

УДК 669.018.4

**АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРИЙОМІВ ПІДВИЩЕННЯ  
ЖАРОСТІЙКОСТІ ПОКРИТТІВ<sup>1</sup>***А. О. Петрик**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»*

*В даній статті висвітлені найактуальніші методи отримання високоякісних покриттів для захисту турбін від сульфідно-ванадієвої корозії та лопаток турбін від газової корозії. Крім того розглянуто основні сплави, що використовують для виготовлення даних покриттів, та їх найголовніші властивості.*

*В данной статье освещены наиболее актуальные методы получения высококачественных покрытий для защиты турбин от сульфидно-ванадиевой коррозии и лопаток турбин от газовой коррозии. Кроме того, рассмотрены самые основные сплавы, используемые для изготовления данных покрытий и их самые главные свойства.*

*This article shows the actual methods of receipting high quality coatings for protecting turbines from sulphide-vanadium corrosion and turbines' shovels from gas corrosion. Besides that, the most basic alloys, which are used for making these coatings and their most important properties, are examined.*

**Вступ**

В наш час актуальною матеріалознавчою проблемою залишається створення методів для збільшення терміну служби того чи іншого механізму, запобіганню виходу його з ладу внаслідок корозії, хімічного руйнування матеріалу внаслідок високих температур, а також підвищення конструктивної міцності матеріалів. Вирішенням даних питань є створення жаростійких покриттів.

Існує кілька основних методів отримання покриттів: пряме електронно-променеве випаровування, високошвидкісне розпилення, реактивне випаровування та розпилення, іонне осаджування.

Ефективність методів полягає у досягненні оптимальних параметрів

---

<sup>1</sup> - роботу виконано під керівництвом к.т.н., доцента Кравченко М. О., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

покриттів (наприклад однорідної товщини), та їх найосновніших характеристик.

На сьогоднішній день всі ці технології знайшли застосування у виробництві, але найбільше поширення отримали два перших методи.

### **Постановка задачі дослідження**

Входячи з того, що більшість існуючих досліджень з використанням методу високошвидкісного розпилення спрямовані на встановлення закономірностей між жаростійкістю захисних покриттів і споживчими властивостями механізмів, що працюють при підвищених температурах, в даній роботі метою було з'ясування корозійної стійкості покриттів на основі Ni–Co–Cr в залежності від температури випробувань.

### **Методика проведення експериментів**

Високошвидкісне розпилення є одним з найстаріших (його застосовують вже понад 100 років), але в той же час і одним з найефективніших методів. Його сутність полягає у використанні різних генераторів пришвидшення іонів для розпилення матеріалів. Гарні властивості мають покриття, отримані методом тліючого розряду, котрий збуджують за допомогою підведення високих напруг (2-5 кВ) до двох плоских електродів, котрі в свою чергу розміщені в середовищі інертного газу (найчастіше використовують аргон), при низькому тиску (0,1-10Па). В розряді утворюються позитивно заряджені іони, котрі пришвидшуються у напрямку катода. Зустрівшись з катодом, вони його розпиляють. Але швидкість такого розпилення надзвичайно мала. Для того, щоб пришвидшити розпилення використовують магнетронні системи іонного розпилення (це дає змогу підвищити густину іонного струму на поверхні мішені).

Особливістю такої системи є схрещене використання електричного та іонного полів. Магнетронна система, зображена на рис.1, складається з катода (1), магнітів (2), анода (3), областей дрейфу електронів (4), розпиленних атомів (5) та підложки (6).

На систему подається постійна напруга, котра складає 300-800В. В цей час між катодом та анодом виникає нелінійне електричне поле, таким чином збуджується тліючий розряд. Під дією схрещених магнітного та електричного полів електрони з катода рухаються по траєкторіях, котрі називаються циклоїдальними. Таким чином утворюється область замкнутого дрейфу. Електрони ніби опиняються в пастці, і коли вони втрачають свою енергію, то змушені опинитися на аноді. Цей рух електронів стимулює підвищення концентрації позитивних іонів поблизу поверхні катода, а значить і швидкості розпилення.

Як показано на рис.1, зона інтенсивного розпилення має вигляд

замкнутого шляху. Величина даного шляху залежить від розмірів магнетронної системи.

