величина є N_t , то по відношенню N/N_t можливо оцінювати відносну міцність зчеплення покриття з основою.

Ціль проведення заняття – розрахунок параметрів, що характеризують теплову активність напилюваних частинок по відношенню до підкладки та міцність зчеплення частинок з підкладкою.

Приклад

Для підвищення корозійної стійкості на мідний виріб проводиться плазмове напилення нікелевого покриття. Потрібно провести розрахунок значень параметрів (T_k , τ_k , E_a), що характеризують умови протікання топохімічної реакції на межі розділу «підкладка – напилена частинка» і оцінити величину відносної міцності зчеплення частинок:

1) за умови, що поверхня виробу в реальних умовах покрита тонким шаром оксиду міді;

2) за умови, що поверхня міді очищена від оксиду.

У розрахунку прийняти коефіцієнт теплопровідності оксиду міді, міді та нікелю – 1,013; 361, 43; 63,5 $\frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$, відповідно; коефіцієнт температуропровідності - $0,19\cdot 10^{-6}$; $1,03\cdot 10^{-4}$ та $14,4\cdot 10^{-6} \text{ м}^2\cdot\text{с}^{-1}$, відповідно;

температуру плавлення нікелю – 1728 К; теплоємність нікелевої частинки – 9,37 кал/(моль·град); теплоту плавлення напилюваних частинок $L_{298}=4180$ кал/моль; товщину напилених часток $h = 20 \cdot 10^{-6}$ м.

Постійна Больцмана дорівнює $1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж·К⁻¹ = $8,625 \cdot 10^{-5}$ еВ.

Частоту власних коливань атомів прийняти рівною $\nu \approx 10^{13}$ с⁻¹.

Зробити висновок про доцільність проведення робіт із підготовки поверхні перед напилюванням покриття, включаючи видалення тонких шарів оксиду на ній.

Рішення

1. Визначаємо значення критерію K_{ε} , що характеризує теплову активність нікелевої частинки по відношенню до мідної підкладки, покритої тонким оксидним шаром:

$$K_{\varepsilon} = \frac{\lambda_m}{\lambda_n} \sqrt{\frac{a_n}{a_m}} = \frac{63,5}{1,013} \sqrt{\frac{0,19 \cdot 10^{-6}}{14,4 \cdot 10^{-6}}} = 7,2,$$

де a_m , a_n – коефіцієнти теплопровідності частинки і підкладки, відповідно;

індекси n і m характеризують виріб (підкладку) і матеріал, що напилюється, відповідно.

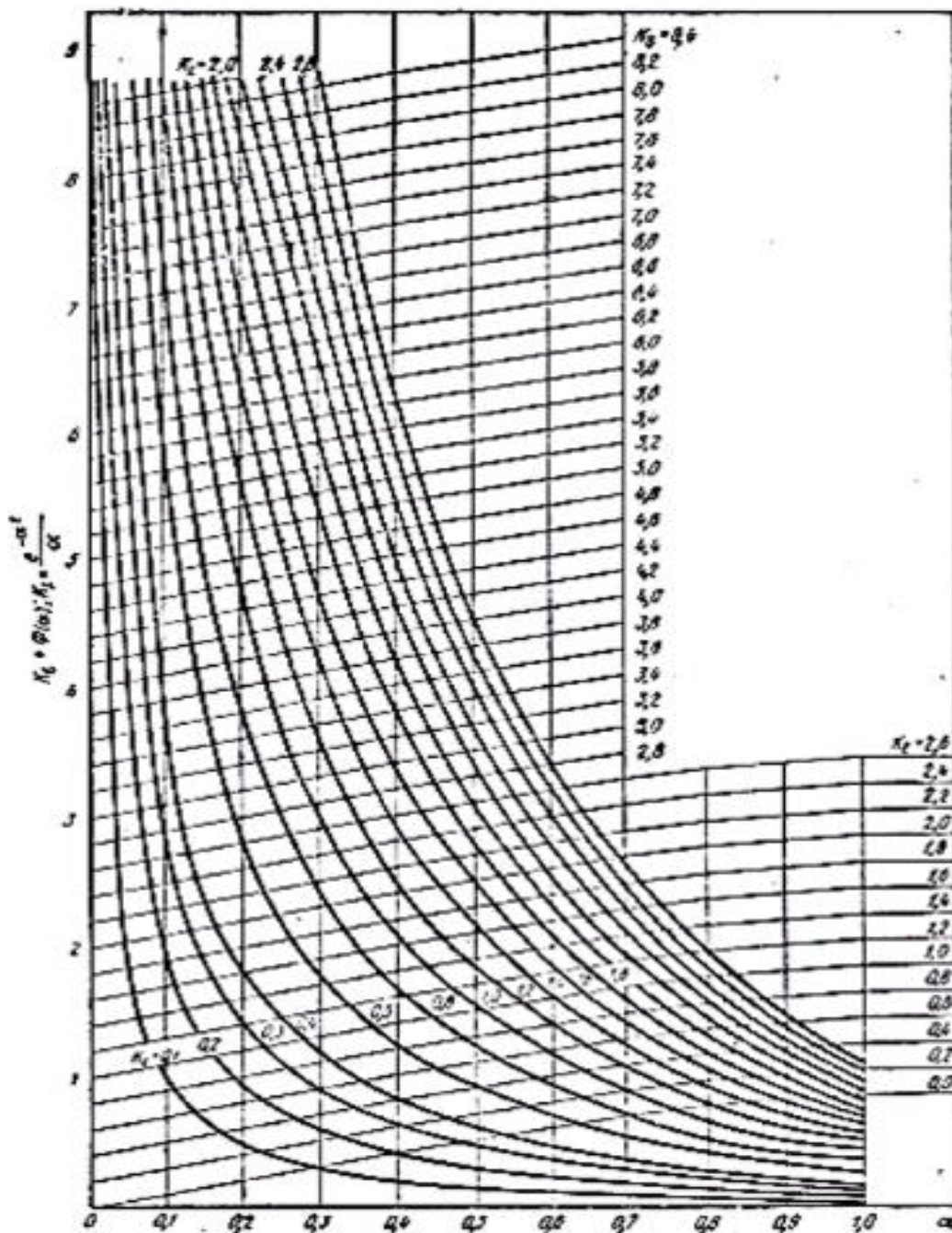
2. Визначаємо значення критерію K_L , який враховує теплоту плавлення напилюваного матеріалу:

$$K_L = \frac{C_m \cdot T_m}{L_m \cdot 1,77} = \frac{9,37 \cdot 1728}{4180 \cdot 1,77} = 2,19.$$

