



Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут”
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України
Інститут газу НАН України



МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ

**II ВСЕУКРАЇНСЬКА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ
СТУДЕНТІВ, АСПРАНТІВ ТА НАУКОВИХ СПІВРОБІТНИКІВ**

«ІНЖЕНЕРІЯ ПОВЕРХНІ. КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД»

28-29 травня 2015 року

Київ 2015

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут”
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України
Інститут газу НАН України

МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ

**II ВСЕУКРАЇНСЬКА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ
СТУДЕНТІВ, АСПРАНТІВ ТА НАУКОВИХ СПІВРОБІТНИКІВ**

“ІНЖЕНЕРІЯ ПОВЕРХНІ. КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД”

28-29 травня 2015 року

Київ 2015

Інженерія поверхні. Комплексний підхід: Матеріали другої всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів та наукових співробітників: К.: НТУУ “КПІ”, ТОВ “Фастпринт”, 2015. – 25 с.

В збірнику матеріалів другої всеукраїнської міжгалузевої науково-технічної конференції студентів, аспірантів та наукових співробітників “Інженерія поверхні. Комплексний підхід” наведені тези доповідей, які були представлені на конференції. Основні питання, що були висвітлені у ході конференції відносяться до отримання функціональних покриттів методами газотермічного напилення та наплавлення, дослідження і аналіз властивостей покриттів, нових технологій в інженерії поверхні, інформаційного і методичного забезпечення.

ОРГАНІЗАТОРИ

Міністерство освіти і науки України

Національний технічний університет України “КПІ”

Кафедра інженерії поверхні НТУУ “КПІ”

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України

Інститут газу НАН України

Матеріали видаються за оригіналами поданими авторами.

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Голова:

Кузнецов В.Д., доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інженерії поверхні НТУУ “КПІ”.

Заступники голови:

Копилов В.І., д.т.н., професор кафедри інженерії поверхні НТУУ “КПІ”;

Чорний А.В., к.т.н., доцент кафедри інженерії поверхні НТУУ “КПІ”.

Учений секретар:

Смирнов І.В., д.т.н., професор кафедри інженерії поверхні НТУУ “КПІ”.

Члени оргкомітету:

Головко В.В., д.т.н., професор, завідувач відділом ІЕЗ ім. Є.О. Патона;

Петров С.В., д.т.н., провідний науковий співробітник Інституту газу;

Квасницький В.В., д.т.н., професор кафедри інженерії поверхні НТУУ “КПІ”;

Степанов Д.В., асистент кафедри інженерії поверхні НТУУ “КПІ”.

З М І С Т

СЕКЦІЯ 1. ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ОСНОВИ ІНЖЕНЕРІЇ ПОВЕРХНІ	5
<i>В.М. Ходаковський, В.І. Копилов.</i> Оцінка адгезійно – когезійних властивостей плазмових покриттів методом вимірювання електроопору.....	5
<i>Р.В. Прокопенко, В.І. Копилов.</i> Тріщиностійкість газотермічного покриття на основі оксиду цирконію	6
<i>В.В. Квасницький, С.Ю. Філіппов, О.В. Чорний.</i> Застосування методу скінчених елементів для визначення впливу різниці фізико-механічних характеристик матеріалів основи та газотермічного покриття на формування напружено-деформованого стану при циклічних змінах температури	7
<i>В.В. Квасницький, О.В. Чорний, С.Ю. Філіппов.</i> Вибір розрахункової моделі дослідження методом скінчених елементів формування напружено -деформованого стану при визначенні міцності зчеплення газотермічного покриття з основою	9
СЕКЦІЯ 2. ФУНКЦІОНАЛЬНІ ПОКРИТТЯ	11
<i>М.В. Федоськін, Б.Д. Соломаха, Д.В. Степанов.</i> Вплив наноксидів на зносостійкість наплавленого металу дротом ПП-Нп40Х13	11
<i>С.В. Штанько, Б. Д. Соломаха, Д.В. Степанов.</i> Вплив наноксидів на зносостійкість наплавленого металу дротом 25ХГ2С.....	12
<i>О.С. Шагієв, А.В. Чорний, І.В. Смирнов.</i> Підвищення зносостійкості плазмових покриттів з застосуванням нанопорошків.....	13
<i>В.К. Фурман, І.В. Смирнов, А.В. Чорний</i> Вплив на зносостійкість плазмових покриттів додавання наночастинок оксиду алюмінію	14
СЕКЦІЯ 3 СПОРІДНЕНІ ПРОЦЕСИ В ІНЖЕНЕРІЇ ПОВЕРХНІ	15
<i>С.П. Солодкий, О.С. Пластинін.</i> Дослідження феромагнітного покриття	15
<i>С.П. Солодкий, Д.В. Гончаренко.</i> Дослідження кокільних покриттів	16
<i>Д.В. Москаленко, В.М. Корж, Ю.С. Попіль.</i> Використання воднево – кисневої суміші в якості плазмоутворюючого середовища	17
<i>В.В. Ступчук, В.М. Корж, Ю.С. Попіль.</i> Розробка мобільної установки для плазмової цементації сталевих виробів	18
<i>В. Ю. Ковальчук, В.К. Фурман, І.В. Смирнов.</i> Дослідження віброперемішувача для плакування порошків у вакуумі.....	19
<i>М. І. Семенов, В.І. Копилов.</i> Підвищення абразивної стійкості робочих органів техніки легуванням та модифікуванням вуглецевою плазмою	20
<i>А.М. Лотоцький, С.М. Гетманець.</i> Металургійні і технологічні заходи підвищення якості холодного зварювання чавуну	21
<i>Т.Б. Степанова, С.М. Гетманець.</i> Низькотемпературне паяння – зварювання чавуну.....	22
<i>К.В. Іванченко, С.М. Гетманець.</i> Реновація деталей і конструкцій дуговим напиленням покритим електродом	23
СЕКЦІЯ 4. ОСНОВИ ПЕДАГОГІКИ ВИЩОЇ ШКОЛИ	24
<i>В.Ю. Гонтар, С.М. Гетманець</i> Основи вимірювань і випробувань в інженерії поверхні	24

СЕКЦІЯ 1. ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ОСНОВИ ІНЖЕНЕРІЇ ПОВЕРХНІ

ОЦІНКА АДГЕЗІЙНО – КОГЕЗІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПЛАЗМОВИХ ПОКРИТТІВ МЕТОДОМ ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРООПОРУ

В.М. Ходаковський, магістр, В.І. Копилов, проф. (НТУУ «КПІ», ЗФ)

Оцінка адгезійної і когезійної міцності покриття за допомогою дослідження електроопору покриттів має ряд переваг перед методами, заснованими на відриві плівок, так як дозволяє виміряти безпосередню величину адгезійної і когезійної взаємодії без похибок, які екрануються побічними процесами.