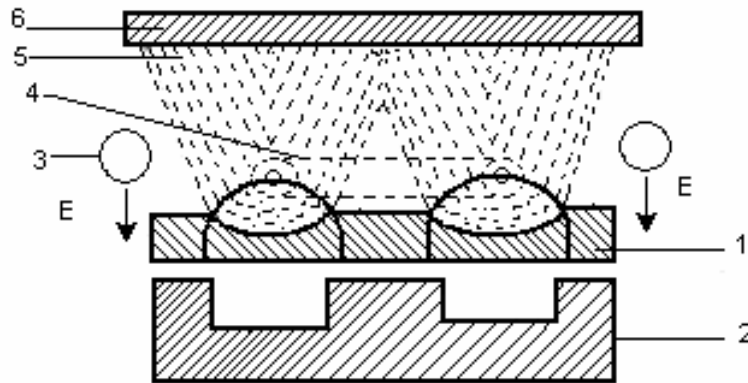


Рис.1. Схема високошвидкісного розпилення матеріалів магнетронною системою.

### Результати досліджень

Середні швидкості осадження деяких матеріалів на підкладках наведені в таблиці 1 [1]. Передбачається, що оптимальна відстань від катода становить 60мм, при розпиленні плоских катодів діаметром 150мм. Потужність розряду становить 4 кВт.

Таблиця 1 Середні швидкості осадження матеріалів на підложках.

Матеріал, що розпиляється	Коефіцієнт розпилення для іонів аргону з енергією 600eV, ат/іон	Швидкість осадження, $\text{Нм} \times \text{с}^{-1}$
Si	0,5	6,7
Ti	0,6	7,8
Ta	0,6	7,8
W	0,6	7,8
Nb	0,65	8,4
Mo	0,9	11,7
Al	1,2	12,7
Ge	1,2	12,8
Cr	1,3	16,6
Pt	1,6	21,0
Cu	2,8	30,0
Pd	2,4	31,2
Au	2,8	36,7
Ag	3,4	44,2

Однорідна товщина покриттів досягається за рахунок багатьох факторів, основними з яких є правильний вибір розміру катода, відстані від катода до підложки, відповідних переміщень підложки, по відношенню до розпиленних атомів.

Найосновнішою характеристикою матеріалів, котрі використовуються для нанесення покриттів є їхня жаростійкість (здатність опиратися високотемпературній корозії в потоці продуктів згоряння палива при відносно невеликих навантаженнях). Існують дві обов'язкові вимоги, котрі пред'являються до жаростійких покриттів: гарна механічна сумісність з матеріалом основи, тобто мати добре зчеплення, та довготривала служба без розшаровування; покриття повинні служити бар'єром на шляху дифузії атомів газового середовища в основу та, навпаки, дифузії атомів основи через покриття в зворотному напрямку.

В якості матеріалів, котрі використовують для отримання жаростійких покриттів можуть бути використані різноманітні метали, сплави, тугоплавкі сполуки або їх комбінації, котрі при високих температурах утворюють стабільні оксидні плівки ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ). Найчастіше покриття виготовляють з різноманітних сплавів, основними компонентами яких є залізо, кобальт, нікель. Сплави на основі цих елементів володіють підвищеним опором окисленню при високих температурах. Відомо, що жаростійкість сплавів на нікелевій основі при температурах  $1100^\circ\text{C}$  вища ніж жаростійкість сплавів на кобальтовій основі. Тому в подальшому я зверну увагу на сплави саме на нікелевій основі.

У сплавах Ni-Cr на поверхні превалює оксид нікелю NiO, а там де межа сплав-окалина можна спостерігати виділення  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , котрі оточені чистим нікелем. Збільшуючи вміст хрому, збільшується й кількість оксиду відповідно, й досягнувши оптимального співвідношення з оксидом нікелю, сплави на основі цього металу мають низьку швидкість окислення. Щоб підвищити жаростійкість сплавів практикують додаткове введення алюмінію у кількості 2-6 %. Це дає змогу підвищити робочу температуру сплаву з  $1000-1050^\circ\text{C}$  до  $1150-1200^\circ\text{C}$ . Але існує суттєвий недолік, бо захисна плівка  $\text{Al}_2\text{O}_3$  має низьку термостійкість, тому при циклічних змінах температури спостерігається відшарування. Цю проблему вирішують введенням РЗМ або ітрію. Ітрій вводять в кількості 0,1-0,5 %. Саме йому віддають більшу перевагу, адже температура його плавлення й пружність пари найбільш близькі до відповідного значення заліза, нікелю, хрому.

Жаростійкість конденсатів (1) та литих зразків (2) сплаву Ni – 17% Cr – 12% Al – 0,5%Y в умовах циклічного випробування на газову корозію показана на рис.2 [2].

Для подальшого покращення жаростійкості вводять дисперсні частинки. Продемонстрована характеристика жаростійкості конденсатів Ni – Cr без часток, а також з частками ZrO<sub>2</sub> на рис.3 [3].