3. Визначаємо по номограмі (рисунок 2.1) корінь рівняння $\alpha = f(K_{\varepsilon}, K_L)$:

$$\alpha = 0,25$$

Рисунок 2.1 – Номограма для визначення α



4. Визначаємо величину функції інтеграла ймовірності згідно з отриманими значеннями критеріїв K_E і K_L :

$$\varphi(\alpha) = K_L \frac{e^{-\alpha^2}}{\alpha} - K_E = 2,19 \cdot \frac{e^{-0,25}}{0,25} - 7,2 = 0,67.$$

5. Визначаємо значення температури в контакті частинки з підкладкою:

$$T_k = \frac{T_m \cdot K_E}{K_E + \varphi(\alpha)} = \frac{1728 \cdot 7,2}{7,2 + 0,67} = 1581 \text{ К.}$$

6. Визначаємо тривалість затвердіння частинок $\tau_k = \tau_a$:

$$\tau_k = \left(\frac{h}{2\alpha}\right)^2 \cdot a_m^{-1} = \left(-\frac{20 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 0,25}\right)^2 \cdot \frac{1}{14,4 \cdot 10^{-6}} = 1,1 \cdot 10^{-4} \text{ с} = 110 \text{ мкс.}$$

7. Визначаємо енергію активації поверхні підкладки:

$$E_a \approx k \cdot T_k (\ln \tau_k + 30) = 1,38 \cdot 10^{-25} \cdot 6,25 \cdot 10^{18} \cdot 1581 (\ln 1,1 \cdot 10^{-4} + 30) = 2,85 \text{ еВ.}$$

8. Визначаємо величину відносної міцності зчеплення частинок із підкладкою:

$$\frac{N(\tau_a)}{N_0} = 1 - \exp\left[-\frac{v \cdot (\tau_a)}{\exp(E_a/k \cdot T_k)}\right] = 1 - \exp\left[-\frac{10^{13} \cdot 1,1 \cdot 10^{-4}}{\exp\left(\frac{2,85}{8,625 \cdot 10^{-5} \cdot 1581}\right)}\right] = 0,5.$$

Виконаємо аналогічний розрахунок тієї ж системи підкладка-покриття за умови, що мідна підкладка була попередньо піддана очищенню від оксидних шарів.

9. Визначаємо значення критерію K_ε^1 :

$$K_\varepsilon^1 = \frac{\lambda m}{\lambda n} \sqrt{\frac{a_n^1}{a_m^1}} = \frac{63,5}{361,43} \sqrt{\frac{1,03 \cdot 10^{-4}}{14,4 \cdot 10^{-6}}} = 0,47.$$

Величини з позначкою 1 характеризують відмінність у стані системи «підкладка-покриття» після очищення поверхні підкладки.

10. Значення критерію K_L^1 збігається з розрахованою вище величиною

$$K_L = 2,19.$$

11. Визначаємо по номограмі корінь рівняння $\alpha = f(K_\varepsilon^1, K_L)$;

$$\alpha^1 = 0,86.$$

12. Визначаємо значення функції інтегралу ймовірності $\varphi^1(\alpha^1)$:

$$\varphi^1(\alpha^1) = K_L \left(\frac{e^{-\alpha^1}}{\alpha^1}\right)^2 - K_\varepsilon^1 = 2,19 \left(\frac{e^{-0,86}}{0,86}\right)^2 - 0,47 = 0,745.$$

13. Визначаємо температуру контакту частинки з підкладкою:

$$T_k^1 = \frac{T_m \cdot K_\varepsilon^1}{K_\varepsilon^1 + \varphi^1(\alpha^1)} = \frac{1728 \cdot 0,47}{0,47 + 0,745} = 668 \text{ К.}$$

14. Визначаємо тривалість затвердіння частинок:

$$\tau_k^1 = \left(\frac{h}{2\alpha^1}\right)^2 \cdot \frac{1}{a_m} = \left(\frac{20 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 0,86}\right)^2 \cdot \frac{1}{14,4 \cdot 10^{-6}} = 16 \cdot 10^{-6} \text{ с} = 16 \text{ мкс.}$$

15. Визначаємо енергію активації поверхні мідної підкладки:

$$E_a^1 \approx k \cdot T_k^1 (\ln \tau_k^1 + 30) = 8,625 \cdot 10^{-5} \cdot 668 (\ln 16 \cdot 10^{-6} + 30) = 1,09 \text{ еВ.}$$

16. Визначаємо відносну міцність зчеплення частинок N^1 з мідною підкладкою:

$$\frac{N^1(\tau_a^1)}{N_0^1} = 1 - \exp\left[-\frac{v \cdot \tau_a^1}{\exp(E_a^1/k \cdot T_k^1)}\right] = 1 - \exp\left[-\frac{10^{13} \cdot 1,1 \cdot 10^{-4}}{\exp\left(\frac{1,09}{8,625 \cdot 10^{-5} \cdot 668}\right)}\right] = 0,64.$$

Розрахунки показали, що відносна міцність зчеплення частинок з підкладкою в разі видалення оксидної плівки дорівнює 0,64, тоді як той же показник за наявності плівки дорівнює 0,5. Враховуючі це, слід зробити висновок про необхідність проведення операції з видалення тонких оксидних шарів на поверхні виробу, що покривається. Для отримання найкращих результатів цю операцію рекомендується виконувати безпосередньо перед напилюванням. Це, по-перше, збереже виріб від появи нових оксидних плівок на його поверхні, по-друге, підвищить активність підкладки, яка сприятливо позначиться на утворенні міцного зчеплення в контактній зоні підкладка-покриття.

Контрольні питання

1. Які реакції протікають при осадженні частинок на підкладку в процесі напилення?
2. Що розуміють під адгезією напиленого шару матеріалу до підкладки?
3. Що таке контактна температура при напиленні?
4. Надайте визначення поняття «енергія активації».
5. Як оцінити відносну міцність покриття до основи?
6. Як впливає наявність оксидної плівки на поверхні підкладки на відносну міцність зчеплення покриття з підкладкою?
7. Коли необхідно виконувати очищення поверхні деталі, на яку напилюють покриття?

