

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни «Інженерія поверхні» (частина 4) для
студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка»
освітня програма «Відновлення та підвищення зносостійкості
деталей та конструкцій» усіх форм навчання

2018

Конспект лекцій з дисципліни «Інженерія поверхні» (Частина 4)
для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітня
програма «Відновлення та підвищення зносостійкості деталей та
конструкцій» усіх форм навчання / Укл.: С.П. Бережний. - Запоріжжя:
ЗНТУ, 2018 – 28 с.

Укладач: С.П. Бережний, канд. техн. наук, доцент
Рецензент: Ю.М. Савонов, канд. техн. наук, доцент
Редактор: І.П. Аверченко
Відповідальний за випуск: О.Є. Капустян

Затверджено
на засіданні кафедри ОТЗВ
Протокол № 3 від 27.10.2018

Рекомендовано до видання
НМК ІФФ

Протокол № 3 від 14.11.2018

ЗМІСТ

ТЕМА 8. ТЕХНОЛОГІЇ ДИФУЗІЙНОГО НАСИЧЕННЯ.....	238
8.1 Технологічні параметри методів хіміко-термічної обробки	238
8.2 Структура і властивості покриття.....	246
ТЕМА 9 ОСНОВНІ НАПРЯМКИ УДОСКОНАЛЕННЯ	
ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ	249
9.1 Методологія вибору раціонального варіанта	
технологічного рішення.	249
9.2 Методи діагностики та контролю функціональних	
властивостей поверхонь.	251
ТЕМА 10 МЕТОДОЛОГІЯ ПРОЕКТУВАННЯ	
ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ІНЖЕНЕРІЇ ПОВЕРХНІ	252
10.1 Задачі та основні етапи створення керованих	
автоматизованих технологічних процесів.....	252
10.2 Засоби автоматичного проектування в інженерії	
поверхні.....	253
10.3 Технології інженерії поверхні інноваційного характеру.	
.....	255
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	261

ТЕМА 8. ТЕХНОЛОГІЇ ДИФУЗІЙНОГО НАСИЧЕННЯ

8.1 Технологічні параметри методів хіміко-термічної обробки

Механізм дифузії є основою утворення дифузійних покриттів. Його схему можна розглянути на прикладі утворення покриттів із парогазової фази (рис. 8.1).

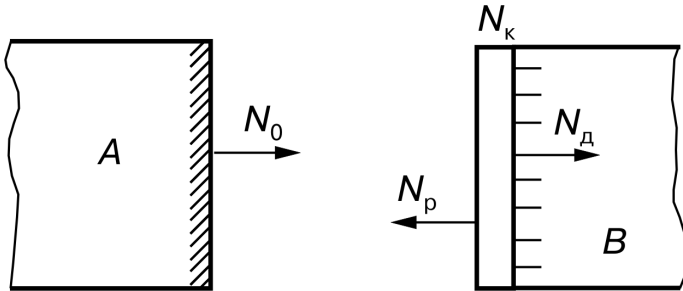


Рисунок 8.1 - Схема утворення покриттів із парогазової фази

Із загальної кількості частинок N_0 речовини A , які досягають поверхні тіла B за одиницю часу, одна частина N_p реєвипаровується (відбивається), друга N_k — конденсується і залишається в чистому вигляді на поверхні, третя N_d — поглинається тілом B . Поглинання відбувається внаслідок як дифузії A в B , так і зворотної дифузії — B в A . Швидкість зворотного процесу іноді може на два—три порядки перевищувати швидкість прямого процесу. Результуючу всіх процесів можна записати у вигляді рівняння:

$$N_0 - N_p = N_k + N_d. \quad (8.1)$$

Від швидкості кожного з цих потоків залежать товщина і характер покриття, яке утворюється (нашароване, дифузійне, комбіноване).

Якщо речовина A конденсується (осаджується) на холодній поверхні тіла B , і дифузія практично відсутня ($N_d = 0$), то утворюється нашароване покриття з чітко вираженою межею поділу з основою (рис. 8.2, а).

Якщо поверхня тіла B достатньо нагріта та активна і

дифузійний потік дорівнює потоку речовини ($N_0 - N_p = N_d$), яка конденсується, або випереджує його, то утворюється типове дифузійне покриття (рис. 8.2, б). При цьому на поверхні тіла B створюється рівноважна концентрація речовини A , яка поглинається, що залежить від природи основи, природи і концентрації парогазового середовища, температури процесу, зовнішнього тиску та інших факторів.

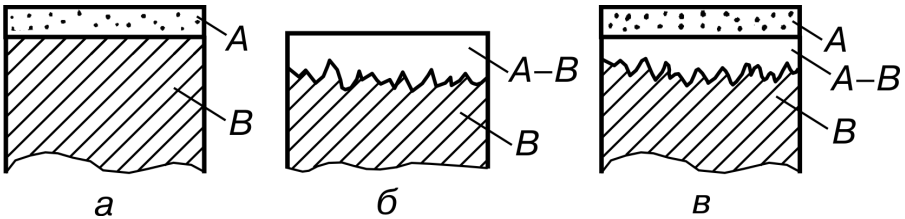


Рисунок 8.2 - Схема утворення нашарованого (а), дифузійного (б) і комбінованого (в) покриттів

Якщо поверхня тіла B недостатньо нагріта і дифузійний потік відстає від потоку речовини, яка конденсується ($N_0 - N_p > N_d$), то утворюється покриття комбінованого типу (рис. 8.2, в), де верхній шар складається з чистої речовини A , а нижній — із різного поєднання речовин A і B .

Таким чином, для отримання дифузійних покриттів необхідно, щоб основа добре розчиняла матеріал покриття, який наноситься, і температура основи була достатньою для інтенсивного проходження дифузійних процесів.

Основними стадіями формування покриттів є:

- 1) очищення поверхні від оксидних плівок (їх розчинення, відновлення);
- 2) отримання елемента покриття в атомарному стані (з пари, газової, рідкої чи твердої фаз);
- 3) перенесення елемента покриття в будь-якому транспортувальному середовищі (газ, пара, рідкий розчин);
- 4) адсорбція на поверхню й утворення зародків кристалічної структури зовнішнього шару покриття (твердий розчин або сполука);
- 5) зміна складу і структури в прилеглому об'ємі основного металу, а також ріст шарів покриття (формування одно- або багатокомпонентних покриттів у перехідній зоні).

