

Т.В. Чебан, О.М. Берегова, А.І. Костржицький

Особливості енергетичних ефектів при іонному осадженні захисних покриттів

*Одеська національна академія харчових технологій,
кафедра фізичної та колоїдної хімії, вул. Канатна, 112, м.Одеса*

Пояснюється метод іонного осадження з можливістю істотного зниження технологічної температури конденсації. Наведені розрахункові показники температурного режиму сталі (товщина 4 мм) при обробці поверхні в аргоні та температурного режиму осадження іонних покриттів з міді і залізохромових сплавів на сталь. Проведений аналіз енергетичних і температурних ефектів при іонному осадженні покриттів

Ключові слова: корозія, покриття, поруватість, іонне осадження.

Стаття поступила до редакції 02.05.2007; прийнята до друку 14.09.2007.

Вступ

Одним з найбільш важливих технологічних параметрів одержання конденсаційних покриттів різного функціонального призначення є температура поверхні деталей. При використанні методу іонного осадження [1, 2] з'являється реальна можливість істотного зниження технологічної температури конденсації, що забезпечує формування якісних покриттів з необхідними експлуатаційними характеристиками. Температура поверхні в процесі іонного осадження залежить від інтенсивності теплового випромінювання випарника, конструкції і матеріалу тримача підкладки [3], теплоти конденсації покриття й інтенсивності іонного бомбардування. Останній фактор має значення як на стадії очищення, так і на стадії осадження покриття. Перші три фактори визначаються, як правило, конструктивними особливостями вакуумної установки і не є узагальнюючими для оптимізації технологічних параметрів металізації. Тому регулювання температури поверхні зручніше за все проводити шляхом зміни (у визначених межах) інтенсивності іонного бомбардування.

I. Методика експерименту та обробка даних

Вплив іонного бомбардування на формування і властивості осаджених покриттів можна охарактеризувати кількісно з використанням коефіцієнта іонізації пари K_i , що являє собою відношення густин потоку іонів і атомів, які

надходять на зразок. Ступінь збільшення енергії часток, які попадають на поверхню (у порівнянні зі звичайним термовакуумним напилюванням [4, 5]) можна охарактеризувати коефіцієнтом енергетичної активації зразка ε . Величини K_i і ε можна оцінити по емпіричних формулах

$$K_i = 0,624 \frac{j \cdot \mu}{\rho \cdot V_k}, \% \quad \varepsilon \cong 7,7 \cdot 10^3 \frac{U}{T} \cdot K_i,$$

де U – прискорююча напруга на даному нам зразку, кВт; T – температура розплаву у випарнику в режимі випару, К; j – густина іонного струму, mA/cm^2 ; μ – молярна маса випаровуючого матеріалу (металу), г/моль; ρ – густина випаровуючого матеріалу, g/cm^3 ; V_k – швидкість конденсації, $\text{mkm}/\text{хв}$.

Основними параметрами визначаючими чисельні значення K_i і ε , є густина іонного потоку j , що, у свою чергу, залежить від V_k і U [2]. Проведені нами дослідження з установлення залежності $j = f(V_k, U, S)$ (S – площа зразків) з використанням методу планування експерименту і статистичної обробки даних показали наступне. По ступеню зниження впливу на густину іонного струму j фактори розташовуються в наступній послідовності – V_k , U , S . При цьому зі збільшенням V_k і U чисельні значення j зростають, а зі збільшенням S зменшуються. Дана закономірність встановлена по розрахованих величинах коефіцієнтів регресії. Обробка даних багатофакторного експерименту і наступний розрахунок K_i і ε по експериментально визначених значеннях густини іонного струму j показали наступне. При невисоких значеннях U і V_k ($U = 0,8 \dots 2,5$ кВ, $V_k = 10 \dots 14$ $\text{mkm}/\text{хв}$) величини K_i і ε знаходяться в межах $0,1 \dots 0,3$ % і $4 \dots 35$ відповідно. При $U = 6 \dots 8$ кВ і $V_k = 20 \dots 25$ $\text{mkm}/\text{хв}$ величина K_i

досягає 1,1 ... 1,3 %, а $\epsilon = 240 \dots 260$. Звідси впливає важливий у практичному відношенні висновок. Незважаючи на порівняно невисокі значення K_i , енергія, яка підводиться до поверхні в процесі іонного осадження, зростає на кілька порядків у порівнянні зі звичайним термовакуумним напилюванням [4, 5], а при високих значеннях U – вносить істотний вклад у розігрів зразку. Цей факт добре погоджується з даними інших дослідників. Так, в огляді по іонному осадженню [6] відзначено, що експериментальні дані різних авторів досить сильно розрізняються: одні оцінюють внесок іонного бомбардування в загальне нагрівання поверхні деталей в 44 ... 56 %, інші вважають, що цей внесок перевищує 90 %.

II. Обговорення результатів

Безпосередній вимір температури продукції, що металізується як у процесі попереднього очищення, так і на стадії осадження представляє значних труднощів. Використання звичайних вимірювальних схем (наприклад, звичайних термопар, замкнутах на мілівольметр [2, 4, 5]) неможливо внаслідок впливу сильних електролітичних полів розряду на вимірювальні ланцюги, а застосування оптичних методів виміру температури неможливо через досить низькі температури поверхні. У цьому зв'язку нами використаний індикаційний метод приблизної оцінки температурного розігріву зразка [2], що полягає в наступному. На тильній стороні зразка розміщалися метали-індикатори: олово ($T_{пл} \approx 500$ К), свинець ($T_{пл} \approx 600$ К) і алюміній ($T_{пл} \approx 930$ К). Крім того, використана проміжна індикаційна температурна точка – $T_4 \approx 720$ К, що відповідає початку видимого світіння сталі. Температури плавлення $T_{пл}$ металів – індикаторів і T_4 дозволили установити границі температурного діапазону, у якому знаходився зразок в процесі або очищення, або осадження покриття.