Практичне заняття №3

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ПІДГОТОВКИ ПОВЕРХНІ ПЕРЕД НАНЕСЕННЯМ ГАЗОТЕРМІЧНОГО ПОКРИТТЯ

При розробці конструкцій та складу покриттів, які наносяться на деталі, вироби, слід враховувати технічні вимоги до поверхонь, виконання яких забезпечує високі службові характеристики напиленого шару.

Якість газотермічних покриттів та висока міцність зчеплення з деталлю, конструкцією, виробом залежать від правильності підготовки поверхні, на яку проводиться напилення [1-2].

Технологічний процес підготовки передбачає ряд операцій, необхідність яких визначається конфігурацією і станом поверхні, схильної до напилення, матеріалом основи, товщиною шару, що наноситься, умовами експлуатації.

Загалом процес підготовки поверхні може включати наступний комплекс операцій:

- відбір деталей, що відповідають технологічним вимогам;
- механічна обробка поверхні;
- активація та формування шорсткості напилюваної поверхні;
- попередній підігрів поверхні;
- нанесення підшару.

3.1 Технологічні вимоги до поверхні, що підготовлюється до напилення

При призначенні процесу підготовки необхідно враховувати, що конфігурація поверхні, яка напилюється, повинна гарантувати нанесення покриття при розміщенні напилюваного матеріалу під кутом 60...90° (в стиснених умовах не менше 30°).

Готувати поверхні у виїмках та глибоких отворах допускається за умови, що відношення ширини або діаметра отвору до його глибини буде не менше двох.

У разі підготовки внутрішньої поверхні наскрізного отвору його довжина у відношенні до діаметра має бути не більше двох.

Рекомендована конфігурація поверхні деталей, конструкцій та виробів, що піддаються напиленню для забезпечення високої міцності зчеплення, представлена на рисунку 3.1.

На поверхнях, на які буде наноситися покриття, не повинно бути задирок, зварювальних бризок, напливів паяння, припалів, залишків флюсу, раковин, тріщин тощо.

3.2 Попередня механічна обробка поверхні

Попередню механічну обробку поверхні здійснюють в основному при відновленні зношених деталей, конструкцій та виробів.

На механічну обробку повинні надходити деталі, конструкції та вироби, очищені від бруду, мастила та пилу.

Товщина шару, що знімається в процесі механічної обробки, обмежується товщиною напилюваного шару з вирахуванням припуску на обробку покриття. Рекомендовані максимальні товщини шару для різних способів напилення наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Рекомендовані товщини шару покриття

Спосіб нанесення покриття	Максимальна товщина покриття, мм
Газополум'яний	0,10...4,00
Електродуговий	0,10...6,00
Плазмовий	0,05...1,50
Детонаційний	0,03...0,50

Механічна обробка поверхні деталей, конструкцій і виробів виконується на металорізальному обладнанні, що серійно випускається.

Правильно

Неправильно

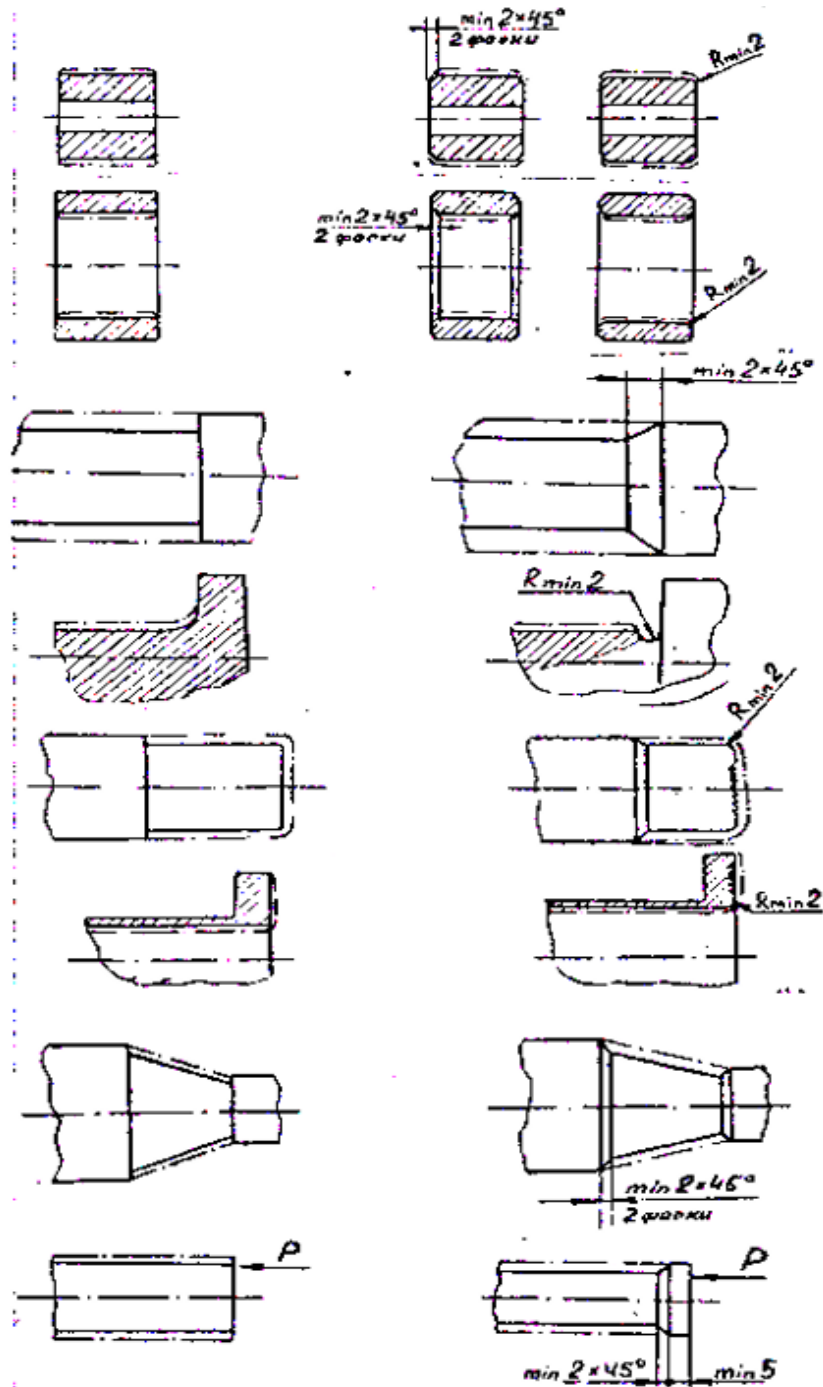


Рисунок 3.1 - Рекомендована конфігурація поверхні деталей

3.3 Знежирення поверхні

Загальне знежирення поверхні деталі, конструкції або виробу здійснюється органічними розчинниками (таблиця 3.2), миючими засобами (таблиця 3.3), лужними розчинниками та різними емульсіями.