Очищення поверхонь можливе шляхом відновлювальних

реакцій при взаємодії з активаторами, які вводяться в насичувальне середовище (наприклад, галогеніди, водень), чи безпосередньо із середовищем (розчини солей); розчинення плівки кисню в металі (дисоціація плівки внаслідок дифузії кисню в основу); сублімації в насичувальне середовище.

При насиченні з твердої фази виріб безпосередньо контактує з дифундуючим елементом (так званим дифузантом), який знаходиться в твердій фазі. У цьому випадку використовують подрібнені чисті метали чи феросплави у вигляді порошку. Надходження дифузantu в поверхневі шари здійснюється лише через площину фактичного контакту металів у твердій фазі. При цьому необхідне встановлення загального металевого зв'язку між металом виробу і металом покриття. Дискретність такого контакту приводить до поверхневої дифузії, яка надалі переходить в об'ємну дифузію внаслідок поповнення елементів із точок безпосереднього контакту. За цією схемою отримують дифузійні покриття на залізі і хромонікелевих сталях та сплавах при насиченні вольфрамом, молібденом, ніобієм, танталом. Такий метод застосовується у випадках, коли пружність парів елементів значно нижча за пружність пари основи.

При насиченні з рідкої фази дифузant може потрапляти з розплавів легкоплавких металів (Al, Cu, Zn, Cd, Pb, Sn та ін.) або з розчинів солей. Прикладом першого варіанта є гаряче цинкування й алітування в розплавах цих металів. При гарячому цинкуванні в розплавленому металевому цинку при температурі 430—460 °C протягом кількох хвилин забезпечується товщина дифузійного шару 0,02—0,03 мм.

Насиченням із розчинів солей отримують покриття хрому, бору, алюмінію. Необхідний елемент вводиться в склад сольової ванни у вигляді металу або солі металу, який насичується. Процес відбувається при ізотермічному витримуванні у ванні з електролізом або без нього.

У загальному випадку при насиченні з розчинів солей в атомарний стан дифузantu переходить внаслідок хімічних обмінних реакцій на зовнішній міжфазній межі середовище—виріб. При насиченні з газової фази атомарний стан дифузantu може бути результатом реакцій відновлення чи термічного розкладання і його особливості подібні до газофазного осадження. Стадія перенесення в транспортній фазі не обмежує процес і здійснюється внаслідок

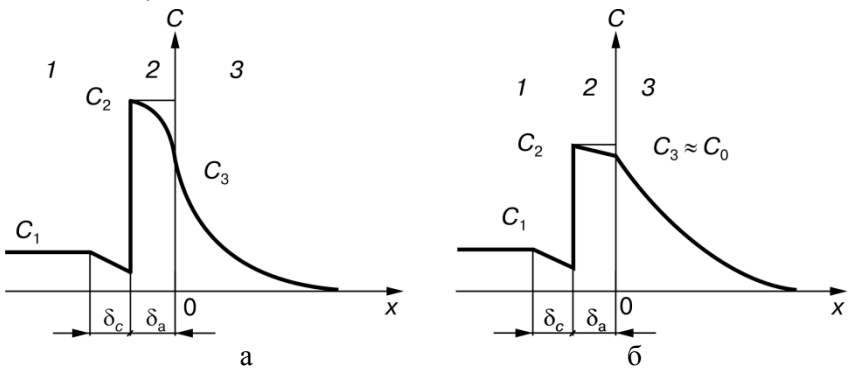
конвекції.

На межі шар—метал за умов досягнення квазірівноважного стану можливе виникнення двох основних ситуацій:

1) насичене середовище внаслідок перебігу процесів і реакцій відновлення генерує елемент покриття (дифузанти) в атомарному стані; розподіл його концентрацій у фазах і на межі поділу фаз наведено на рис. 8.3, а;

2) якщо утворення дифузанти в атомарному стані відбувається внаслідок обмінних реакцій компонентів газової фази, які містять у собі дифузанти з насиченим металом, то рівноважна концентрація дифузанти в адсорбованому шарі C_p не може бути більшою за C_s , оскільки після досягнення в поверхневому шарі концентрації C_s встановлюється стаціонарний процес, який підтримує рівність хімічних потенціалів дифузанти між фазами; розподіл його концентрацій у фазах і на межі поділу фаз подано на рис. 8.3 б.

Процес утворення сполуки з твердого розчину можна поділити на два періоди: інкубаційний і кінетичний. В інкубаційному періоді в окремих місцях поверхні накопичуються більш рухливі елементи покриття й основи, що приводить до формування центрів виділення сполук.



1 — насичене середовище; 2 — адсорбований шар; 3 — насичений метал; C_1 , C_2 , C_3 — концентрації дифузанти в насиченій фазі, в адсорбованому шарі і на поверхні поділу; δ_c і δ_a — товщини концентраційного примежового і адсорбованого шарів.

Рисунок 8.3 - Схема розподілу концентрації дифузанти, що генерується середовищем в атомарному стані (а) і утворюється внаслідок обмінної реакції з основою (б)

Якщо елементи насичення і конструкційний метал утворюють

кілька сполук, то в окремих ділянках виділяються сполуки різного складу. При певній їх концентрації ґратки твердих розчинів перебудовуються в ґратки цих сполук. При цьому вже в кінетичний період межа сполука—твердий розчин пересувається шляхом утворення на окремих ділянках пересиченого твердого розчину, тобто вона пересувається усереднено. Після утворення щільного шару сполуки відбувається масоперенесення до основного металу крізь шар сполуки.

У випадку обмеженої розчинності системи елемент покриття—основа досягнення концентрації насичення призводить до перебудови кристалічної ґратки твердого розчину.

У практиці дифузійного насичення розраховують ефективний коефіцієнт дифузії, як правило, для багатокомпонентного сплаву. При цьому використовують феноменологічне рівняння Фіка. Згідно з першим законом Фіка, потік елемента в часі крізь одиницю площі поверхні можна подати так:

$$\frac{dm}{dt} = -D \frac{\partial C}{\partial x}, \quad (8.2)$$

де dm/dt — кількість елемента dm , що продифундував за час dt через одиницю площі; D — коефіцієнт дифузії; $\partial C/\partial x$ — градієнт концентрації в напрямку дифузії; x — координата в напрямку потоку.

