

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ІОННО-ПЛАЗМОВОЇ ОБРОБКИ ПОВЕРХНІ ЖАРОМІЦНИХ І ЖАРОСТІЙКИХ СПЛАВІВ НА АДГЕЗІЙНУ МІЦНІСТЬ ПОКРИТТІВ

*С.І.Шкурат, кандидат хімічних наук, доцент  
Національний кораблебудівний університет*

*ім. адм. Макарова, м. Миколаїв*

*П.М.Полянський, асистент*

*Миколаївський державний аграрний університет*

*Розглянуто основні схеми одержання технологічного іонного струменя та дослідження впливу іонного травлення на стан поверхні матеріалів*

Ресурсо- і енергозберігаючі екологічно чисті технології у сучасному машинобудуванні набувають все більшого значення. До них повною мірою можна віднести технології плазмового модифікування поверхні матеріалів, в тому числі іонно-плазмові методи. Типовою рисою іонно-плазмових методів обробки поверхні є безпосереднє перетворення електричної енергії у енергію технологічного впливу, яка ґрунтується на структурно фазових перетвореннях у поверхневому шарі деталі, що обробляється.

Основною перевагою іонно-плазмових технологій є можливість досягнення високого рівня фізико-механічних властивостей поверхні, при цьому ці технології дозволяють забезпечити:

- високу адгезію покриття до підкладки;
- рівномірність покриття за товщиною на великих площинах;
- зміну складу покриття в широкому діапазоні у межах одного технологічного циклу;
- високу чистоту поверхні;
- екологічну чистоту виробничого циклу.

В цьому звіті розглянуто один з аспектів практичного застосування іонно-плазмових технологій, тобто підготовка поверхні для нанесення теплозахисних покриттів на деталі гарячого тракту ГТД.

На деталі гарячого тракту (соплові та робочі лопатки) газотурбінного двигуна за прийнятою технологією для захисту від високотемпературної газової корозії наносять композиційне металокерамічне захисне покриття типу  $\text{CoNiCrAlY-ZrO}_2$ , яке створюється електронно-променевим або плазмовим напиленням. Від впровадження іонно-плазмової обробки поверхні деталей гарячого тракту при створенні теплозахисних покриттів можна очікувати підвищення їх фізико-механічних властивостей та покращення структури.

В цьому напрямку найбільш цікавими, з точки зору практичного використання, є методи іонно-плазмового очищення, травлення і полірування

поверхні деталей з жароміцних сплавів, як спосіб попередньої підготовки поверхні безпосередньо перед нанесенням теплозахисного покриття.

Іонно-плазмове очищення полягає в спрямуванні на поверхню іонного струменя, під впливом якого з неї відділяються забруднення. Найчастіше для цієї мети у якості плазмоутворюючого газу використовують аргон [6]. При травленні поверхні збільшують інтенсивність іонного струменя і час технологічного впливу на поверхню заготовки, при цьому досягають розпилення поверхневого шару певної товщини. Іонне полірування відбувається при спрямуванні іонного струменя під гострим кутом до поверхні при певних режимах. При усіх перелічених видах обробки відбувається розпилення поверхні заготовки внаслідок бомбардування іонами.

## **1. Основні схеми одержання технологічного іонного струменя**

За принципом одержання іонного струменя розпилювачі можна поділити на два основних типи:

- плазмоїдні, у яких мішень знаходиться у газорозрядній плазмі, яка створюється за допомогою тліючого дугового або високочастотного розряду. Розпилення відбувається внаслідок бомбардування мішені іонами, що вилучаються з плазми;

- автономні джерела без фокусування і з фокусуванням іонних пучків, які бомбардують мішень.

### **1.1. Плазмоїдна схема розпилення**

В найбільш простому випадку система розпилення складається з двох електродів, які розташовані у вакуумній камері (рис. 1).

Мішень, що розпилюється розташовують на катоді.

В камері створюють вакуум, а потім наповнюють робочим газом (частіше всього аргон) до тиску 1,33 Па. На електрод з підкладки подають негативний потенціал, запалюють газорозрядну плазму і бомбардуванням іонами проводять очистку від поверхневих забруднень. Далі можна негативний потенціал прикласти до мішені і розпилювати її.

Розпилені частки рухаються крізь плазму розряду, осаджуються на деталях і утворюють покриття. Більша частина енергії іонів, які бомбардують мішень, до 25 %, переходить в тепло, яке відводиться водою, котра охолоджує катод.

#### ***Основні переваги:***

- простота конструкції;
- можливість впровадження у будь-яку вакуумну схему;
- можливість одержання покриттів з тугоплавких металів, сплавів та хімічних сполук.