Таблиця 3.2 – Органічні розчинники

Характер забруднення	Метал, що обробляється, покриття	Розчинник	Режим обробки		
			Температура, °С	Тривалість, хв	
				занурення	Витримки у парах розчинника
Робочі та консерваційні олії та мастила	Усі метали крім титану	Тетрахлоретилен (токсичний) Трихлоретилен (токсичний)	121	Не менш 0,5	0,5-5,0
	Усі метали крім срібла, алюмінію, титану, міді та її сплавів	Тетрахлоретилен катіонат-10 (конц.1-3 кг/м ³)	87	Не менш 0,5	0,5-5,0
Полірувальні та шліфувальні пасти	Все метали крім титану; всі поліровані покриття	Трихлоретилен стабілізований, катіонат-10 (конц.1-3 кг/м ³)	121	Не менш 0,5	0,5-5,0
	Усі метали крім титану, алюмінію, срібла, міді та її сплавів; всі поліровані покриття крім срібних, мідних та з мідних сплавів		87	Не менш 0,5	0,5-5,0

Таблиця 3.3 – Миючі засоби

Характер забруднення	Матеріал, що обробляється	Масова концентрація розчину, кг/м ³					Режим обробки	
		Натр ідкий	Тринагрій фосфат	Сода кальцинована	Ситанол ДС-10	Рідке скло	Температура, °С	Тривалість, хв.
Робочі консерваційні олії і мастила та інші жирові забруднення	Стали різних марок	5-15	15-35	15-35	3-5	-	60-80	3-20
	Алюміній та його сплави.	8-12	20-50	-	-	25-30	40-70	3-10
	Усі метали, сплави та покриття, крім полірованих алюмінію та його сплавів	-	15-35	15-35	3-5	-	60-80	5-20
Мастило-охолоджуючі рідини	Всі метали і сплави	-	-	10-15	1-3		60-80	1-5

Ступінь знежирення поверхні повинна бути не нижчою за першу за ДСТУ ISO 12944-4:2019 [6].

Послідовність виконання операцій при знежиренні має бути такою:

- укласти партію деталей у кошик установки;
- знежирити деталі;
- підняти кошик над ванною та тримати до повного стоку розчину з деталі;
- перекласти деталі із кошика на приймальний стіл.

У технічно обґрунтованому випадку допускається проводити загальне знежирення за допомогою щіток та матеріалу для протирання, змоченого бензином-розчинником або ацетоном.

Великогабаритні деталі складної форми, нагрівання яких допустимо, можна знежирювати випалом полум'ям газового пальника.

3.4 Активація поверхні та формування шорсткості

Спосіб активації та отримання шорсткості на поверхні, що підготовлюється, залежить від матеріалу і товщини стінки деталі, конструкції або виробу, товщини шару, що наноситься, конфігурації поверхні, умов експлуатації.

Підготовку поверхні деталей, конструкції чи виробів із товщиною стінки менше 0,5 мм доцільно проводити травленням.

При товщині стінки більше 0,5 мм активацію слід здійснювати струминно-абразивною обробкою.

Підготовку деталей циліндричної форми, які працюють при підвищених механічних навантаженнях (особливо зрізаючих), допускається проводити механічною обробкою (нарізання «рваного» різьблення).

Таку обробку рекомендується проводити у разі поверхневої твердості не більше HRC 40. В іншому випадку активація проводиться електроіскровою обробкою.

3.4.1 Підготовка поверхні травленням

Травлення поверхні основи необхідно проводити після знежирення. Після закінчення травлення розчин змивають потоком води.

Сушіння деталей, конструкцій, виробів після промивання та нейтралізації, якщо це необхідно, слід проводити в сушильних шафах при 60...150°C або обдуванням стисненим повітрям при тій же температурі.

3.4.2 Струменево-абразивна обробка

При проведенні струменево-абразивної підготовки поверхні основи слід враховувати матеріал деталі, конструкції або виробу (твердість, в'язкість), умови їх експлуатації з покриттями.

Рекомендовані режими струменево-абразивної обробки різних матеріалів представлені в таблиці 3.4.

Після струменево-абразивної обробки активована поверхня деталей, конструкцій, виробів має бути обдувана стисненим повітрям.

Таблиця 3.4 – Рекомендовані режими струменево-абразивної обробки

Параметри	Матеріал основи					
	Чавун	Сталь HRC \leq 40	Сталь HRC $>$ 40	Алюмінієвий сплав	Титановий сплав	Неметали
Фракція абразива, мм	0,8-1,0	0,8-1,5	0,8-1,5	0,6-0,8	0,6-0,8	0,2-1,0
Вид абразиву	Дріб, електрокорунд	Дріб, електрокорунд	Електрокорунд	Електрокорунд	Електрокорунд	Дріб, електрокорунд
Діаметр сопла, мм	8-14	8-14	8-14	8-14	8-14	8-14
Тиск стисненого повітря, МПа	0,5-0,6	0,4-0,6	не нижче 0,6	0,4-0,6	0,4-0,6	0,1-0,3
Відстань від зрізу сопла до поверхні, що обробляється, мм	50-120	50-120	40-120	100-120	100-120	50-180
Кут падіння струменя на оброблювану поверхню, град: робочий мінімальний	90 -	60-90 30	60-90 30	60-90 30	60-90 30	60-90 -
Лінійна швидкість переміщення пістолета, мм/хв.	50-600	50-400	50-400	250-600	250-600	250-600

Примітка. Для всіх матеріалів обробка ведеться в 2 проходи при швидкості подачі 4...6мм за один оберт і витраті стисненого повітря 1,6 ... 4,0 м³/хв.

Шорсткість поверхні деталей, конструкцій або виробів після струменево-абразивної обробки повинна становити R_z 10...160 мкм залежно від матеріалу основи та призначення покриття.