Зміна концентрації в часі в певній точці по глибині дифузійного шару описується за другим законом Фіка:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial C}{\partial x} \right), \quad (8.3)$$

де $\partial C/\partial t$ — швидкість зміни концентрації в часі на певній площі дифузійної зони, перпендикулярної до потоку.

Коефіцієнт дифузії залежить від багатьох факторів: температури, концентрації, кристалічної структури, розмірів атомів дифузанта та ін. Наприклад, можна прийняти, що температурна залежність коефіцієнта дифузії описується законом Арреніуса для термічно активованих процесів:

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{U}{RT}\right), \quad (8.4)$$

де D_0 — передекспоненціальний множник;

U — енергія активації дифузії.

Для самодифузії енергія активації :

$$U \approx 34 T_{\text{пл}}, \quad (8.5)$$

де $T_{\text{пл}}$ — температура плавлення дифузанту. Для такого окремого випадку вираз другого закону Фіка спрощується і має такий вигляд:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}. \quad (8.6)$$

При розв'язуванні цього рівняння відносно концентрації з погляду кінетики дифузії виокремлюють стаціонарний і нестационарний потоки (рис. 8.4).

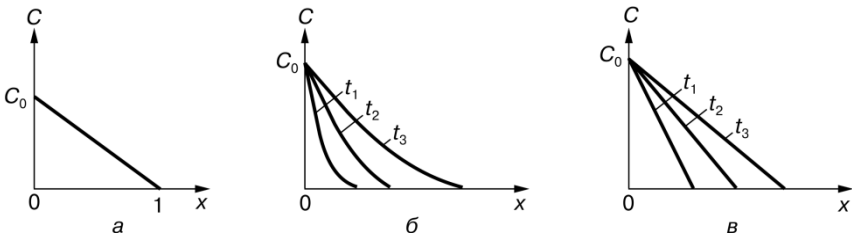


Рисунок 8.4 - Розподіл концентрації елемента насичення в покритті

На рис. 8.4 зазначено: a — стаціонарний потік, $б, в$ — нестационарний потік. t_1, t_2, t_3 — час насичення ($t_1 < t_2 < t_3$)

Для стаціонарного потоку концентрація елемента є функцію:

$$C = C_0 - \frac{C_0}{l} X = C_0 \left(1 - \frac{X}{l}\right), \quad (8.7)$$

де l — відстань, на яку дифундує елемент; C_0 — початкова концентрація елемента. Ця залежність свідчить, що для стаціонарного потоку розподіл концентрації елемента насичення в покритті є лінійною функцією (рис. 9.16, а).

Для нестационарного потоку маємо:

$$C(x, t) = C_0 \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right) \right], \quad (8.8)$$

де $\operatorname{erf}(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-z^2} dz$ — інтеграл імовірностей. Якщо його розкласти в ряд і обмежитись першим членом, то отримаємо більш зручний для практичного використання вираз:

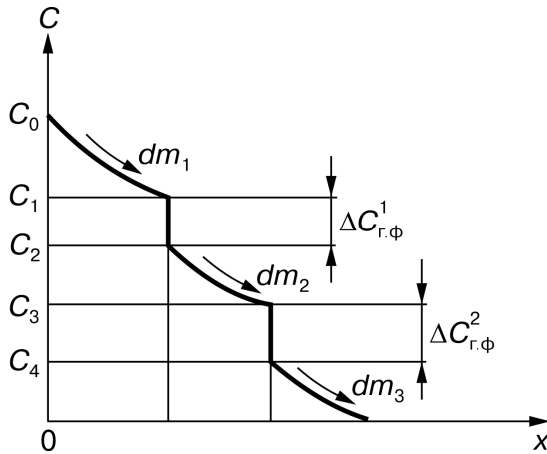
$$C(x, t) = C_0 \left(1 - \frac{x}{\sqrt{\pi Dt}} \right). \quad (8.9)$$

Тоді час, необхідний для отримання покриття заданої товщини при сталому коефіцієнті дифузії, можна визначити так:

$$t \approx \frac{x^2}{4D}. \quad (8.10)$$

Звідси випливає, що $t = x^2 / 4D$ може бути використано для оцінювального розрахунку часу насичення на певну глибину.

Якщо при насиченні утворюється кілька шарів, то на межі між ними відбувається стрибок концентрації елемента насичення (рис. 8.5). Таку дифузію називають *реактивною* (реакційною). Для її оцінки необхідно знати коефіцієнти дифузій у фазах і швидкості їх зростання.



$\Delta C^i_{г.ф}$ — різниця граничних концентрацій між сусідніми фазами

Рисунок 8.5 - Розподіл концентрації елемента насичення при реактивній дифузії

Значення коефіцієнтів дифузії всередині кожної фази може бути знайдено з використанням рівняння Арреніуса і спрощеного розв'язування рівняння Фіка. Наприклад, для твердого розчину, товщина якого описується рівнянням:

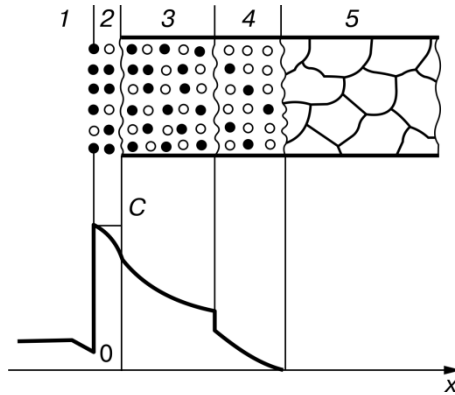
$$\delta^2 = 4D t, \quad (8.11)$$

підставимо $D = D_0 \exp\left(-\frac{U}{RT}\right)$ й отримуємо:

$$\delta^2 = 4D_0 \exp\left(-\frac{U}{RT}\right) t. \quad (8.12)$$

8.2 Структура і властивості покриття.