Метою роботи є встановлення кореляції між адгезією і фізичними властивостями (електроопір) адгезійних з'єднань.

Дана методика використана для вивчення електрофізичних характеристик плазмових покриттів: Al, AlNi, Mo, на зразках із армко-заліза при різних умовах наплення. Встановлено, що питомий опір покриттів може суттєво відрізнятись від опору компактних матеріалів – різниця може бути на два порядки. Запропонована методика дає можливість визначити значення питомого електроопору самого покриття $\rho_{\text{П}}$, який охарактеризує когезійні властивості, а також значення опору міжфазної контактної зони $R_{\text{К}}$, які характеризують адгезійні властивості системи «основа – покриття» (див. табл. 1).

Таблиця – 1. Електрофізичні властивості системи «основа–плазмові покриття»

Покриття	Al	AlNi	Mo
Питомий електроопір покриття $\rho_{\text{П}} \cdot 10^3, \text{ Ом} \cdot \text{мм}$	3,2	15,0	17,8
Електроопір контактної зони $R_{\text{К}} \cdot 10^5, \text{ Ом}$	5,83	4,5	1,1

ТРИЩИНОСТІЙКІСТЬ ГАЗОТЕРМІЧНОГО ПОКРИТТЯ НА ОСНОВІ ОКСИДУ ЦИРКОНІЮ

Р.В. Прокопенко, магістр, В.І. Копилов, професор, (НТУУ "КПІ", ЗФ)

Експлуатаційні властивості покриттів залежать від механічних характеристик поверхневих шарів, оцінку яких можна проводити на основі кількісних показників, що характеризують їх крихке руйнування, наприклад, при індентуванні.

Метою роботи було дослідження характеристик міцності керамічного покриття на основі оксиду цирконію ZrO_2 , при індентуванні пірамідою Віккерса і визначення його коефіцієнта тріщиностійкості K_{Ic} .

У роботі використовувалися механічні суміші порошків ($ZrO_2 - AlNi$) в різному їх співвідношенні - (1:1), (2:1), (1:2).

Критерій K_{Ic} (в'язкість руйнування) розраховували за довжиною радіальних мікротріщин, які утворювались біля верхівок відбитків мікротвердості, використовуючи величини мікротвердості HV та модуля Юнга E , а також з урахуванням морфології та довжини тріщин (тріщина Палмквіста) за імперічними формулами, запропонованими Нііхара:

$$\left(\frac{H}{E\Phi}\right)^{0,4} \left(\frac{K_{Ic}\Phi}{H\sqrt{a}}\right) = 0,035 \left(\frac{l}{a}\right)^{-1/2}, \quad (1)$$

де H – твердість; E – модуль Юнга; Φ – коефіцієнт (може змінюватись в межах від 1,8 до 3,0); a – напівдіагональ відбитку індентора Віккерса; c – половина довжини тріщини; $l = c - a$ – довжина тріщини Палмквіста.

Використовуючи вказану залежність, а також експериментально-теоретичні значення модулів пружності Юнга, вдалося отримати результати близькі до даних альтернативних методів, зокрема, за методу виміру при вигині. Для досліджуваних композицій з різною щільністю та мікротвердістю значення K_{Ic} , отримані при індентуванні, знаходяться в межах 1,25–2,51. Більш високі значення тріщиностійкості отримуються при використанні ультрадисперсних порошків у складі суміші.

**ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ СКІНЧЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДЛЯ
ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ РІЗНИЦІ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ
ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРІАЛІВ ОСНОВИ ТА ГАЗОТЕРМІЧНОГО
ПОКРИТТЯ НА ФОРМУВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО
СТАНУ ПРИ ЦИКЛІЧНИХ ЗМІНАХ ТЕМПЕРАТУРИ**

*В.В. Квасницький, проф., С.Ю. Філіппов, магістр, О.В. Чорний, магістр
(НТУУ «КПІ», ЗФ)*

Для забезпечення високої працездатності та довговічності відповідальних деталей сучасних енергетичних машин широко використовують захисні газотермічні покриття різноманітного призначення. Основними вимогами до таких покриттів є їх достатньо висока пластичність та міцність зчеплення з основою, стійкість до розтріскування під дією значних механічних навантажень в умовах високошвидкісних змін температур. Значний вплив на опір покриття руйнуванню мають термічні напруження, що утворюються на межі розподілу покриття-основа в наслідок різниці коефіцієнтів лінійного температурного розширення матеріалів підкладки і напиленого шару в процесі роботи деталей.

Для оцінки міцності і термостійкості покриття проводять спеціальні лабораторні випробування, в яких зразки з нанесеним покриттям багаторазово нагрівають і охолоджують в діапазоні температур 20–1200 °С. Критерієм термостійкості при цьому є стан покриття після випробувань, зокрема, відсутність тріщин і відшарувань від підкладки. Однак, така методика, як правило, не дозволяє чітко визначити взаємозв'язок між окремими параметрами системи на стійкість покриття. Ця обставина суттєво ускладнює узагальнення результатів численних експериментів, що проводяться на зразках з різних матеріалів підкладок і покриттів. Тому вивчення впливу співвідношення товщини покриття та основи, їх фізико-механічних характеристик на формування напруженого стану в системі газотермічне покриття - основний матеріал під дією циклічних змін температур представляється актуальним.