При підготовці поверхні деталей, конструкцій або виробів рекомендується формувати шорсткість з висотою мікровиступів R_z , що складають три чверті діаметра частинок матеріалу, що напилюється.

Для запобігання деформаціям і коробленню деталей, конструкцій та виробів з товщиною стінки менше 2 мм слід застосовувати спеціальні пристрої.

Поверхні деталей, конструкцій, виробів, які не підлягають обробці, повинні бути захищені від впливу абразивних частинок екранами з металу або іншого абразивостійкого матеріалу (наприклад, гуми, фторопласту тощо).

Зона струменево-абразивної обробки повинна бути більшою за зону напилення покриття на 2...3 мм з кожного боку.

3.4.3 Механічна обробка

При нанесенні покриттів на деталі, конструкції, вироби циліндричної форми, які при експлуатації з напиленим шаром більше 1 мм зазнають підвищених механічних навантажень (особливо зрізувальних), рекомендується спосіб формування шорсткості шляхом нанесення «рваного» різьблення.

Не рекомендується проводити підготовку поверхні шляхом нанесення «рваного» різьблення на деталі, конструкції, вироби, які працюють в умовах динамічного знакозмінного навантаження, а також при поверхневій твердості більше HRC 40.

Нарізку «рваного» різьблення слід виконувати різьбовим різцем з геометричними параметрами:

кут при вершині, град.....55-60;

радіус закруглення кута при вершині, мм.....0,2-0,3;

передній кут різання, негативний, град.....2-5.

Для забезпечення якісного нарізання «рваного» різьблення різці необхідно встановлювати з вильотом 70...100 мм, а зміщення різальної

кромки різця нижче осі деталі і крок «рваного» різьблення слід вибирати за таблицею 3.5.

Таблиця 3.5 – Рекомендовані параметри установки різця

Діаметр деталі, мм	Вертикальне зміщення різця, мм	Крок «рваного» різьблення, мм
до 10	1,5	0,5
15-20	2,5	0,5
25-50	3-4	0,8-1,0
60-100	4-5	1,5

«Рване» різьблення слід нарізати за один прохід без охолоджуючої рідини на режимах, що забезпечують отримання острівного профілю різьблення.

Нарізку «рваного» різьблення дозволяється виконувати при куті різання відносно утворюючої циліндра 60...90° для створення мікровиступів, спрямованих назустріч дії зсувних навантажень.

Нарізку «рваного» різьблення здійснюють на звичайному токарному устаткуванні.

3.4.4 Електроіскрова підготовка поверхні

При підготовці деталей, конструкцій, виробів з поверхневою твердістю більше 50HRC, якщо вони не можуть бути піддані струменево-абразивній або механічній підготовці, дозволяється активувати зону напилення електроіскровою обробкою.

Обробку необхідно здійснювати електродами з нікелю та його сплавів у разі сталеві основи та алюмінію та його сплавів при підготовці деталей, конструкцій та виробів з алюмінію.

Активацію поверхні роблять на грубих режимах для забезпечення необхідної шорсткості.

Електроіскрову обробку необхідно проводити після операції знежирення.

Підготовку поверхні деталей, конструкцій, виробів рекомендується проводити на спеціалізованому серійному обладнанні.

3.5 Нанесення підшару

Нанесення підшару є способом підготовки поверхні деталі, конструкції, виробу перед напилюванням основного шару покриття.

Напилення підшару рекомендується у разі нанесення покриттів, що мають відмінні від матеріалу деталі, конструкції, виробу коефіцієнти термічного розширення та експлуатуються в умовах змінного динамічного або теплового навантаження, а також корозійного середовища тощо.

Як матеріали для підшару необхідно застосовувати метали та сплави, що характеризуються пластичністю та високою міцністю зчеплення з основою та основним шаром покриття.

При виборі матеріалу, який використовується як підшар, необхідно враховувати граничні робочі температури експлуатації в окисному середовищі, які зазначені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Граничні температури експлуатації покриттів

Матеріал підшару (марка порошка)	Орієнтовні граничні температури експлуатації покриттів, °C
МПЧ (молибден)	315
ПХ20Н80	1200
ПН85Ю15	1300
ПН70Ю30	1500
ПТ-НА-01	1000
ПТ-105Н	1000
ПТ88Н12	500
ПТ65Ю35	1300
ПРХ18Н9	500
ПН55Т45	200

Допустимі поєднання матеріалів підшару, основи та покриття слід обирати такими, які виключають появу контактної корозії.

Підшар необхідно наносити на попередньо знежирену, активовану, шорстку поверхню деталі, конструкції, виробу.

Товщина підшару, що наноситься, зазвичай не повинна перевищувати 0,05...0,15 мм.

3.6 Контроль якості підготовки

Вихідні матеріали для знежирення, активування, формування шорсткості, нанесення підшару повинні відповідати вимогам стандартів та технічних умов.

Контроль якості знежирення поверхні деталі, конструкції, виробу необхідно проводити відповідно до стандартів.

Для спрощення якості підготовленої поверхні допускається контролювати візуально шляхом порівняння зовнішнього вигляду з еталонами, виготовленими за прийнятою технологією.

Для забезпечення процесу контролю товщини підшару можуть бути використані товщинометри різного типу.

Твердість поверхні деталей, конструкцій, виробів слід визначати за Роквеллом.

Приклад

Розробити технологію підготовки поверхні деталі перед нанесенням металоїдного покриття складу Ni_3Al . Креслення деталі наведено на рисунку 3.2. Деталь встановлюється в піч, яка працює при температурі 1100°C на повітрі.

Рішення

Обираємо технологію підготовки поверхні деталі з врахуванням того, що вона буде піддаватися дії окислювача при високій температурі (1100°C на повітрі) та періодичним ударами (деталь є упором).

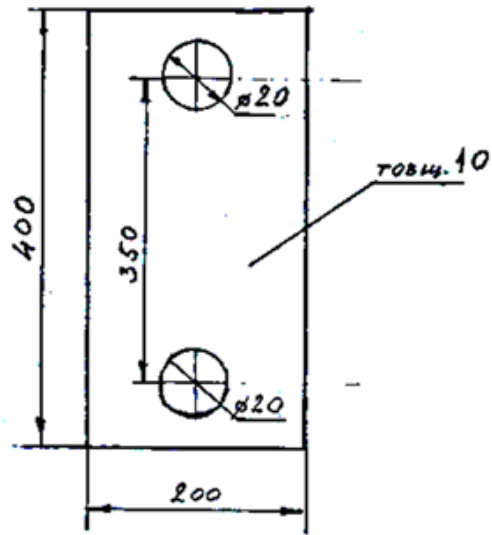


Рисунок 3.2 – Деталь (упор)

Обрана технологічна схема підготовки поверхні деталі наведена на рисунку 3.3.