Під час дифузійного насичення при отриманні покриттів важливо знати характер утворення і росту шарів, а також кінетичні параметри, які характеризують зміну концентрації елемента насичення за глибиною покриття в часі. Схема формування двокомпонентного покриття з фазовим переходом наведена на рис. 8.6.



1 - насичене середовище; 2 — адсорбований шар;
3 — з'єднання; 4 — твердий розчин; 5 — основний метал

Рисунок 8.6 - Схема формування двокомпонентного покриття з фазовим переходом:

Можливість створення дифузійних покриттів визначається насамперед різницею діаметрів атомів металу основи. Наприклад, при дифузії в залізо елементів з великим діаметром атомів така різниця не повинна перевищувати 15—16 %, інакше напруження, які виникають у кристалічній ґратці заліза, будуть перевищувати границю її пружної стійкості. Ґратка стає нестійкою і виключає можливість дифузійного проникнення таких великих атомів у ґратку заліза. Крім цього, елемент, який наноситься, має розчинятися в металі основи при кімнатній і підвищеній температурах.

Для підвищення зносостійкості використовують способи насичення поділяють на дві групи: насичення хімічними елементами (одно-, двокомпонентні і багатокомпонентні покриття); насичення хімічними сполуками (карбідами, нітридами, оксидами) (рис. 8.7).

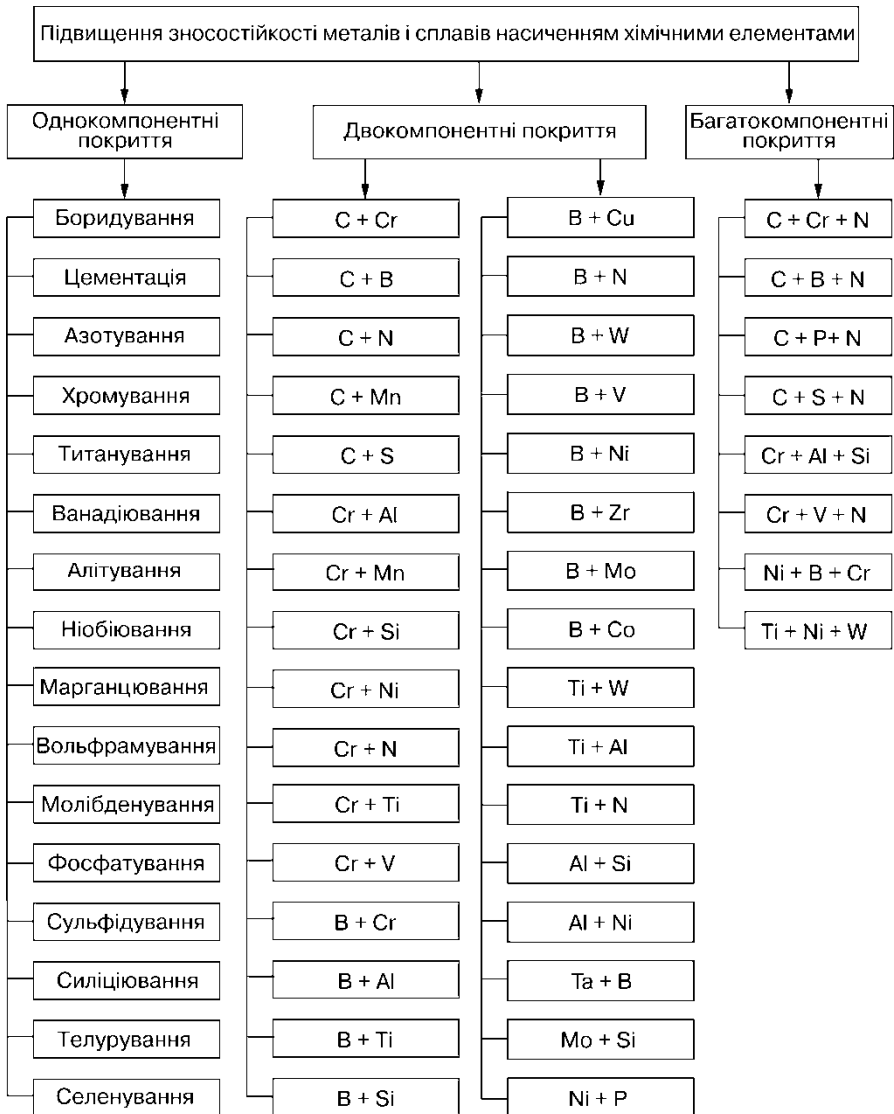


Рисунок 8.7 - Схема видів покриттів чорних металів і сплавів насиченням хімічними елементами

Розглянемо поширене насичення поверхонь бором.

Бор належить до елементів з невеликим атомним радіусом

(0,091 нм). Він вільно дифундує в залізо (атомний радіус α -Fe 0,24 нм) і подібно до вуглецю та азоту може створювати твердий розчин вкорінення. Розчинність бору в α -Fe і γ -Fe невисока і становить відповідно від 0,004 % при температурі 710 °C до 0,008 % при температурі 906 °C і від 0,008 % при температурі 906 °C до 0,021 % при температурі 1149 °C.

Зміцнення при боридуванні металів і сплавів відбувається внаслідок утворення на оброблюваній поверхні металоподібних сполук — боридів. Ці сполуки називають металоподібними, тому що, крім нехарактерних для металів властивостей (дуже висока твердість і незначна здатність до пластичних деформацій), бориди мають властивості, характерні для металевого стану речовини, — високі електро- і теплопровідність, термoeмісію, металевий блиск. Насичення бором значно підвищує поверхневу твердість, жаростійкість і корозійну стійкість виробу.

ТЕМА 9 ОСНОВНІ НАПРЯМКИ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

9.1 Методологія вибору раціонального варіанта технологічного рішення.

Технологічний процес нанесення покриття - частина виробничого процесу, яка містить дії по послідовній зміні геометричних розмірів і фізико- механічних властивостей деталей або заготовок, а також їх контроль.

Виробничий процес містить:

- виготовлення і обробку заготовок для отримання із них деталей, на які будуть наноситись покриття (здійснюватись процес зміцнення);

- збирання деталей вузлів і виробів, які мають покриття, або зміцнені поверхні, та їх випробування;

- технічний контроль, зберігання і переміщення деталей і виробів із покриттями на всіх стадіях виготовлення;

- організацію постачання і обслуговування робочих місць і ділянок, які задіяні у виготовленні деталей і виробів з покриттям;

- керування всіма ланками виробництва деталей і виробів з покриттям;

- роботи по технічній підготовці виробництва, виготовлення деталей і виробів з покриттям.