Метою роботи є дослідження напруженого стану при нагріванні-охолодженні зразків з напиленим покриттям і встановлення кількісних залежностей рівня напружень від товщини покриття і властивостей матеріалів.

Методом скінчених елементів із застосуванням програмного комплексу ANSYS досліджували формування напруженого стану в зразках в вигляді плоскої пластини з нанесеним газотермічним покриттям, які, як правило, використовують у випробуваннях на термостійкість. Аналізували поля і епюри розподілу напружень за умови пружного деформування зразків з покриттям. На першому етапі побудовано фізичні і скінчено-елементні моделі зразків для випробувань міцності напиленого шару під дією термічного навантаження. Обрані варіанти товщин і модулів пружності матеріалів основи та напиленого шару покриття.

Для спрощення розрахунків та зменшення машинного часу був обраний інтервал зміни температур в 100 град. Обрана довжина зразків 10 мм. Вивчалися два варіанти моделей: з покриттям малої ($E=0,5 \cdot 10^5$ МПа) і великої ($E=2 \cdot 10^5$ МПа) жорсткості. В усіх розрахунках значення коефіцієнту лінійного термічного розширення матеріалу покриття було меншим в 2 рази за відповідне значення цього коефіцієнту для основного матеріалу. В дослідженнях змінювали співвідношення між товщиною покриття та основного матеріалу-підкладки. Коефіцієнти Пуассона для всіх матеріалів підкладок і покриттів дорівнював 0,3.

Дослідження полів розподілу напружень показав, що в усіх варіантах вузлів напруження розподілені фактично однаково. На більшій частині довжини вузла поздовжні напруження зберігають постійну величину і лише поблизу торця, на відстані, що дорівнює товщині вузла, починають помітно зменшуватися, що, в цілому, відповідає загальним принципам механіки і свідчить, що на більшій частині довжини зразка в середній його частині поперечні перерізи залишаються плоскими, викривляючись лише навколо торців. Поперечні напруження на більшій частині довжини зразка незначні, характеризуються рівномірністю розподілу та досягають максимальних значень на бічній поверхні вузлів.

ВИБІР РОЗРАХУНКОВОЇ МОДЕЛІ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДОМ СКІНЧЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ФОРМУВАННЯ НАПРУЖЕНО - ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ МІЦНОСТІ ЗЧЕПЛЕННЯ ГАЗОТЕРМІЧНОГО ПОКРИТТЯ З ОСНОВОЮ

*В.В. Квасницький, проф., О.В. Чорний, магістр, С.Ю. Філіппов, магістр
(НТУУ «КПІ», ЗФ)*

В сучасному енергетичному машинобудуванні, авіабудуванні та інших галузях виробництва широко застосовують газотермічні покриття різного функціонального призначення, зокрема термобар'єрні та корозійностійкі покриття. Такі функціональні покриття повинні не розтріскуватися під дією механічних і термічних навантажень завдяки їх достатній пластичності та міцності. Окрім власних фізико-механічних властивостей газотермічних покриттів на їх опір руйнуванню та стійкість до відшаровування значний вплив має величина термічних напружень, що виникають в наслідок наявної різниці коефіцієнтів лінійного температурного розширення (КЛТР) різнорідних матеріалів основного металу та покриття при зміні температури, як у процесі виготовлення (нанесення покриття і термообробки), так і при експлуатації виробу.

Основним методом оцінки міцності покриття є спеціальні лабораторні випробування, в яких зразки з нанесеним покриттям багаторазово нагрівають і охолоджують від нормальної температури до робочої і навпаки. Такий підхід вимагає значних витрат часу та є витратним. Результати таких досліджень, як правило, не дозволяють провести кількісний аналіз впливу окремих параметрів процесу, наприклад, таких як співвідношення товщини покриття і основного матеріалу, фізико-механічних характеристик покриття та основного металу. Тому вивчення напруженого стану при навантаженні зразків з покриттями та впливу на нього різних факторів є актуальним.

В процесі проведеної роботи визначено та обґрунтовано, застосування для проведення розрахунків скінчено-елементного програмного комплексу ANSYS

завдяки його широкій універсальності та високому ступеню розвитку за останні 40 років.

Для проведення розрахункових досліджень запропоновано застосування осесиметричної моделі розрахунку, яка, при забезпеченні необхідної точності та адекватності результатів, дозволяє суттєво скоротити машинний час розрахунків. Розрахункова модель передбачає визначення напруженого стану, що формується в зразках, які застосовуються для лабораторних випробувань міцності зчеплення напиленого шару з підкладкою методом витягування штока. Дослідження напруженого стану виконували в невеликій зоні, що безпосередньо примикає до місця з'єднання торця штока з покриттям, оскільки саме в цій зоні зосереджені напруження при навантаженні штока.

В дослідженнях товщину напиленого шару змінювали в межах від 0,3 до 1,0 мм, а також вивчали вплив різної жорсткості (модулів пружності E) матеріалу напиленого шару при фіксованій жорсткості основного матеріалу (штока і втулки) при величині навантаження на стрижень 20 МПа.

Попередні результати розрахункових досліджень показують, що характер розподілу напружень практично не залежить від жорсткості матеріалу покриття, а найбільш завантажена ділянка розташована поблизу точки сполучення штока, втулки і покриття. На верхній зовнішній поверхні напиленого шару формується ділянка з максимальною величиною радіальних та окружних напружень.

СЕКЦІЯ 2. ФУНКЦІОНАЛЬНІ ПОКРИТТЯ

ВПЛИВ НАНООКСИДІВ НА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ МЕТАЛУ

НАПЛАВЛЕНОГО ДРОТОМ ПП-Нп 40Х13

*М.В. Федоськін, студент, Б.Д. Соломаха, студент, Д.В. Степанов, асистент
(НТУУ «КПІ», ЗФ)*

Додавання нано оксидів у зварювальну ванну має вплив на структуру та властивості металу шва. Відомості про вплив нано оксидів на властивості поверхневого шару є мінімальними, тому дослідження в цьому руслі є актуальними та необхідними.