Рисунок 3.3 – Технологічна схема підготовки поверхні деталі

Нижче наведений опис кожної операції.

1. Укладення в короб

Проводиться вручну в кількості до 20 штук. Вкладати деталі необхідно перехресно, щоб до всіх поверхонь був доступ знежирювального розчину.

2. Знежирення

При проведенні операції враховують, що на поверхні деталі та в отворах при свердлінні з'являються плями технологічного мастила. Для знежирення обираємо водний розчин соди кальцинованої (30г/л). Операція виконується шляхом занурення коробка з деталями за допомогою крана в знежирювальну ванну протягом до 10 хв. (до повного знежирення).

3. Промивка

Проводиться в технічній воді шляхом занурення коробка з деталями.

4. Сушка

Деталі для сушки перекладаються вручну на сушильний стіл. Сушка проводиться обдуванням повітрям при температурі 110-120°C до повного зникнення крапель води.

5. Активація поверхні

Обираємо струменево-абразивну обробку. Так як твердість Ст3 має твердість HRC < 40, то обираємо для обробки дріб сталеву фракції (0,8-1,2) мм. Діаметр сопла піскотруйного апарату 10 мм.

Режим обробки:

- тиск стиснутого повітря – 0,5 МПа;
- відстань від зрізу сопла до оброблюваної поверхні – 100 мм;
- кут падіння струменю на оброблювану поверхню, град (робочий) – 80-90°;
- лінійна швидкість переміщення пістолета, мм/хв. – 100 мм/хв.;
- кількість проходів – 2.

6. Контроль якості поверхні

Контроль якості поверхні слід виконувати згідно ДСТУ ISO 12944-4:2019. Якість поверхні повинна відповідати першому ступеню очистки.

Контрольні питання

1. Які операції включає підготовка поверхні перед напиленням?
2. Назвіть технологічні вимоги до поверхні, що підготовлюється до напилення.

3. З чим пов'язана необхідність виготовлення фасок на деталях, передбачених для напилення?
4. Які матеріали використовують для знежирення поверхні?
5. Як виконується активація поверхні перед напиленням?
6. Що враховують при виконанні струменево-абразивної обробки?
7. Що таке «рване» різблення та як його виконують?
8. При активації яких матеріалів використовується електроіскрова підготовка поверхні?

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ НАНЕСЕННЯ НАПИЛЕНОГО ПОКРИТТЯ

Для захисту робочої поверхні деталей та вузлів механізмів машин, відновлення їх робочих розмірів широко використовують різні покриття [1-4]. Їх використання дозволяє виготовляти вироби із рядового металу, а необхідні технологічні характеристики робочої поверхні надавати за рахунок властивостей покриттів. Серед усіх методів нанесення зараз найбільш розповсюджені методи газотермічного і вакуумного напилення, а також різноманітні способи наплавлення.

Для газотермічного нанесення покриттів використовують матеріали у вигляді порошків, дроту, прутків та шнурів. Відповідні класифікації матеріалів полегшують їхній правильний вибір. Наприклад, порошки для газотермічного напилення та наплавлення класифікують за методами отримання, розміром частинок, хімічним складом.

Для кожного виробу слід обирати оптимальне зі службової, технологічної та економічної точки зору покриття [7]. Так, наприклад, при виборі складу матеріалу покриття, яке забезпечить необхідні службові характеристики можливо скористатися таблицею 4.1. При виборі устаткування для напилення – знаннями, отриманими в даному курсі та спеціальною літературою, при виборі хімічного та гранулометричного складу порошку – таблицями 4.2 – 4.4

Таблиця 4.1 - Области застосування порошків для газотермічного
напилення та наплавлення

Призначення порошку	Індекс групи, підгрупи
Для створення зносостійких покриттів, які піддаються абразивному зносу	1.1; 1.2; 1.3; 1.5; 2.6; 2.9; 7.3; 7.5; 7.6; 7.7; 7.8; 8.1; 8.2; 8.3; 8.4; 8.5; 8.6; 8.7; 8.8; 8.9
газо- і гідроабразивному зносу механічному втомному зносу	1.2; 1.5; 3.7; 4.2; 6.1; 7.3; 7.4; 7.5; 7.6; 7.7; 7.8; 8.1; 8.2; 8.3; 8.4; 8.5; 8.6; 8.7; 8.8; 8.9
зносу в парах ковзання	1.1; 1.2; 1.3; 1.4; 1.5; 2.1; 2.2; 2.3; 2.6; 2.7; 2.8; 3.1; 3.2; 3.3; 3.4; 3.5; 3.6; 4.1; 6.1; 7.2; 7.3; 7.4; 7.5; 7.6; 7.7; 7.8; 7.11
кавітаційному зносу	1.1; 1.2; 1.4; 1.5; 2.1; 2.2; 2.4; 2.6; 2.10; 3.1; 3.4; 3.5; 4.2; 7.1; 7.9; 7.10; 7.11
зносу в умовах фретінг-корозії	1.1; 1.2; 1.4; 1.5; 2.4; 3.1; 3.2; 3.3; 3.4; 3.5
Для створення покриттів, що захищають від руйнувань за високих температур:	1.2; 1.4; 1.5; 3.1; 3.3; 7.3; 7.4; 7.5; 7.6; 7.8; 7.9; 7.10; 7.11
в розплавах металів и шлаків	5.1; 6.1; 6.2
в окисних та інших агресивних середовищах	1.1; 1.2; 1.4; 1.5; 2.4; 2.5; 3.6; 3.7; 4.1; 4.2; 4.3; 4.4; 5.1; 5.3; 5.4; 6.1; 6.2; 7.2; 7.3; 7.4; 7.5; 7.6; 7.8; 7.9; 7.10; 7.11; 8.1; 8.2; 8.3; 8.4; 8.5; 8.6; 8.7; 8.8
Для створення антикорозійних покриттів	1.1; 1.2; 1.3; 1.4; 1.5; 3.1; 3.2; 3.3; 3.4; 3.5; 5.1; 5.2; 5.3; 5.4; 6.1; 7.2; 7.3; 7.4; 7.5; 7.6; 7.8; 7.9; 7.10; 7.11; 8; 9
Для створення покриттів, що мають спеціальні властивості: теплоізоляційні, електропровідні, діелектричні; екрануючі, з магнітними властивостями	3.1; 6; 9
Для створення підшару	4.1; 4.2; 7.9; 7.10; 9