Результати досліджень приведені в табл. 1 і 2, аналіз яких дозволили зробити наступні узагальнення.

Досліди, проведені зі зразками різної товщини (у

табл. 1 і 2 в якості приклада приведені дані для сталі товщиною 4 мм), показали, що швидкість розігріву поверхні пропорційна відношенню площі поверхні оброблюваного зразка до його обсягу. Раніше було показано [2], що ефективність іонного очищення залежить як від величини, так і від часу обробки t . Тому, якщо матеріал підкладки не боїться перегріву, то для скорочення часу технологічного процесу можна працювати при високій потужності розряду.

Дані табл. 2 показують, що в процесі іонного осадження навіть у випадку одержання покриттів з високою теплою конденсації (залізохромові сплави) температура поверхні на момент закінчення процесу не перевищує 930 К, що істотно нижче, ніж в оптимальних режимах осадження при звичайному термовакуумному напилюванні [2, 5]. Так, наприклад, мінімальна температура сталевого зразку, що забезпечує формування якісного захисного покриття зі сплаву Fe-Ni-Cr, складає 1100 ... 1200 К. Це істотно вище температурних режимів табл. 2. Якщо ж з погляду структурних, адгезійних і корозійно-електрохімічних характеристик необхідно висока потужність розряду на стадії осадження, а розігрів деталі не допускається, варто застосовувати примусове охолодження зразка (приклади конструктивного рішення системи охолодження приведені в [2, 7]).

Висновки

Аналіз енергетичних і температурних ефектів при іонному осадженні покриттів показує, що в порівнянні з методом звичайного термовакуумного напилювання специфіка технології іонного осадження дозволяє істотно знизити температуру формування якісних конденсаційних структур. Конкретні числові дані про температурні границі розігріву зразка на стадіях очищення і конденсації можуть бути використані як інформаційний заділ при розробці технологічних режимів металізації тонколистової і смугової сталі.

Таблиця 1.

Температурний режим сталі (товщина 4 мм) при обробці поверхні в аргоні

Питома потужність розряду N_0 , Вт/см ²	Середня температура зразка (К) після закінчення іонного очищення сталі протягом τ (с):											
	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600	1200	
5	Менш 500											
10	Менш 500		500÷600		600÷720							
15	Менш 500		500÷600		600÷720					720÷930		

Таблиця 2.

Температурний режим осадження іонних покриттів з міді і залізохромових сплавів на сталь (товщина 4 мм)

Матеріал покриття	Мідь		Залізохромові сплави
Питома потужність розряду N_1 , Вт/см ²	0,2 ... 1,0	1,2 ... 4,2	5 ... 20
Температура підкладки, К	Менш 500		500 ... 930

- [1] О.В. Лебединский. *Исследование технологии нанесения и защитных свойств ионных покрытий из меди и железохромистых сплавов на стали.* Автореф. дисс... канд. техн. наук. М., НИФХИ им. Л.Я. Карпова, 27 с. (1980).
- [2] А.И. Костржицкий, О.В. Лебединский. *Многокомпонентные вакуумные покрытия.* М., Машиностроение, 208 с. (1987).
- [3] Л.Н. Колтунова, О.В. Лебединский, С.А. Приббе. Исследование режима работы электронно-лучевой пушки с полым катодом при ионном осаждении покрытий. – *Электронная обработка материалов*, 5, с. 82 – 85 (1978).
- [4] И.Л. Ройх, Л.Н. Колтунова. *Защитные вакуумные покрытия на стали.* М., Машиностроение, 250 с. (1971).
- [5] И.Л. Ройх, Л.Н. Колтунова, С.Н. Федоров. *Нанесение защитных покрытий в вакууме.* М., Машиностроение, 358 с. (1976).
- [6] И.Л. Ройх, Л.Н. Колтунова, О.В. Лебединский. Защитные покрытия, получаемые методом ионного осаждения в вакууме. *Защита металлов*, 13 (6), с. 649 – 661 (1977).
- [7] А.И. Костржицкий, В.Ф. Карпов, М.П. Кабанченко, О.Н. Соловьева. *Справочник оператора установок по нанесению покрытий в вакууме* / М., Машиностроение, 176 с. (1991).

T.V. Cheban, O.M. Beregova, A.I. Costrgitscky

Character of Energy Effects at the Ion Plating of Sheet

*Одеська національна академія харчових технологій,
кафедра фізичної та колоїдної хімії, вул. Канатна, 112, м.Одеса*

The method of the ionic precipitating is explained with possibility of substantial decline of technological temperature of condensation. The calculation indexes of temperature condition of steel (a thickness 4) are resulted at treatment of surface in an argon and temperature condition of precipitating of ionic coverage from a copper and ironchromical alloys on steel. The analysis of power and temperature effects is conducted at the ionic precipitating of coverage's.

Keywords: corrosion, coverage, porosity, ionic precipitating.