#### ***Недоліки:***

- потребує тільки електропровідної мішені.
- низька потужність і щільність іонного струменя.

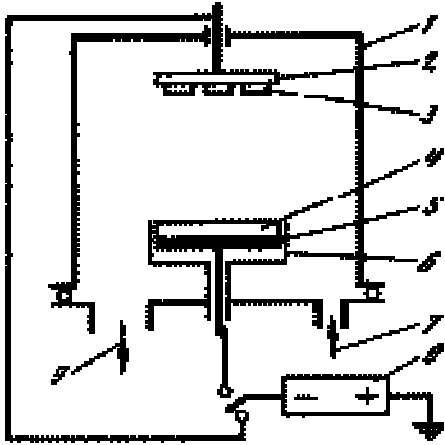


Рис. 1. Принципова схема розпилення: 1- камера; 2- утримувач підкладки; 3- деталі (підкладки); 4- мішень; 5- катод; 6- екран; 7- підвід робочого газу; 8- джерело живлення; 9- відкачка.

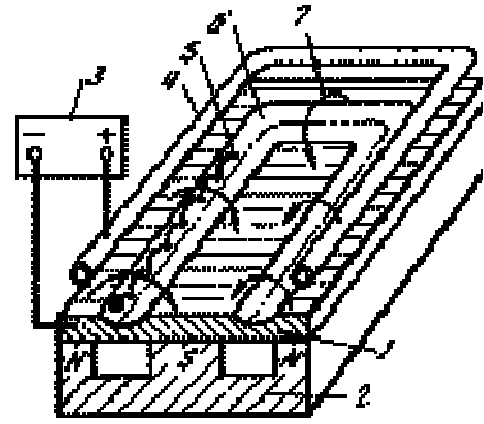


Рис. 2. Схема магнетронної системи з плоскої мішенню: 1- катод (мішень); 2- магнітна система; 3- джерело живлення; 4- анод; 5- траєкторія руху електрона; 6- зона розпилення; 7- силова лінія магнітного поля.

## 1.2. Магнетронне розпилення

Нанесення покриттів у вакуумі за допомогою магнетронних систем полягає в розпиленні твердої мішені іонами інертного газу, які утворюються в плазмі аномального тліючого розряду при накладанні на нього магнітного поля, силові лінії котрого ортогонально перетинають силові лінії магнітного поля.

Основними елементами магнетрона є катод-мішень, анод і магнітна система (рис. 2). Силові лінії магнітного поля замикаються між полюсами магнітної системи. Поверхня мішені, розташована між системами входу і виходу силових ліній магнітного поля, інтенсивно розпилюється і має вигляд замкнутої доріжки, геометрія якої визначається формою полюсів магнітної системи. При подачі постійної напруги між мішенню (негативний потенціал) і анодом (позитивний потенціал) виникає неоднорідне електричне поле і збуджується тліючий розряд. Наявність замкнутого, магнітного поля дозволяє локалізувати плазму розряду безпосередньо біля мішені. Емітовані з катоду під дією іонного бомбардування електрони захоплюються магнітним полем і їм надається складний циклоїдальний рух по замкнених траєкторіях біля поверхні мішені. Електрони опиняються ніби у западні, яка створюється з одного боку магнітним полем, яке їх повертає на катод, а з другого боку - поверхнею мішені, яка їх відштовхує. Електрон циркулює в цій западні до тих пір, поки не відбудеться декілька іонізуючих зіткнень з атомами робочого газу, внаслідок яких він втрачає одержану від електричного поля енергію. Таким чином, більша частина енергії елек-

трона перед тим, як він потрапить на анод, використовується на іонізацію, що значно збільшує ефективність процесу іонізації і приводить до зростання концентрації позитивних іонів біля поверхні мішені. Це, у свою чергу, приводить до збільшення інтенсивності іонного бомбардування мішені і значне зростання швидкості травлення (полірування) підкладки або осадження покриття.

**Основні переваги:**

- висока щільність іонного струменя і, як наслідок цього, висока продуктивність процесу;
- можливість обробляти великі поверхні будь-яких матеріалів (провідники, діелектрики);
- стабільність та надійність у роботі.

**Недоліки:**

- потребує додаткової системи охолодження мішені.

## **2. Вплив іонного травлення на стан поверхні матеріалів**

Як було зазначено раніше, при бомбардуванні поверхні прискореними іонами відбувається її очищення від забруднень. Ефективність очищення поверхні залежить від багатьох факторів: щільності іонного струменя, матеріалу підкладки, температури поверхні, тиску і виду плазмоутворюючого газу та інше.