Примітка: Для напилення переважно використовувати порошки з 1 по 9-й клас за розмірами частинок, для наплавлення – з 8-го по 18-й (див. табл. 4.3)

Таблиця 4.2 – Класифікація порошків за методом отримання

Тип порошку	Умовне позначення типу
Розпорошений	ПР
Відновлений	ПВ
Карбонільний	ПК
Автоклавний	ПА
Електролітичний	ПЕ
Механічно подрібнений	ПМ
Плакований	ПП
Конгломерований	ПГ
Аморфний	ПФ
Обложений	ПО
Порошкова суміш	ПС

Примітка: Літера П означає «порошок», наступна за нею літера – перша літера методу одержання.

Таблиця 4.3 – Класифікація порошків за розміром частинок

Позначення класу	Розмір частинок (фракція), мкм	Позначення класу	Розмір частинок (фракція), мкм
1	5-20	10	100-140
2	5-45	11	100-280
3	20-45	12	100-400
4	менше 45	13	100-630
5	20-63	14	160-280
6	менше 63	15	280-400
7	40-100	16	менше 400
8	менше 123	17	менше 630
9	90-160	18	менше 800

В умовному позначенні порошку спочатку вказують тип порошку, потім через тире марку (або підгрупу) за хімічним складом та позначення класу або мінімальний та максимальний розміри частинок (у мікрометрах), розділені дробом.

У позначенні марок порошків за хімічним складом включають літерні позначення елементів (компонентів) та номінальний вміст одного-трьох легуючих елементів у відсотках, вказаний після відповідної літери.

Позначення і вміст вуглецю, а також вміст основного елемента (компонента) не вказується.

Цифри, що позначають вміст компонентів в порошкових сумішах, вказують перед позначенням компонентів, відокремлюючи інтервалом від позначення.

Приклади умовних означень порошків:

Порошок розпилений нікельхромового сплаву, що самофлюсується, розміром частинок 40-100 мкм:

ПР-НХ16СР2-7 або ПР-НХ16СР2-40/100

Порошок розпилений хромонікелевої сталі, розмір частинок 40-100 мкм:

ПР-Х18Н9 чи ПР-Х18Н9-40/100.

Розпилений порошок хроммарганцевого чавуну, розмір частинок менше 400 мкм:

ПР-ЧХГС-16 або ПР-ЧХГС-0/400.

Порошок розпилений бронзовий, розмір частинок 20-63 мкм:

ПР-БрЮЖ4НГ-5 або ПР-БрЮ8Ж4НГ-20/63.

4.1 Розробка технологічної схеми нанесення напиленого покриття [7] виконується у наступній послідовності:

1. Отримати у викладача завдання (деталь, умови її роботи, можливий набір обладнання для нанесення покриттів).
2. Вибрати та обґрунтувати вибір матеріалу для нанесення покриттів.
3. Вибрати та обґрунтувати вибір методу нанесення покриттів.
4. Розробити можливу технологічну схему нанесення покриттів.

Приклад

Розробити технологічну схему нанесення покриття на ролик конвеєру. Функція ролику – підтримання конвеєрної стрічки для переміщення керамічних виробів.

Геометричні розміри ролика згідно рисунку 4.1. Матеріал ролика-Ст45.

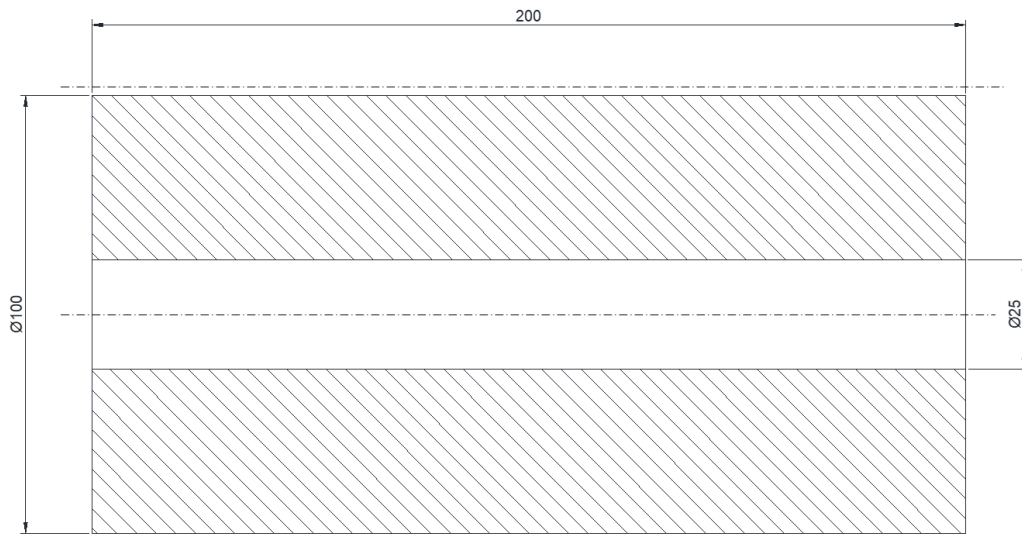


Рисунок 4.1 – Ролик конвеєра

Рішення

4.1.1 Аналіз деталі та умов її роботи

Ролик виконаний зі сталі. Тому на нього можливо нанести практично будь-який матеріал покриття. Так як ролик працює в конвеєрі, який переміщує керамічні вироби, то на його поверхню буде попадати абразивний керамічний пил. Тому необхідно обрати зносостійкий матеріал. Ролик має нежорсткі допуски за розмірами. Тому можливо застосувати напилення без додаткової механічної обробки.

4.1.2 Вибір матеріалу для покриття

Згідно таблиці 4.1 обираємо матеріал з індексом групи 1.3, який відноситься до самофлюсуючихся залізохромових сплавів (підгрупа ЖХСР). Використовуємо порошок розпилений (ПР) (таблиця 4.2), класу 7 (-125 мкм) (таблиця 4.3). Позначення обраного порошку ПР-ЖХ16СР-7 або ПР-ЖХ16СР-40/100.