Мета роботи – експериментальне дослідження зносостійкості наплавленого металу при введенні в зварювальну ванну нано оксидів.

Наноконпоненти вводились в зварювальну ванну у вигляді гомогенної суміші порошків заліза та нанорозмірних порошків оксидів алюмінію, титана, кремнію з заданим об'ємним співвідношенням. Суміш формували у планетарному млині, для забезпечення від розсіювання її скріплювали ґрунтовкою та наносили тонким шаром на довжину наплавлення.

Триботехнічні випробування проводили на машині тертя СМЦ-2 по схемі вал-колодка. Зразки зважувались до та після випробувань на точних лабораторних терезах з погрішністю 0.001 г.

Дослідження виконували при наплавленні дротом ПП-Нп 40Х13 діаметром 2 мм на ст. 3 відкритою дугою на автоматі АД-231. Наплавлення здійснювалось на режимі $I = 250$ А, $U = 20$ В, $V_{зв} = 16$ м/год, виліт 18 мм.

Максимальна зносостійкість спостерігається у випадку використання порошку тільки нано оксиду кремнію. В цьому випадку втрати по масі знижуються з $\Delta m = 0,042$ г до $\Delta m = 0,015$ г тобто в 2,8 раза.

Отже, введення нано оксидів у зварювальну ванну приводить до збільшення зносостійкості. При наплавленні велику перспективу має модифікування відносно дешевим оксидом кремнію.

ВПЛИВ НАНООКСИДІВ НА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ МЕТАЛУ НАПЛАВЛЕНОГО ДРОТОМ 25ХГ2С

*С.В. Штанько, студент, Б. Д. Соломаха, студент, Д.В. Степанов, асистент
(НТУУ «КПІ», ЗФ)*

Додавання нано оксидів у зварювальну ванну має вплив на структуру та властивості металу шва. Відомості про вплив нано оксидів на властивості поверхневого шару є мінімальними, тому дослідження в цьому руслі є актуальними та необхідними.

Мета роботи – експериментальне дослідження зносостійкості наплавленого металу при введенні в зварювальну ванну нано оксидів.

Наноконпоненти вводились в зварювальну ванну у вигляді гомогенної суміші порошків заліза та нанорозмірних порошків оксидів алюмінію, титана, кремнію з заданим об'ємним співвідношенням.

Дослідження виконували при наплавленні дротом 25ХГ2С діаметром 2.2 мм на сталь 09Г2С відкритою дугою на автоматі АД-231. Наплавлення здійснювалось на режимі $I = 225$ А, $U = 32$ В, $V_{зв} = 18$ м/год, виліт 20 мм.

Випробування на тертя показали, що зносостійкість підвищується при вводиті будь-якого матеріалу, в 1.5 рази при введенні 0.5% TiO_2 , в 4 рази – 0,7% Al_2O_3 та в 6 разів – 90% SiO_2 .

Заміри мікротвердості показали, що при середньому значенні вихідного металу валика 352 HV, в решті випадків мікротвердість зменшувалась (0,5% TiO_2 – 271 HV, 0,7% Al_2O_3 – 313HV) за винятком 90% SiO_2 – 424 HV.

Аналіз показав, що метал вихідного валика має бейнітну структуру з незначною кількістю мартенситної складової. Для наплавленого металу з діоксидом кремнію характерна чисто мартенситна структура, що, швидше за все, і визначає підвищення зносостійкості.

Отже, введення нано оксидів у зварювальну ванну приводить до збільшення зносостійкості. При наплавленні велику перспективу має модифікування відносно дешевим оксидом кремнію.

ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПЛАЗМОВИХ ПОКРИТТІВ З ЗАСТОСУВАННЯМ НАНОПОРОШКІВ

*О.С. Шагієв, магістр, А.В. Чорний, доц., І.В. Смирнов, проф.
(НТУУ “КПІ”, ЗФ)*

Плазмове нанесення покриттів відноситься до прогресивних технологій, які дозволяють з високою ефективністю підвищувати надійність деталей машин в цілому і їх довговічність, зокрема. Одним з ефективних способів підвищення експлуатаційних властивостей напилених покриттів вважається введення в матрицю добавок нанопорошків оксидів, карбідів, нітридів металів. Оксид алюмінію є одним з перспективних керамічних матеріалів для широкого спектра властивостей таких як зносостійкість, корозійна стійкість, низький коефіцієнт тертя з одного боку, і доступності - з іншого.

Мета даної роботи полягала в встановленні модифікуючої дії нанодисперсних частинок оксиду алюмінію Al_2O_3 на зносостійкі властивості плазмових покриттів на основі самофлюсівного порошку ПГ-10Н-01.

Отримання гомогенної порошкової суміші з мікрочастинок самофлюсівного порошку ПГ-10Н-01 та наночастинок оксиду алюмінію здійснювали за допомогою механохімічної обробки у планетарному млині.

Покриття напилювали спеціальним плазмотроном з частково винесеною дугою. Режим роботи плазмотрону обирався таким, щоб відбувалася генерація ламінарного струменя. Робочий струм встановлювався в межах 80–100 А, напруга 35–45 В, витрати газу 4–5 л/хв. Після напилення покриття оплавляли в муфельній печі при температурі 1050 °С продовж 5 хв. Товщина покриттів складала в межах 0,3–0,5 мм. Отримані покриття досліджували на кінетику зношення в умовах сухого тертя при зворотно – поступальному русі плоского контртіла із загартованої сталі з навантаженням 3 кг.

З аналізу отриманих даних встановлено, що при веденні нанопорошку оксиду алюмінію в кількості 1,5 об.% в плазмові покриття дозволило зменшити коефіцієнт тертя на 38% і збільшити зносостійкість покриттів в 2–3 рази. Збільшення нанопорошку до 5 об.% призводить до погіршення зносостійкості та не впливає на зменшення коефіцієнту тертя.