Конденсат Ni – 11,5%Cr – (1-2)% ZrO<sub>2</sub> має підвищену жаростійкість, високу термічну стабільність структури, високу стійкість при 20-1000°С, низьку швидкість випромінювання. Корозійні втрати товстих конденсатів сплавів Ni – Cr з різним складом ZrO<sub>2</sub> при 950°С при витримці 25 год показані в таблиці 2.

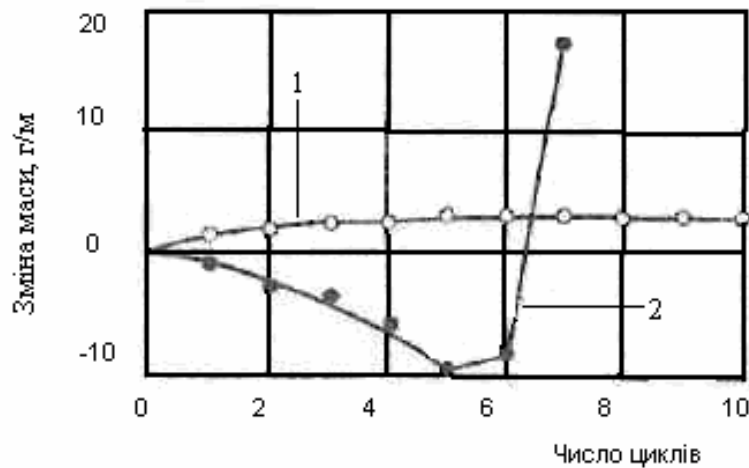


Рис. 2. Жаростійкість сплаву Ni – 17 % Cr – 12 % Al – 0,5 %Y

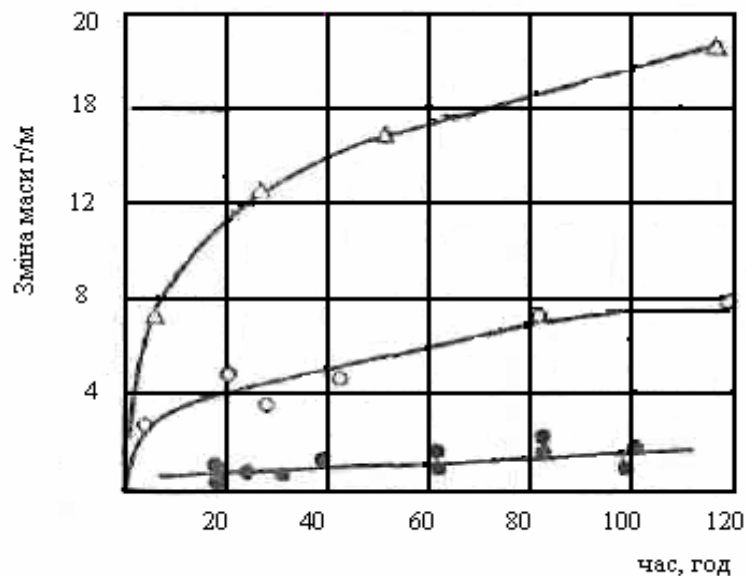


Рис. 3. Жаростійкість конденсатів Ni – Cr: 1 – Ni – 11,5%Cr; 2 – Ni – 23 %Cr; 3 – Ni – 11,5 %Cr – (1-2) % ZrO<sub>2</sub>.

**Таблиця 2** Корозійні втрати товстих конденсатів сплавів Ni – Cr з різним вмістом ZrO<sub>2</sub>

Основа конденсату	Об’ємний вміст ZrO <sub>2</sub> , %	Зменшення маси, г/м <sup>2</sup>
Ni – 28% Cr	0,6	13,5 – 16,9
	1,6	10 – 13,5
	1,9	10,1 – 10,9
Ni – 33% Cr	0	24 – 29,8
	1,8	15,5 – 18,5
	2,3	9,7 – 12,4
	2,6	12,7 – 13
	3,7	40 – 59
Ni – 50% Cr	0	33,2

### Висновки

Завдяки відмінній корозійній стійкості сплав системи Ni–Co–Cr використовують для захисту газових турбін від сульфідно-ванадієвої корозії; для захисту лопаток турбін, котрі експлуатуються в морських умовах, від високотемпературної газової корозії.

### Література

1. Сімс Ч., Хагель В. О. Жароміцні сплави. - М.: “Металургія”. - 1976. – 320 с.
2. Мовчан Б. А., Малашенко І. С. Жаростійкі покриття, осаджені у вакуумі. - К. : “Наукова думка”. – 1983. – 230 с.
3. Малашенко І. С. Жароміцність нікелевих сплавів і захист їх від окислення. - К.: “Наукова думка”. - 1980. – 260 с.