4.1.3 Вибір методу та устаткування для нанесення покриття. Так як ролик працює в конвеєрі для переміщення керамічних виробів, то на нього можуть діяти ударні навантаження. Тому адгезія покриття до основи повинна бути достатньою для протидії ударом. У зв'язку з тим обираємо установку плазмового напилення PLAZER 50-PL, технічні характеристики якої наведені в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Технічні характеристики установки PLAZER 50-PL

Параметр	Значення
Плазмоутворюючий газ	Повітря +5% пропану
Температура плазми, К	3500-6000
Швидкість частинок, що напилюються, м/с	250-500
Продуктивність напилення (кг/год.)	
- металеві порошки	до 15
- керамічні порошки	до 8
Коефіцієнт використання матеріалу, що напилюється	до 0,7
Електрична потужність, кВт	20-45

4.1.4 Розробка технологічної схеми

Обрана технологічна схема наведена на рисунку 4.2.

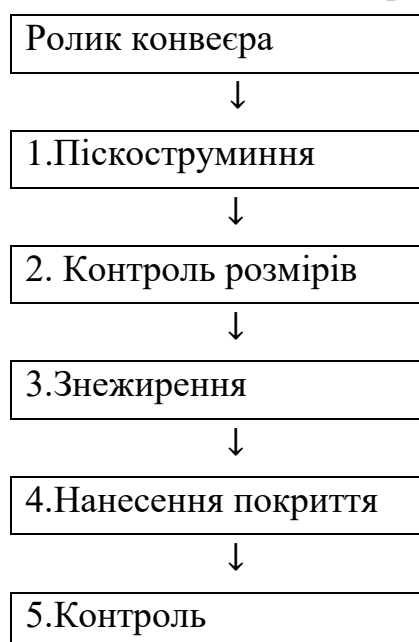


Рисунок 4.2 – Технологічна схема

Нижче наведений опис технологічних операцій:

1. Піскоструминня

Проводиться на установці АА-100 з використанням карбиду кремнію марок 54С, 55С. Проводиться до отримання матової поверхні. Контроль виконується візуально.

2. Контроль розмірів

Після піскоструминня зовнішній діаметр ролика повинен бути допустимих розмірів ($\varnothing 60 \pm 0,3$)мм. Вимірюється за допомогою штангенциркуля.

3. Знежирення

Виконується вручну з використанням бензину марки АИ-92 шляхом протирання поверхні ролика ганчіркою.

4. Нанесення покриття

В бункер установки PLAZER 50-PL завантажують порошок марки ПР-ЖХ16СР-7.

Ролик встановлюють на установку для нанесення покриттів в спеціальний тримач. Включають установку PLAZER 50-PL та проводять напилення протягом 1,0-1,5 хвилин з дистанцією 20см.

5. Контроль

Контроль якості покриття проводиться за двома параметрами:

а) товщина покриття. Контролюється на сталевих зразках-свідках розміром 50×50×2мм, на які напилене покриття за технологією напилення роликів.

В разі недостатньої товщини можливе повторне нанесення покриття на вироби;

б) адгезійна міцність. Контролюється методом решітчастого надрізу.

Контрольні питання

1. Технологічні особливості плазмового напилення покриттів.
2. Технологічні особливості газополум'яного нанесення покриттів.
3. Технологічні особливості електродугової металізації.
4. Технологічні особливості детонаційно-газового напилення.
5. Технологічні особливості термовакуумного напилення.
6. Технологічні особливості методів вибухового випаровування-розпилення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Рожков О.Д. Технологія нанесення покриттів: Навч. посібник, ч.1 – Дніпропетровськ: НМетАУ. 2008. – 51с.
2. Рожков О.Д. Технологія нанесення покриттів: Навч. посібник, ч.ІІ – Дніпропетровськ: НМетАУ. 2008. – 38с.
3. Дубовий О.М., Степанчук А.М. Технологія напилення покриттів. – Миколаїв: НУК. 2007. – 236с.
4. Дубовий, О. М., Карпенко, А. А., Бобров, М. М. Технологія газотермічного і вакуумно-конденсаційного нанесення покриттів: Підручник. - Миколаїв: Торубара ВВ. 2018. – 202 с.
5. Білик, І. І. Технологія нанесення покриттів та їх властивості: навчальний посібник [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня магістр за освітньо-професійною програмою «Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів» спеціальності 132 Матеріалознавство / І. І. Білик, С. О. Руденький ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 120 с.
6. ДСТУ ISO 12944-4:2019. Фарби та лаки. Захист сталевих конструкцій від корозії за допомогою лакофарбових систем. Частина 4. Типи поверхонь і ступені підготовки поверхонь сталевих підкладок перед нанесенням фарб і лакових покриттів (ISO 12944-4:2017, IDT). – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019. – 18 с
7. Нанесення покриття: Навч. посібник / В.М. Корж, В.Д. Кузнєцов, Ю.С. Борисов, К.А. Ющенко; за ред. К.А. Ющенка. – Київ : Арістей, 2005. – 204 с.

Навчально-методичне видання

Ковзік Анатолій Миколайович,
Аюпова Тетяна Анатоліївна,
Носко Ольга Анатоліївна,
Голуб Ірина Валеріївна,
Біла Олена Вікторівна,
Кушнір Юлія Олександрівна

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ НАНЕСЕННЯ ТА ВЛАСТИВОСТІ ПОКРИТТІВ

Навчально-методичні рекомендації до практичних робіт
для студентів спеціальності 132 – матеріалознавство ОПП
«Матеріалознавство»
(магістерський рівень)

Електронне видання

Зареєстровано НМВ УДУНТ (№ 81 від 30.10.2025)

В авторській редакції
Комп'ютерна верстка Кушнір Ю. О.

Формат 60x84 1/16. Ум. друк арк. 2,09. Облік.-вид. арк. 2,11.
Зам № 124.

Видавець: Українській державний університет науки і технологій
вул. Лазаряна, 2, ауд. 2216, м. Дніпро, 49010
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 7709 від 14.12.2022

Адреса видавця та дільниці оперативної поліграфії:
вул. Лазаряна, 2, Дніпро, 49010