ВПЛИВ НА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ПЛАЗМОВИХ ПОКРИТТІВ ДОДАВАННЯ НАНОЧАСТИНОК ОКСИДУ АЛЮМІНІЮ

В.К. Фурман, асп., І.В. Смирнов, проф., А.В. Чорний, доц. (НТУУ “КПІ”, ЗФ)

Плазмове напилення є одним з найбільш ефективних способів нанесення захисних та зміцнюючих покриттів на поверхні деталей і для відновлення зношених частин. Дані покриття повинні мати такі властивості як: високі показники твердості, адгезійної міцності і щільності покриття. Покращити зносостійкі властивості металевих покриттів можливо шляхом введення до їх складу домішок нанопорошків.

Мета роботи полягала в дослідженні зносостійкості плазмових покриттів на основі самофлюсу з додавання до їх складу нанодисперсного порошку Al_2O_3 .

Для встановлення оптимальних значень вмісту наноконпонентів у плазмових покриттях визначали зносостійкість, коефіцієнт тертя та мікротвердість. Отримані покриття досліджували на кінетику зношення в умовах сухого тертя при обертальному русі контртіла із загартованої сталі з навантаженням 5 кг на установці СМЦ-2. Мікротвердість отриманих покриттів визначали на приладі ПМТ-3 при навантаженні 0,98 Н.

У якості наноконпонентів застосовували Al_2O_3 фракцією 50–60 нм, який вводився у концентраціях від 0,5 об.% до 5 об.%. Приготування гомогенної порошкової суміші з мікро- та наночастинок проводили в планетарному кульовому млині. Напилення порошків здійснювали плазмотроном з виносним анодом в режимі генерації ламінарного плазмового струменя. Потужність плазмотрону складала 2,7 кВт, продуктивність до 4 кг/год із загальною витратою газу (аргону) 5 л/хв.

Проведені випробування показали, що діапазон оптимальних значень вмісту нанопорошків знаходиться в межах 0,5–1,5 об.% при застосуванні у якості вихідного порошку ПС-12НВК-01. Найбільші значення механічних характеристик плазмових покриттів були отримані при додаванні нанопорошку Al_2O_3 у кількості 1,5 об.%, зокрема мікротвердість 4,3 Гпа, міцність зчеплення покриття з основою складала 58 МПа, відносна зносостійкість 3,2%, коефіцієнт тертя 2,3.

СЕКЦІЯ 3 СПОРІДНЕНІ ПРОЦЕСИ В ІНЖЕНЕРІЇ ПОВЕРХНІ

ДОСЛІДЖЕННЯ ФЕРОМАГНІТНОГО ПОКРИТТЯ

С.П. Солодкий, ст. викл., О.С. Пластинін, студ. (НТУУ «КПІ», ЗФ)

Останнім часом все більшої популярності набуває новий вид плит - з індукційним типом нагріву. Принцип роботи таких агрегатів досить простий - розташована під склокерамічною поверхнею індукційна котушка створює електромагнітне поле. Це поле вільно проходить через кераміку і утворює в днищі посуду вихровий струм, через який виділяється багато тепла.

При роботі з плитою необхідно використовувати спеціальний посуд, що виготовлений з матеріалу, який ефективно поглинає енергію вихрових полів.

На теренах України існують підприємства, що зацікавлені в модернізації існуючих технологій виготовлення кухонного посуду для можливого застосування його в плитах та печах з індукційним типом нагріву.

На кафедрі Інженерії поверхні НТУУ «КПІ» розроблена альтернативна технологія плазмово – дугового напилення на днище алюмінієвого кухонного посуду феромагнітного покриття.

Для плазмового напилення, наприклад, алюмінієвих пателень використовували порошок на залізній основі. При цьому наносили підшар з композиційного терморегулюючого порошку (80% Ni та близько 20% Al).

Результати досліджень показали, що мінімально можлива товщина підшару щодо достатньої міцності зчеплення з основою та основним покриттям повинна складати 0,05-0,1 мм. Також було доведено, що мінімальна необхідна товщина основного покриття, яка забезпечує ефективний розігрів посуду при використанні індукційного нагріву складає 0,4-0,6 мм.

ДОСЛІДЖЕННЯ КОКІЛЬНИХ ПОКРИТТІВ

С.П. Солодкий, ст. викл., Д.В. Гончаренко, студ. (НТУУ «КПІ», ЗФ)

Перспективним способом захисту робочої стінки кокілю від термічного удару є створення на її поверхні так званого постійного кокільного покриття.

На практиці, як правило, для отримання кокільних покриттів використовують порошки з Al_2O_3 та ZrO_2 . Доведено, що покриття з ZrO_2 мають кращі теплозахисні властивості.

На кафедрі Інженерії поверхні НТУУ «КПІ» розроблена альтернативна технологія підвищення теплозахисних властивостей чавунних кокілів плазмово-дуговим напиленням.

Для плазмового напилення чавунних кокілів використовували порошок ZrO_2 стабілізований Y_2O_3 . При цьому наносили підшар з композиційного терморегулюючого порошку (80% Ni та близько 20% Al). В шарі, що напиляється, між Ni та Al відбувається реакція, яка призводить до утворення інтерметаліду NiAl . Було доведено, що ця сполука має велику густину та міцно зв'язується з основним металом, збільшує міцність зчеплення керамічних покриттів, підвищує їх термостійкість, захищає основний метал від утворення окалини.

Результати досліджень показали, що товщина підшару повинна складати приблизно 0,05-0,1 мм. Також було доведено, що покриття з ZrO_2 стабілізований Y_2O_3 має більш високу теплостійкість, ніж покриття з чистого ZrO_2 . Довговічність шару окислів знижується, якщо товщина більша ніж 0,4-0,5 мм.

Даний технологічний процес пройшов промислові випробування. При цьому встановлено, що керамічні покриття з ZrO_2 стабілізований Y_2O_3 витримують від 2000 до 2500 заливок без зміни. В той же час на кокілях без напилення після 1000-1500 заливок утворюються тріщини, що унеможливають подальшу експлуатацію кокілів без ремонту.