Детальний опис технологічного процесу нанесення покриття здійснюється при розробці *операційного технологічного процесу*. Операційний технологічний процес викладається у спеціальному технологічному документі - *операційній карті*.

В основу вибору методу нанесення покриття повинні бути покладені характерні фактори технологічного процесу виробництва виробів із покриттям. Найбільш важливі з них:

Конструктивні особливості виробів: габаритні розміри і маса виробу, наявність важкодоступних міст, тонкостінних ділянок конструкції

Умови експлуатації: визначають тип та товщину покриття, наявність градієнтів температур при експлуатації, вимоги до

властивостей покриття та його товщини. Величина залишкових напружень збільшується із збільшенням товщини покриття і, відповідно, зменшується міцність зчеплення покриття з основою. Виникає загроза повного або часткового відшарування покриття, виникнення тріщин. Таким чином, загальною тенденцією є намагання застосовувати покриття мінімальної товщини.

Вимоги до матеріалу покриття, сумісність матеріалів виробу і покриття. Матеріал покриття повинен адгезійно взаємодіяти із матеріалом виробу, коефіцієнти термічного розширення покриття і основного матеріалу виробу повинні мати близькі значення.

Фізико-хімічні властивості матеріалу виробу.

Параметри ефективності процесу нанесення покриття визначаються методом нанесення покриття.

Вимоги до підготовки поверхні виробу визначаються методом нанесення покриття. Необхідно оцінювати технічну можливість застосування методів підготовки поверхні, характерних для методів.

Необхідність наступної обробки покриття – шліфування, розповсюдження зміцнювальна обробка, ущільнююча, обробка для зниження залишкових напружень, механічна - для надання поверхні необхідної чистоти, розмірна обробка.

Об'єми виробництва (серійні або одиничні).

Екологічна придатність процесу нанесення покриття, умови праці та техніки безпеки тощо.

Оптимальним (раціональним) варіантом вибору можна вважати метод нанесення покриття, який забезпечує потрібні експлуатаційні властивості виробів із покриттям при мінімальних економічних витратах із дотриманням екологічних норм і безпечних умов праці.

Найчастіше, як параметри оптимізації технологічного процесу використовуються показник ефективності процесу, показники якості покриття, що характеризують функціональне призначення покриття на виробі. Наприклад, пористість та міцність зчеплення з основою - для корозієстійких покриттів, твердість та міцність зчеплення з основою - для зносостійких покриттів.

9.2 Методи діагностики та контролю функціональних властивостей поверхонь.

Для визначення якості нанесеного покриття послідовно проводяться випробування і визначення наступних характеристик якості покриття: міцності зчеплення за умови відриву, міцності зчеплення за умови зсуву, міцності матеріалу покриття, пористості, мікротвердості (твердості), спеціальних характеристик.

Значення міцності зчеплення покриття з основою, яке експериментально визначається за існуючими методиками.

Відрізняють якісні і кількісні методи вимірювання міцності зчеплення: метод полірування, метод крацювання, метод навивання, нанесення подряпин, вигинання, метод розпилювання, метод тертя та удару.

Всі кількісні методи випробувань засновані на визначенні сили, необхідної для відокремлення покриття від основи: штифтовий метод, клейовий метод, випробування на зрізання

Методи вимірювання товщини із руйнуванням виробу поділяються на хімічні методи (зняття покриття розчином, метод краплі, струмини), які викликають руйнування тільки покриття, і фізичні (мікроскопічний, прямого вимірювання, магнітний, індукційний, термоелектричний) які порушують цілісність як покриття, так і самого виробу.

Відрізняють відкриту, закриту і наскрізну пористість.

Відкрита пористість покриття - це сукупність пор, які сполучаються з зовнішньою поверхнею покриття.

Наскрізна пористість покриття - це відкрита пористість, яка з'єднана з поверхнею розділу між основою та покриттям.

Закрита пористість покриття - це сукупність пор, які не сполучаються із зовнішньою поверхнею газотермічного покриття.

Найбільш простими методами визначення крізної пористості покриттів є корозійні методи. Кількість точок корозії на одиниці площі покриття може бути критерієм крізної пористості.

Пористість газотермічних і вакуумно-конденсаційних покриттів, які зазвичай не мають крізної пористості, вимірюється трьома основними методами: гідростатичного зважування, ртутної порометрії і металографії.

Зносостійкість - властивість матеріалів опиратися зношуванню при певних умовах тертя. Оцінюється величиною, зворотною до швидкості або інтенсивності зношування. Швидкість зношування виражається відношенням значення зносу до інтервалу часу, протягом якого він виник. Інтенсивність зношування - відношення значення зносу до шляху, на якому здійснювалось зношування, або до об'єму витраченої роботи.

Різні види тертя при русі поверхонь визначають значну кількість методик трибометричних випробувань.

ТЕМА 10 МЕТОДОЛОГІЯ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ІНЖЕНЕРІЇ ПОВЕРХНІ

10.1 Задачі та основні етапи створення керованих автоматизованих технологічних процесів.

Можна відзначити три основних рівня стану автоматизації виробничих процесів:

- робочого циклу (процесу напилення) шляхом створення напівавтоматів і машин-автоматів;
- технологічного процесу (виготовлення деталі з покриттям) за допомогою автоматичних ліній;
- виробничого процесу (створення автоматизованих цехів і заводів).

Під час керування процесом формування покриття необхідно забезпечити оптимальні співвідношення між вхідними і вихідними параметрами, що дозволяє отримувати деталі із заданими властивостями.

Використання ЕОМ для керування процесами

Для ефективного керування процесом інженерії поверхні необхідне використання приладів: датчиків, що вимірюють параметри процесу; різних сигналізаторів стану систем і агрегатів (блокування, реле тиску тощо); виконавчих механізмів, що реалізують керуючий вплив на процес напилення; ЕОМ для обробки інформації та прийняття рішень щодо впливу на певні виконавчі

механізми; різноманітних аналогових пристроїв, що дозволяють здійснювати роздільне регулювання і стабілізацію по кожному з керованих параметрів та ін.