**Щільність іонного струменя** є одним з важливіших параметрів іонного джерела і процесу іонного травлення. В першу чергу цей параметр значною мірою визначається конструктивними особливостями іонного джерела і може в певному діапазоні регулюватися. Ефективність травлення знаходиться у прямій залежності від щільності іонного струменя. Однак, при високій щільності іонного струменя може відбуватися розігрів підкладки, що може бути небажаним у певних випадках. Для зменшення температури підкладки при використанні іонних струменів високої щільності застосовують додаткові системи охолодження, що може ускладнити конструкцію обладнання. Крім того, при достатньо високій щільності іонного струменя процес травлення підкладки може бути ускладнений небажаними процесами іонної імплантації, проникненням іонів вглиб підкладки і дифузійним насиченням.

**Матеріал підкладки** при звичайних режимах незначною мірою впливає на швидкість іонного травлення. При малих енергіях іонів більш ефективно травляться легкі матеріали, однак ця вибірковість зникає при збільшенні кінетичної енергії іонів за рахунок збільшення потенціалу зсуву. При певних режимах травлення вибірковість цього процесу взагалі можна невеликувати, тобто перейти до режиму полірування.

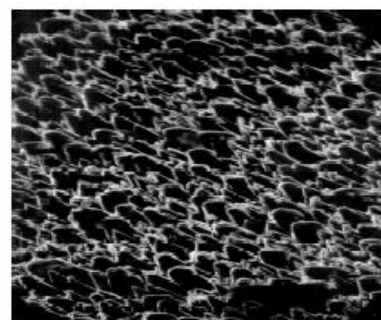
**Температура поверхні.** Підвищення температури поверхні сприяє ефективності іонного травлення. В звичайних умовах травлення з часом температура поверхні зростає, оскільки кінетична енергія іонів перетво-

рюються на теплову. Реальна температура поверхні складається внаслідок балансу між енергією, яка підводиться до підкладки іонами та розсіюється внаслідок тепловідводу.

**Тиск у робочому об'ємі.** Стабільний іонний струмінь можливо одержати лише у певних межах тиску робочого газу. При тиску робочого газу вище за  $3 \cdot 10^{-3}$  мм.рт.ст. розряд магнетрона стає нестабільним і може перейти у дугову форму [1]. Іонне травлення проводиться в діапазоні тиску від  $5 \cdot 10^{-3}$  до  $5 \cdot 10^{-6}$  мм.рт.ст. [2,3]. Збільшення тиску робочого газу призводить до збільшення швидкості травлення, яка у випадку плазмоїдної схеми становить 1,0 мкм/год, а при використанні магнетронних іонних джерел досягає 60 мкм/год. [4,5].

**Тип робочого газу для іонного травлення.** Найбільш широко для іонного травлення зазвичай використовують аргон, як найбільш доступний інертний газ. Але можливо і використання криптон, при цьому зростає ефективність процесу. Окрім інертних газів можливо використання і інших – азоту, кисню та галогенів тощо. Плазмовий струмінь неінертних газів вступає в хімічну взаємодію з матеріалом підкладки, при цьому відбувається так зване реакційне травлення, ефективність якого може бути набагато вище за травлення за допомогою інертних газів. Слід відзначити, що реакційне плазмове травлення на відміну від звичайного іонного носить доволі специфічний характер і не має такої універсальності яка характеризує травлення за допомогою інертних газів.

Протравлена іонним струменем металева поверхня характеризується особливим лускатим мікрорельєфом (рис. 3), як відмічають автори роботи [1].



**Рис. 3. Поверхня міді після іонного травлення**

### **3. Умови експерименту**

Іонне травлення модифікує поверхню і, як наслідок, у випадку його застосування перед нанесенням покриттів є підвищення адгезії та міцності отриманих покриттів [7]. З метою дослідження впливу іонного очищення поверхні на адгезію металевих покриттів було проведено напилення Al, Ni, Au, Cu, C на підкладки з Ni, нержавіючої сталі, бронзи і скла методом термічного розпилення на установці ВУП-5 з попереднім іонним очищенням та без нього. Вибір вказаних матеріалів для підкладки ґрунтується на тому, що основу більшості жароміцних сплавів становить нікель, типовим прикладом жаростійкого матеріалу є аустенітна сталь X18H9T, інші матеріали взято для порівняння.

Іонне очищення проводилось за допомогою спеціальної приставки в плазмі тліючого розряду протягом 15-20 хвилин при остаточному тиску  $5 \cdot 10^{-5}$  мм.рт.ст. і напрузі зсуву 1000 В.