ВИКОРИСТАННЯ ВОДНЕВО – КИСНЕВОЇ СУМІШІ В ЯКОСТІ ПЛАЗМОУТВОРЮЮЧОГО СЕРЕДОВИЩА

Д.В. Москаленко, маг., В.М. Корж, проф., Ю.С. Попіль, доц. (НТУУ «КПІ»,ЗФ)

Застосування плазмоутворюючого середовища, оцінюється ентальпією, температурою, теплопровідністю і складом та геометрією плазмового струменю. В сучасних методах газотермічної обробки матеріалів (ГТОМ) використовують такі гази, як аргон, азот, кисень, та їх суміші аргон-водень, аргон-гелій, азот-водень, повітря, повітря+вуглецево-водневі сполуки. Одним з найбільш ефективних в застосуванні для ГТОМ плазмовим середовищем є водяна пара та водень.

Метою роботи є дослідження теплофізичних властивостей струменів та дуг, які генеруються в плазмових генераторах (плазмотронах), отриманих з використанням в якості плазмоутворюючого газу, воднево - кисневої суміші виробленої електролізно-водяними генераторами.

Перевагою застосування такої плазмоутворюючої суміші є низька вартість, суміш виробляється безпосередньо на робочому місці, усувається транспортування та балонне господарство, висока температура та ентальпія.

Проведені дослідження на макеті плазмової установки з застосуванням воднево - кисневої суміші для процесів напилення та різання показали, що «воднева» дуга підвищує довжину стовпа дуги, що в свою чергу збільшує довжину плазмового струменя і його активну зону, в якій відбуваються інтенсивне нагрівання та прискорення часток, по відношенню з повітряним плазмовим струменем. Тому «водневий» плазмовий струмінь ефективніше використовувати при напиленні тугоплавких матеріалів. Ефективність для процесів різання «проникаючою» дугою та струменем, показало, що при однакових витратах різних плазмоутворюючих газів і потужності «воднева» плазма сприяє кращому прорізання металу більшої товщини, зменшенню кількості грату. Крім того в плазмових процесах різання сталей, відсутнє підвищення твердості крайок порожнини різу, завдяки відсутності в продуктах плазми CO, CO₂ і N₂.

РОЗРОБКА МОБІЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПЛАЗМОВОЇ ЦЕМЕНТАЦІЇ СТАЛЕВИХ ВИРОБІВ

*В.В. Ступчук, магістр, В.М. Корж, професор, Ю.С. Попіль, доцент
(НТУУ «КПІ», ЗФ)*

Відомо, що сталі з вмістом вуглецю кількістю 0,4 – 0,7% добре гартуються, сталі з меншою кількістю важко піддаються термічній обробці, або взагалі не обробляються.

Плазмові процеси забезпечують високі та ефективні температури для газотермічної обробки, які не можуть бути досягнуті іншими методами нагріву. Склад плазмоутворюючої суміші, впливає на процеси, що відбуваються в плазмовому струмені, і впливають на нагрітий та розплавлений метал. Відомо при використанні повітряної або азотної плазми при нагріві металу спостерігається азотація поверхневих шарів, при добавлянні в повітря пропану або метану, в певному співвідношенні, частина вуглецю дифундує в метал і збільшує твердість, за рахунок утворення карбідів і гартування поверхні.

Останню обставину можна використати за рахунок газифікації різного вугілля в плазмі водяної пари і отриманню газу, який більш ніж на 95% складається з CO і H₂. при цьому К.К.Д. процесу може сягати 80-85 %.

Водо – вугільне паливо можна отримати при використанні бурого вугілля дисперсією 50-70 мкм та води за допомогою ультразвукової кавітації та введенням пластифікатора. Для використання водо-вугільного палива в НТУУ «КПІ» на кафедрі інженерії поверхні була розроблена мобільна плазмова установка, яка складається зі стандартного повітряного плазмотрона з спеціальною насадкою, яка забезпечує мілко-дисперсійне подавання палива в дуговий канал плазмотрону і утворюючи плазмовий струмінь з даними компонентами. В якості джерела живлення використовувались набір інверторних джерел живлення з напругою холостого ходу 240-600 V, які дозволяють жити плазмотрони потужністю від 10 до 100 кВт.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВІБРОПЕРЕМІШУВАЧА ДЛЯ ПЛАКУВАННЯ ПОРОШКІВ У ВАКУУМІ

*В. Ю. Ковальчук, магістр, В.К. Фурман, аспірант, І.В. Смирнов, професор
(НТУУ «КПІ», ЗФ)*

Плакування порошків в вакуумі відноситься до перспективних напрямків отримання композиційних матеріалів зі спеціальними властивостями. Оболонки з високою адгезією до частинки з різних металів, сплавів та хімічних сполук можуть бути отримані методом іонно-плазмового напилення. Такі можливості дозволяють використовувати плаковані порошки в різноманітних цілях: отримання композиційних матеріалів шляхом пресування та спікання, отримання псевдосплавів з підвищеними характеристиками міцності, отримання газотермічних покриттів зі спеціальними властивостями, створення нових каталізаторів та інші. Досить складним та важливим питанням в даній технології є перемішування порошку під час плакування. Для ефективного перемішування порошку доцільно застосовувати вібраційні пристрої. Під дією вібрації порошки можуть переходити в стан віброзжиження, а при більш інтенсивному впливі в стан віброкипіння. Визначення параметрів віброкипіння, які забезпечують оптимальні умови перемішування порошку в вакуумі під час плакування, є досить складною та актуальною задачею.

Мета роботи полягала в розробці та дослідженні віброперемішувача для плакування порошків у вакуумі і визначенні раціональних параметрів вібрації.

Для вирішення даної задачі було сконструйовано та виготовлено пристрій для плакування порошків у вакуумі, який містить горизонтально розташований у вакуумній камері бункер, додатково оснащений електромагнітом для створення амплітуди коливань та усунення областей стоячої хвилі та електронним мультівібратором, для керування імпульсом струму, що подається на електромагніт.