10.2 Засоби автоматичного проектування в інженерії поверхні.

На даний час широко відомі два підходи до проектування технології наплавлення з використанням комп'ютерних технологій.

Перший підхід до даної проблеми було зроблено в ІЕЗ ім. Є.О. Патона, де була створена експертна система по технологіям дугового наплавлення ЕС „НАПЛАВКА”.

Експертна система — це програма ЕОМ, що використовує знання і техніку міркувань людини-експерта. Особливість експертної системи, що принципово відрізняє її від інших людино-машинних систем, полягає у наявності в її складі підсистеми пояснення.

Розширено структура „ЕС „НАПЛАВКА” представляється у вигляді таких основних модулів: інформаційно-пошукової системи по вибору матеріалів для наплавлення; підсистем ROTOR, FLAT і COMPLEX (по вибору технологій дугового наплавлення деталей типу тіл обертання, з плоскою поверхнею і складної форми).

Останні три підсистеми спроектовані, як функціонально незалежні модулі, кожний з яких разом з інформаційно-пошуковою системою самостійно вирішує задачі проектування технологій дугового наплавлення для певного набору характерних деталей в залежності від умов їх роботи, геометрії, хімічного складу і виду спрацьовування. Це дозволяє вводити в експлуатацію окремі розділи системи „НАПЛАВКА” в міру їх готовності, не очікуючи завершення робіт по створенню експертної системи в цілому.

На основі вихідних даних про конкретну деталь, матеріал для наплавлення (вид деталі, умови її роботи і видів спрацьовування, марки основного матеріалу, фізико-механічних властивостей матеріалу, що наплавляється, тощо) і інформації, яка зберігається в базі знань, експертна система рекомендує користувачу марку матеріалу для наплавлення, спосіб наплавлення, технологію і техніку наплавлення, тип і матеріал підшару (при необхідності його використання).

Можливі способи наплавлення, в середовищі яких експертна система знаходить рішення задачі по вибору технології наплавлення, визначені у відповідності з ГОСТ 19521-74 „Классификация способов сварки”.

Другий підхід до даної проблеми є розробка нової версії експертної системи - „ASWARE”. Експертна система „ASWARE” розроблена за допомогою інструментальних засобів DELPHI, які дозволяють створити WINDOWS-орієнтований інтерфейс користувача і вести бази даних в загальноприйнятих форматах dBase, Paradox та ін. Система „ASWARE” призначена для проектування технологій наплавлення деталей машин і механізмів, що працюють в різноманітних галузях промисловості

Основним структурним елементом експертної системи являється блок „ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ НАПЛАВКИ”, який виконує функції бази знань і здійснює управління базами даних системи.

В базі даних „НАПЛАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ” (БдНМ) зосереджена інформація, необхідна для вибору матеріалів для наплавлення в залежності від умов роботи і видів спрацьовування деталі.

Інформація про режими наплавлення зосереджена в базі даних „РЕЖИМЫ НАПЛАВКИ”, в якій в залежності від сполучення „тип деталі - спосіб наплавки” містяться дані про режими наплавлення для різних діапазонів характерних геометричних розмірів деталі, що наплавляється.

Останнім етапом роботи експертної системи являється формування вихідного документу, в якому відображуються результати сумісної роботи комп'ютера і користувача по вибору матеріалу для наплавлення, технології і техніки наплавлення. В експертній системі ASWARE передбачена можливість отримання твердої копії вихідного документу

10.3 Технології інженерії поверхні інноваційного характеру.

Найбільш повноцінна на сьогоднішній момент використовуються наступні терміни:

нанотехнологія - сукупність методів і прийомів, що забезпечують можливість контрольованим чином створювати і модифікувати об'єкти, що включають компоненти з розмірами менше 100 нм, принципово нові якості, що мають, і що дозволяють здійснювати їх інтеграцію в повноцінно функціонуючі системи більшого масштабу;

наноматеріали - матеріали, що містять структурні елементи, геометричні розміри яких хоч би в одному вимірі не перевищують 100 нм, і що володіють якісно новими властивостями, функціональними і експлуатаційними характеристиками;

наносистемна техніка - повністю або частково створені на основі наноматеріалів і нанотехнологій функціонально закінчені системи і пристрої, характеристики яких кардинальним чином відрізняються від показників систем і пристроїв аналогічного призначення, створених по традиційних технологіях

Наноматеріали можна розділити на чотири основні категорії.

Перша категорія включає матеріали у вигляді твердих тіл, розміри яких в одному, два або трьох просторових координатах не перевищують 100 нм. До таких матеріалів можна віднести нанорозмірні частки (нанопорошки), нанодроти і нановолокна., дуже тонкі плівки (завтовшки менше 100 нм), нанотрубки і тому подібне.. Такі матеріали можуть містити від одного структурного елементу або кристаліту (для часток порошку) до декількох їх шарів (для плівки). У зв'язку з цим першу категорію можна класифікувати як наноматеріали з малим числом структурних елементів або наноматеріали у вигляді нановиробів

Друга категорія включає матеріали у вигляді малорозмірних виробів з характеризуючим розміром в зразковому діапазоні 1 мкм. 1 мм. Звичайно це дроти, стрічки, фольги. Такі матеріали містять вже значне число структурних елементів і їх можна класифікувати як наноматеріалів з великим числом структурних елементів (кристалітів) або наноматеріали у вигляді мікрровиробів

Третя категорія є масивними (або інакше об'ємні) наноматеріалами з розмірами виробів з них в макродіапазоні (більше декількох мм). Такі матеріали складаються з дуже великого числа нанорозмірних елементів (кристалітів) і фактично є полікристалічними матеріалами з розміром зерна 1.100 нм. У свою чергу третю категорію наноматеріалів можна розділити на два класи..

У перший клас входять однофазні матеріали (у відповідність з термінологією мікроструктура однорідні матеріали), структура і хімічний склад яких змінюється за об'ємом матеріалу лише на атомному рівні. Їх структура, як правило, знаходиться в змозі далекому від рівноваги. До таких матеріалів відносяться, наприклад, стекла, гелі, пересичені тверді розчини. До другого класу можна віднести мікроструктура неоднорідні матеріали, які складаються з нанорозмірних елементів (кристалітів, блоків) з різною структурою і складом. Це багатозфазні матеріали, наприклад, на основі складних металевих сплавів.