Температура підкладки при іонному очищенні і напиленні покриттів не перевищувала 40 °С, тобто попереднє іонне очищення і напилення покриттів здійснювалось без термічної активації. За таких умов адгезія покриттів досить низька - набагато менша за міцність обраних матеріалів, що дозволяє застосувати для оцінки її зміни під впливом іонного очищення простий метод сколювання по границі розподілу підкладка-покриття під дією індентора або шляхом загинання на оправці певного радіусу. В усіх випадках полірована поверхня підкладок перед нанесенням покриттів знежирювалась органічними розчинниками.

Товщина одержаних покриттів становила 10-15 мкм. Адгезія одержаних покриттів оцінювалась за відносною п'ятибальною шкалою:

- 5 – нема порушень цілісності покриття;
- 4 – є незначні порушення (тріщини або сколи) на площі до 10 %;
- 3 – відлущення на площині 20-50 %;
- 2 – відлущення на площині 50-70 %;
- 1 – відлущення на площині більше 90 %.

#### 4. Результати випробувань

Результати визначення відносної адгезії металевих покриттів представлено у таблиці. В дужках вказано оцінку адгезії покриття на підкладках без попереднього іонного очищення.

Таблиця

Адгезія металевих покриттів

Підкладка	Покриття				
	Ni	Al	Cu	Au	C
Ni	5(4)	5(3)	5(4)	4(3)	2(1)
X18H9T	5(3)	4(2)	4(2)	4(3)	-
Бронза	4(2)	4(2)	5(3)	4(2)	-
Скло	3(1)	3(1)	3(1)	3(1)	2(1)

Як видно з представлених даних, попереднє іонне очищення підкладки приводить до підвищення адгезії на 1-2 бали. Найбільш значне зростання адгезії відмічається у випадках різнорідних матеріалів підкладки та покриття.

#### Висновки

Як свідчать оглянуті літературні дані та проведені експерименти, додаткове іонне очищення сприяє підвищенню адгезії металевих покриттів на різних за природою підкладках, в тому числі і на підкладках за складом, подібним до жароміцних та жаростійких сплавів. Від впровадження іонного очищення в технологію одержання електронно-променевих покриттів на деталях з жароміцних сплавів цілком імовірно очікувати підвищення адге-

зії, що покращить якість і вихід годної продукції. Найбільш доцільним для цього застосовувати іонні джерела магнетронного типу, які легко масштабуються і можуть бути вмонтовані в існуюче обладнання, також відрізняються високою ефективністю.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Пронин В.А., Гончаров В.Н., Липин А.В. и др. Использование метода ионного осаждения для модификаций поверхности трековых мембран // Письма в ЖТФ. 2002, т. 28. Вып. 1. - С. 11-14.
2. Пронин В.А., Гончаров В.Н., Липин А.В. и др. Ионно-лучевой метод модификации поверхности трековых мембран // ЖТФ. 2001. Т. 71. Вып. 11, - С. 96-100.
3. Бузаев С.П., Ковшаров Н.Ф., Ладыженский О.Б., Сочугов Н.С. Технологическая установка „ВНУК” для нанесения теплоотражающих покрытий на архитектурные стекла // Докл. VI конф. «Модификация свойств конструкционных материалов пучками заряженных частиц» - Томск, 23-29 сентября, 2002. С. 43-46.
4. Ионные инжекторы и плазменные ускорители. Под. Ред. А.И. Морозова и Н.Н.Семашко. - М: Энергоиздат, 1990.
5. Ивановский Г.Ф., Петров В.И. Ионно-плазменная обработка материалов. - М.: Радио и связь, 1986. - 232 с.
6. Ладыженский О.Б., Заславский В.М., Ковшаров Н.Ф., Распутин Р.М., Сочугов Н.С. Ионно-плазменная обработка поверхности как способ увеличения адгезии металлических пленок. Устройство дугогашения для мощных магнетронных распылительных систем // Докл. VI конф. «Модификация свойств конструкционных материалов пучками заряженных частиц» - Томск, 23-29 сентября, 2002.- С. 552-554.

УДК 631.3:635.1/8

## ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИДІЛЕННЯ І ДОРОБКИ НАСІННЯ ОВОЧЕ-БАШТАННИХ КУЛЬТУР

**С.І.Пастушенко**, доктор технічних наук, професор

**К.М.Думенко**, старший викладач

**А.С.Пастушенко**, студент

**А.О.Дубовик**, студент

*Миколаївський державний аграрний університет*

*У статті на основі розробленого технологічного комплексу машин представлено нову універсальну, енергоефективну, мобільну технологічну лінію для виділення і доробки насіння овоче-баштанних культур*

**Постановка проблеми.** Насінництво овоче-баштанних культур Півдня України до теперішнього часу майже повністю зникло як галузь. Одним з важливих питань цієї проблеми є отримання насіння овоче-баштанних культур механізованим шляхом. Про його пріоритетність гово-