В результаті проведених досліджень були встановлені раціональні режими віброперемішування (частота коливань, амплітуда коливань, форма імпульсу) та їх залежність від насипної кількості порошку у віробункері.

ПІДВИЩЕННЯ АБРАЗИВНОЇ СТІЙКОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ТЕХНІКИ ЛЕГУВАННЯМ ТА МОДИФІКУВАННЯМ ВУГЛЕЦЕВОЮ ПЛАЗМОЮ

М. І. Семенов, аспірант, В.І. Копилов, проф. (НТУУ «КПІ», ЗФ)

Одним з найбільш перспективних матеріалів для зміцнення абразивно-навантажених деталей є металокерамічні тверді сплави (МКТС).

Метою роботи була розробка технології зміцнення робочих органів машин, що експлуатуються в абразивному середовищі, з використанням доступних і порівняно дешевих матеріалів, таких як: оксид алюмінію Al_2O_3 і кремнію SiO_2 , ільменіт $FeTiO_3$ та бура Na_2B_4C . Металева матриця м'якша та еластичніша, ніж надтверді, але крихкі керамічні компоненти, забезпечує високу зносостійкість зміцненої деталі в абразивному середовищі при значних питомих тисках і динамічних навантаженнях.

В основі методу лежить вуглецево-плазмова обробка для активації фізико-хімічних, процесів в розплаві добавки та оплавленої поверхні.

По-перше, відбувається наплавлення високозносостійких металокерамічних композиційних покриттів. Вони містять консолідовані сплави, що представляють собою тверді розчини (карбіди, бориди) і армуючі керамічні надтверді включення з карбіду бору, корунду і карбокорунду (розплавлених Al_2O_3 , SiO_2). По-друге, одночасно з наплавленням має місце легування зміцнюваної поверхні бором і титаном внаслідок дисоціації борвмісних та титановмісних компонентів добавок, а також вуглецем плазми.

Аналіз гетерофазної структури наплавленого металокерамічного покриття дозволяє зробити висновок про те, що з металургійної точки зору воно складається з консолідованих сплавів заліза з вуглецем і бором, та армуючих керамічних фаз, об'єднаних в єдину високотверду структуру.

Проведені дослідження фізико-механічних властивостей дозволяють прогнозувати, що зносостійкість робочих органів машин, зміцнених за пропонованою технологією і експлуатованих в абразивному середовищі, збільшується в середньому в 2,5 – 3 рази.

МЕТАЛУРГІЙНІ І ТЕХНОЛОГІЧНІ ЗАХОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ХОЛОДНОГО ЗВАРЮВАННЯ ЧАВУНУ

А.М. Лотоцький, студ., С.М. Гетманець, доц., (НТУУ «КПІ», ЗФ)

При дуговому зварюванні високий підігрів та уповільнене охолодження чавуну сприяють попередженню утворення тріщин і пористості за рахунок зростання часу існування рідкої зварювальної ванни та кращій її дегазації, а також зменшенню температурного градієнта і термічних напружень в НШЗ.

При ремонтному зварюванні попередній або супутній підігрів у багатьох випадках неможливий внаслідок, головним чином, великих масогабаритних характеристик виробів і необхідності збереження їх форми і розмірів.

При напівгарячому і холодному зварюванні чавуну застосовуються, як показує практика, металургійні і технологічні заходи дії на метал шва і НШЗ з метою підвищення якості зварних ремонтних з'єднань. До їх числа відносяться:

- легування металу шва елементами – графітізаторами, що сприяють виділенню вільного графіту, щоб при даному термічному циклі зварювання і, відповідно, швидкості охолодження отримати в металі шва сірий чавун;

- легування металу шва елементами, які дозволяють отримати в шві перлітно-феритну структуру, характерну для низьковуглецевої сталі, шляхом зв'язування надлишкового вуглецю у карбіди, більш хімічно міцні, ніж цементит, і рівномірно розподілені у металі шва;

- введення у склад зварювальних матеріалів компонентів з великим вмістом кисню з метою максимального окислення вуглецю («випалювання») та отримання в металі шва низьковуглецевої сталі;

- застосування зварювальних матеріалів, які забезпечують у металі шва утворення різних сплавів на основі міді та нікелю – мідно-нікелевих, мідно-залізних, залізо-нікелевих та ін., що мають високу пластичність і температуру плавлення, яка наближається до температури плавлення чавуну.

Аналіз застосування у ремонтному зварюванні чавуну заходів підвищення якості металу шва і НШЗ показує чітку тенденцію зростання використання зварювальних матеріалів на основі мідно – нікелевих сплавів.

НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНЕ ПАЯННЯ – ЗВАРЮВАННЯ ЧАВУНУ

Т.Б. Степанова, студ., С.М. Гетманець, доц. (НТУУ «КПІ», ЗФ)

Низькотемпературне паяння – зварювання чавуну латунними припоями здійснюють при температурі 700...750°C, що виключає небезпеку відбілювання чавуну і зменшує можливість утворення тріщин.

Паяння - зварювання доцільно застосувати при виправленні дефектів на вже оброблених поверхнях, де важливо зберегти первісну форму виробу, неможливо застосовувати попередній підігрів, а також в тонких перерізах, коли необхідно знизити небезпеку виникнення деформації.

У якості припою застосовують кремнієву латунь ЛОК-59-1-0,3, але тимчасовий опір металу шва на розрив дорівнює 230МПа, а твердість 100 НВ. Для паяння - зварювання виробів, до механічних властивостей і зовнішнього виду яких пред'являють підвищені вимоги, використовують припій ЛОМНА-54-1-10-4-02, що містить мідь, олово, марганець, нікель і до 0,6% алюмінію. Метал паянозварного шва має колір сірого чавуну, твердість 180 – 200НВ і тимчасовий опір розриву 280 – 340МПа.