Друга і третя категорії наноматеріалів підпадають під вужчі визначення нанокристалічних або нанофазних матеріалів.

До четвертої категорії відносяться композиційні матеріали, що містять в своєму складі компоненти з наноматеріалів. При цьому як компоненти можуть виступати наноматеріали, віднесені до першої категорії (композити з наночастками і нановолокнами, вироби із зміненням іонною імплантацією поверхневим шаром або тонкою плівкою) і другої категорії (наприклад, композити зміцнені волокнами і частками з наноструктурою, матеріали з модифікованим наноструктурним поверхневим шаром або покриттям). Можна виділити також композиційні матеріали із складним використанням наноконпонентів.

Властивості наноматеріалів в значній мірі визначаються характером розподілу, формою і хімічним складом кристалітів (нанорозмірних елементів), з яких вони складаються.

За формою кристалітів наноматеріали можна розділити на шаруватих (пластинчасті), волокнистих (стовпчасті) і рівноосних. Розуміється товщина шару, діаметр волокна і розмір зерна при цьому набувають значень порядку 100 нм і менш. Виходячи з особливостей хімічного складу кристалітів і їх кордонів зазвичай виділяють чотири групи наноматеріалів. До першої відносять такі матеріали, в яких хімічний склад кристалітів і кордонів розділу однакові. Їх називають

також однофазні. Прикладами таких матеріалів є чисті метали з нанокристалічною рівноосною структурою і шаруваті полікристалічні полімери.

До другої групи відносять матеріали, в яких склад кристалітів розрізняється, але кордони є ідентичними по своєму хімічному складу.

Третя група включає наноматеріали, в яких як кристаліти, так і кордони мають різний хімічний склад. Четверту групу представляють наноматеріали, в яких нанорозмірні виділення (частки, волокна, шари) розподілені в матриці, що має інший хімічний склад. До цієї групи відносяться зокрема дисперсно-зміцнені матеріали.

Найбільш сильні зміни властивостей наноматеріалів і наночасток настають в діапазоні розмірів кристалітів порядку 10..100нм.

Для наночасток доля атомів, що знаходяться в тонкому поверхневому шарі (його товщину приймають як правило порядку 1 нм), в порівнянні з мезо- і мікрочастками помітно зростає. Дійсно, доля приповерхневих атомів буде пропорційна відношенню площі поверхні частки S до її об'єму V . Якщо позначити характерний розмір частки (кристаліту) як D , то: $S/V \propto D^2/D^3 \propto 1/D$. В поверхневих атомів, у відмінності від тих, що знаходяться в об'ємі твердого тіла, задіяні не всі зв'язки з сусідніми атомами. Для атомів тих, що знаходяться на виступах і уступах поверхні ненасиченість зв'язків ще вища. В результаті в приповерхневому шарі виникають сильні спотворення кристалічної решітки і навіть може відбуватися зміна типа ґрат. Іншим аспектом, є той факт, що вільна поверхня є стоком безконечної ємності для точкових і лінійних кристалічних дефектів (в першу чергу вакансій і дислокацій). При малих розмірах часток цей ефект помітно зростає, що може наводити до виходу більшості структурних дефектів на поверхню і очищення матеріалу наночастки від дефектів структури і хімічних домішок. В даний час встановлено, що процеси деформації і руйнування протікають в тонкому приповерхневому шарі з випередженням в порівнянні з внутрішніми об'ємами металевого матеріалу, що багато в чому визначає виникнення ряду фізичних ефектів, в т.ч. фізичної межі текучості і фізичної межі втоми.

Для наночасток весь матеріал працюватиме як приповерхневий

шар, товщина якого оцінюється в діапазоні порядку 0,5 - 20 мкм. Можна також вказати на тонкі фізичні ефекти, що виявляються в специфічному характері взаємодії електронів з вільною поверхнею.

Наступною причиною специфіки властивостей наноматеріалів є збільшення об'ємної долі кордонів розділу із зменшенням розміру зерен або кристалітів в наноматеріалах. При цьому можна виділити об'ємну долю наступних складових: кордонів розділу, кордонів зерен і потрібних стиків.

Основні методи здобуття наноматеріалів можна розділити на ряд технологічних груп: методи на основі порошкової металургії, методи, в основі яких лежить здобуття аморфних прекурсорів, поверхневі технології (створення покриттів і модифікованих шарів з наноструктурою), методи, засновані на використанні інтенсивної пластичної деформації, і комплексні методи, що використовують послідовно або паралельні декілька різних технологій.

Методи порошкової металургії можна умовно підрозділити на дві групи - методи здобуття нанопорошків і методи компактування з них виробів. Ряд методів може залежно від їх варіантів використовуватися і для здобуття нанопорошків і для формування об'ємних виробів.

Можна виділити ряд загальних підходів, які є характерними для всіх методів здобуття нанопорошків і відрізняють їх від методів здобуття звичайних порошків: висока швидкість утворення центрів зародження часток мала швидкість росту часток найбільший розмір отримуваних часток не більше 100 нм вузький діапазон розподілу часток по розмірах стабільність здобуття часток заданого розмірного діапазону відтворюваність хімічного і фазового складу часток підвищені вимоги до контролю і управління параметрами процесу здобуття.

Технології хімічного осадження з парової фази засновані на використанні хімічних реакцій з'єднань металів, що знаходяться в газовій фазі. Розмір отримуваних часток може регулюватися температурою і швидкістю осадження. За такою технологією отримані нанопорошки кремнію, бору, оксидів титану, цирконію, алюмінію, нітрид, карбіди і карбонітриди кремнію і діборід титану з розміром часток від 20 до 600 нм .

Технологія розкладання нестабільних з'єднань розглядається як перспективний спосіб здобуття нанопорошків з розміром часток 20-

300 нм.

Найбільш відомим з групи використання відновних процесів є метод водневого відновлення з'єднань металів. З'єднання металів (гідрооксиди, хлориди, нітрати, карбонати) вступають в реакцію відновлення в струмі воднем при температурі порядку 500 К. Отримувані нанопорошки металів відрізняються низьким вмістом домішок і вузьким розподілом частини по розмірах.