Застосовується поверхнево - активний флюс марки ФПСН-2, у складі якого 50% борної кислоти (H_3BO_3), 25% вуглекислого літію ($LiCO_3$), 25% вуглекислого натрію (Na_2CO_3) та добавка, що вміщує галоїд для видалення в'язкого окису алюмінію, що утворюється в процесі паяння - зварювання.

Флюс наносять на основний метал після попереднього підігріву кромки до температури 300 – 400°C. Флюс плавиться при 650°C, що це служить індикатором початку процесу паяння – зварювання звичайним зварювальним пальником, що працює на ацетилені або газах - заміниках. Полум'я повинно бути нормальним. Кромки підготовлюють механічною обробкою.

Полум'ям гріють кромки розробки. Розплавлений флюс прутком припою рівномірно розподіляють по всій поверхні місця, що зварюється. Потім полум'я направляють на кінець прутка, оплавляють його та по спіралі знизу вверх заповнюють розробку металом припою. Після затвердження металу шва здійснюють його проковку легким молотком.

РЕНОВАЦІЯ ДЕТАЛЕЙ І КОНСТРУКЦІЙ ДУГОВИМ НАПЛАВЛЕННЯМ ПОКРИТИМ ЕЛЕКТРОДОМ

К.В. Іванченко, студ., С.М. Гетманець, доц. (НТУУ «КПІ», ЗФ)

Наплавлення - це нанесення методами плавлення на робочу поверхню виробу шару металу, що має необхідний комплекс властивостей. При цьому бажано, щоб цей комплекс властивостей був отриманий вже в першому шарі необхідної за умовами роботи товщини. Для реновації деталей різноманітних розмірів і конструкцій широко застосовують дугове наплавлення покритим електродом. При призначенні цього методу для реновації виробів необхідно враховувати його зварювально-технологічні властивості.

Ручне дугове наплавлення покритим електродом завдяки простоті, можливості застосування для наплавлення поверхонь різної форми і виконання в усіх просторових положеннях є найбільш поширеним.

Для наплавлення шару товщиною до 1,5 – 2 мм використовують електроди діаметром 3 мм, при більшій товщині шару - 4 – 6 мм. Для забезпечення мінімального проплавлення основного металу при достатній стабільності горіння дуги щільність струму повинна складати 11 – 12 А/мм².

Основні переваги РДЗ покритим електродом – універсальність і технологічність, простота і доступність, можливість отримання у робочому шарі поверхні виробу наплавленого металу практично будь-якої системи легування.

Основними недоліками дугового наплавлення покритим електродом є низька продуктивність 0,8 – 3,0 кг/год., нестабільність якості наплавленого шару та велике проплавлення і, відповідно, доля участі основного металу у наплавленому металі, яка може скласти 20 – 50%.

Максимальна товщина наплавленого шару, виконаного РДЗ покритим електродом складає 5 – 6 мм. За цих умов необхідно, щоб отримання комплексу властивостей, які б були максимально наближені до властивостей електродного металу, можливе лише в 4 – 5-му наплавному валику.

СЕКЦІЯ 4. ОСНОВИ ПЕДАГОГІКИ ВИЩОЇ ШКОЛИ

ОСНОВИ ВИМІРЮВАНЬ І ВИПРОБУВАНЬ В ІНЖЕНЕРІЇ ПОВЕРХНІ

В.Ю. Гонтар, магістр, С.М. Гетманець, доц. (НТУУ «КПІ», ЗФ)

Навчальна дисципліни «Основи вимірювань і випробувань» викладається відповідно до освітньо-професійної підготовки магістрів напрямів підготовки 050504 «Зварювання» для студентів зварювального факультету спеціальності 8.05050403 «Відновлення і підвищення зносостійкості деталей і конструкцій».

Предмет навчальної дисципліни «Основи вимірювань і випробувань» – вивчення сучасних теоретичних основ вимірювань та випробувань в інженерії утворення зносостійких шарів робочих поверхонь деталей і конструкцій.

Метою дисципліни «Основи вимірювань і випробувань» є формування у студентів сучасних уявлень і знань про методологію вимірювань і випробувань, методи планування і математичної обробки результатів експерименту та впливу чинників методів вимірювань і випробувань на точність отриманих даних.

Згідно з вимогами ОПП після засвоєння дисципліни «Основи вимірювань і випробувань» студенти мають продемонструвати такі результати навчання:

- знання теоретичних основ методів вимірювань і випробувань інженерії поверхні, їх можливостей і особливостей практичного застосування;
- уміння практичного застосування в інженерії поверхні обладнання для вимірювань і випробувань, методів і комп'ютерних програм математичної обробки результатів;
- досвід використання отриманих знань для обґрунтованого призначення сучасних методик вимірювань і випробувань для конкретних досліджень з інженерії поверхні.

Викладання навчальної дисципліни «Основи вимірювань і випробувань» передбачає вивчення фізико-хімічних властивостей покриття та вимірювання і випробування механічних властивостей, вимірювання у теплових процесах, металографічні дослідження покриття і техніку фізичного експерименту.

Розподіл навчального часу за видами занять складає: лекцій – 36 год., практичних занять – 9 год., лабораторних - 9 год., СРС – 72 год. Семестрова атестація передбачає виконання розрахунково-графічної роботи і залік.

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

Друга всеукраїнська науково-технічна конференція студентів, аспірантів
та наукових співробітників

«ІНЖЕНЕРІЯ ПОВЕРХНІ. КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД»

28 – 29 травня 2015 року

МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ

(українською мовою)

Матеріали видаються за оригіналами поданими авторами

Комп'ютерна верстка Чорний А.В.

Підписано до друку 26.05.2015. Формат 60x84. Папір офсетний.

Гарнітура Times. Трафаретний друк.

Умов. друк. арк. 0,9. Наклад 20 прим.

Зам. № 189285/298981. Ціна договірна.

Надруковано в ТОВ «Фастпринт»

Типографія оперативного друку «Фастпринт»

01033, м. Київ, вул. Василя Яна 3/5

Тел.: 044 - 503-88-26