Методи фізичного осадження з парової фази в даний час використовуються найширше. Це пов'язано з тим, що технології випару речовини за допомогою різних високоінтенсивних джерел енергії і подальшого осадження його з парової фази є досить відпрацьованими, легко контролюються і забезпечують високі вимоги по чистоті отриманого нанопорошку, особливо при використанні камер з контрольованою атмосферою. У останньому випадку найчастіше використовуються вакуумні камери або камери заповнені інертними газами - гелієм або аргоном, ксеноном. При випарі металів у вакуумі або інертному газі атоми металу що перейшов в газову фазу (пара) прагнуть до об'єднання в частки порядку декілька нанометрів, які потім осідають на охолоджувану підкладку. Дана група методів дозволяє отримувати складно леговані порошки, причому сплави заданого складу можна отримувати як випаром заздалегідь легованого матеріалу, так і одночасним випаром окремих компонентів. Розмір часток отримуваних порошків залежно від різновиду методу і технологічних параметрів може складати від 5 до 100 нм.

Залежно від вигляду процесу випару можна виділити наступні різновиди методів.

Термічний випар. При даному методі проводять нагрів випаровуваної речовини в тиглі.

Вибуховий випар. Даний метод заснований на виділенні дуже великої кількості енергії за малий проміжок часу. При цьому матеріал випаровується, і потім за рахунок швидкого збільшення об'єму охолоджується з конденсацією пари в частки малого розміру. У ряді випадків частина матеріалу може не встигнути випаруватися, розплавляється і вибуховим чином розділяється на рідкі краплі.

Випар в потоці інертного газу. При даному методі випар металу проводиться в потоці інертного газу, наприклад з краплі розплаву на кінці дроту, що розігрівається високочастотним

магнітним полем. Розмір часток, що виходять, залежить від швидкості потоку газу - із збільшенням швидкості він може зменшуватися з 500 до 10 нм з одночасним зменшенням розкиду часток по розмірах. Даним методом отримую, зокрема, нанопорошки Мп і Sb.

Метод розпилення розплаву заснован на тому, що швидкому розпиляло і охолодженню розплаву вихідного матеріалу. Ця технологія дозволяє отримати порошки розміром не менше 100 нм. В той же час, отримувані порошки з розміром часток 0,5-10 мкм мають нанокристалічну (а у ряді випадків і аморфну) структуру і, отже, можуть також бути віднесені до наноматеріалів, а технологія їх здобуття - до нанотехнологій. Процеси

Ударне розпилення розплаву. При цьому методі струмінь або краплі розплаву механічно розбиваються на дрібні частки при зіткненні з інтенсивно охолоджуваними металевими лопатками, що швидко обертаються. Забезпечується швидкість охолодження до 107 К/с. Як і в попередньому методі частинки порошку мають неправильну форму і для здобуття при подальшому формуванні якісних виробів з однорідною структурою необхідно додатково піддавати порошок механічному подрібненню.

Електрогідродинамічне розпилення розплаву. У цьому методі для того, що розпиляло розплаву використовуються електростатичні сили. Струмінь розплаву подається в сопло з діаметром отвору порядку 80 мкм, перед яким розташований кільцевий електрод. До нього прикладається постійна напруга 3-20 кВ. В результаті з сопла вилітають позитивно заряджені дрібні краплі розплаву, створюючи після охолодження частки порошку. Розмір часток залежно від матеріалу і технологічних параметрів може складати 100 нм - 10 мкм. Недоліком цього методу є дуже низька продуктивність (2 г/ч з одного сопла).

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Базова

1. Ющенко К.А., Борисов Ю.С. и др. Інженерія поверхні. – К.: Наук. думка, 2007. – 558 с.
2. Харламов Ю.О., Будаг'янц М.А. Фізика, хімія та механіка поверхні твердого тіла. Навчальний посібник. - Луганськ: Вид-во СУДУ, 2000. - 624 с.
3. Паяння матеріалів. Дослідження фізико-хімічних процесів та технологічних факторів паяння / В.В. Квасницький, В.Ф. Квасницький, Б.В. Бугаєнко, Г.В. Єрмолаєв; Під наук. ред. В.Ф. Квасницького. - Миколаїв: НУК, 2006. - 160 с.
4. Гуляев А.П. Металловедение. – М.: Металлургия, 1978. – 467 с.
5. Большаков В.І., Береза О.Ю., Харченко В.І. Прикладне матеріалознавство.. – Дніпропетровськ: РВА «Дніпро-VAL», 2000. – 290 с.

Допоміжна

6. Борисов Ю.С., Борисова А.Л. Плазменные порошковые покрытия. - К.: Техніка, 1986. - 223 с.
7. Кузнецов В.Д., Пашенко В.М. Фізико-хімічні основи створення покриттів: Навч. посібник. - К.: НМЦ ВО, 1999. - 176 с.
8. Кузнецов В.Д., Пашенко В.М., Ющенко К.А., Борисов Ю.С. Фізико-хімічні основи інженерії поверхні: Навч. посібник. - Київ: ВІПОЛ, 2005. - 372 с.
9. Губар, Є.Я. Практикум з матеріалознавства [Текст] : навч. Г 93 посіб. / Є.Я. Губар, І.І. Фенько. - М-во освіти і науки України, Черкас, держ. технол. ун-т. - Черкаси : ЧДТУ, 2010. - 235 с.
10. Сидоренко С.І., Пашенко В.Н., Кузнецов В.Д. Материаловедческие основы инженерии поверхности. - К.: Наук, думка, 2001. - 230 с.
11. Лахтин Ю.М., Арзамасов Б.Н. Химико-термическая обработка металлов. М.; Металлургия, 1985. - с.141-192.
12. Лахтин Ю.М., Коган Я.Д. Азотирование стали. М.: Машиностроение, 1976. - 256 с.
13. Справочник по пайке / Под ред. И.Е. Петрунина. - М.: Машиностроение, 1984.

14. Папартович А.П. Справочник по лазерной технике. Перевод с немецкого Белоусова В.Н. – М.: Энергоатомиздат. – 1991. – 544 с.