



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**

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

**«ІНЖЕНЕРІЯ ПОВЕРХНІ. КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД»**

30 травня 2016 року

Київ 2016



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**

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

**“ІНЖЕНЕРІЯ ПОВЕРХНІ. КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД”**

30 травня 2016 року

Київ 2016

Інженерія поверхні. Комплексний підхід: Матеріали третьої всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів та наукових співробітників: К.: НТУУ “КПІ”, ТОВ “Фастпринт”, 2016. – 32 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;

**Пашенко В.М.**, д.т.н., професор кафедри інженерії поверхні НТУУ “КПІ”;

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

## З М І С Т

<b>СЕКЦІЯ 1. ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ОСНОВИ ІНЖЕНЕРІЇ ПОВЕРХНІ</b> .....	5
<i>Прокопенко Р.В., Копилов В.І.</i> Аналіз структурної чутливості до тріщиностійкості молібденового плазмового покриття.....	5
<i>Степанова Т.Б., Копилов В.І.</i> Аномальні залежності поглинання енергії пружних коливань у зразках з аустенітної сталі.....	7
<i>Ходаковський В.М., Копилов В.І.</i> Зв'язок структури дисперсного плазмового покриття з його електропровідністю і міцністю.....	10
<b>СЕКЦІЯ 2. ФУНКЦІОНАЛЬНІ ПОКРИТТЯ</b> .....	12
<i>Воронежський І.А., Новіков І.С., Степанов Д.В.</i> Вплив наноконпонентів на розподіл неметалевих включень в металі наплавлених валиків.....	12
<i>Воронежський І.А., Гонтар І., Степанов Д.В.</i> Покращення властивостей наплавленого металу наноксидом кремнію та вуглецевим волокном.....	13
<i>Фурман В.К., Чорний А.В., Смирнов І.В.</i> Модифікування плазмових покриттів системи Ni-Cr-B-Si з застосуванням нанопорошків.....	15
<b>СЕКЦІЯ 3 СПОРІДНЕНІ ПРОЦЕСИ В ІНЖЕНЕРІЇ ПОВЕРХНІ</b> .....	17
<i>Гонтар В.</i> Визначення теплового стану частинок у процесах газотермічного нанесення покриттів.....	17
<i>Степанова Т.Б., Гетманець С.М.</i> Особливості реновації зварюванням корпусних деталей і конструкцій.....	19
<i>Крижик О.П., Гетманець С.М.</i> Підвищення ефективності застосування зварювально-реноваційних технологій.....	21
<i>О.С. Пластинін, Гетманець С.М.</i> Підсилення пошкоджень деталей і конструкцій при реновації зварюванням.....	23
<i>Соломаха Б.Д., Степанов Д.В.</i> Комп'ютерне моделювання процесу газотермічного напилення покриттів.....	25
<i>Іванченко К.В., Степанов Д.В., Новіков І.С.</i> Дослідження відсоткового вмісту нановключень залежно від розмірів зварювальної ванни.....	26
<b>СЕКЦІЯ 4. ОСНОВИ ПЕДАГОГІКИ ВИЩОЇ ШКОЛИ</b> .....	28
<i>Воронежський І.А., Гетманець С.М.</i> Розрахунково – графічна робота з дисципліни «Основи вимірювань і випробувань».....	28
<i>Новіков І.С., Гетманець С.М.</i> Методологічні аспекти практики студентів кафедри інженерії поверхні НТУУ «КПІ».....	30

## СЕКЦІЯ 1. ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ОСНОВИ ІНЖЕНЕРІЇ ПОВЕРХНІ

### АНАЛІЗ СТРУКТУРНОЇ ЧУТЛИВОСТІ ДО ТРІЩИНОСТІЙКОСТІ МОЛІБДЕНОВОГО ПЛАЗМОВОГО ПОКРИТТЯ

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

Відомий вплив розміру зерна та деформаційної субструктури на закономірності розповсюдження тріщини. Показано, що аномальний характер залежностей тріщиностійкості від розміру зерна та ступеню пластичної деформації може бути пояснений з урахуванням особливостей взаємодії дислокацій з границею зерна або комірковою структурою, що формується в деформованому стані.

Відомо, що при руйнуванні енергетичні витрати на розповсюдження тріщини в значній мірі зумовлені формуванням пластичної зони. В механічних моделях границя пластичної зони розраховується з урахуванням розподілу напружень біля вершини тріщини. Відстань від вершини тріщини, що відповідає границі зони, визначається, виходячи з умови зменшення напруження з відстанню від вершини до значення границі текучості. Розмір зони знаходять з рівняння

$$K_{1c} = \sigma_T \sqrt{2\pi \cdot r_p}, \quad (1)$$

де  $r_p$  — розмір пластичної зони;  $K_{1c}$  — тріщиностійкість;  $\sigma_T$  — границя текучості.

Така модель дозволяє врахувати фізичні явища, що викликані пластичною деформацією біля вершини та оцінити їх вплив на енергію руйнування та тріщиностійкість.

Згідно з цією моделлю, загальне напруження, що діє на дислокацію, складається з трьох компонентів: відштовхуючого напруження, яке створюється зовнішньою силою, з урахуванням концентрації напружень біля вершини; притягуючого напруження, що створюється силами зображення, розмір яких зменшується з відстанню як  $\sim 1/r$ , та сили тертя решітки, яка визначається напруженням Пайерлса. Методом дислокаційної динаміки вивчено поведінку

дислокаційного ансамблю поблизу вершини тріщини при змінному зовнішньому напруженні для зразків з різним розміром зерна [1].

Результати моделювання взаємодії дислокацій в пластичній зоні з границею зерна дозволили отримати залежність критичного коефіцієнта інтенсивності напруження  $K_{Ic}$  від розміру зерна, яке добре узгоджується з експериментом.

Наявність пластичної зони біля вершини тріщини суттєво змінює розподіл дислокацій в деформованому матеріалі, що докорінним чином впливає на енергетичні витрати при розповсюдженні тріщини в деформованому матеріалі.

В рамках моделі взаємодії тріщини квазісколу із субструктурою проаналізовано особливості впливу субструктури на розподіл напружень, структурні перебудови, енергетичні витрати на переміщення дислокацій поблизу вершини тріщини.

Показано, що характер деформаційної субструктури суттєво впливає на силові та енергетичні параметри руйнування. При цьому впливає не стільки кількість дислокацій у субструктурі, скільки власне їх розташування і властивості.

Встановлено, що наявність непрозорих дислокаційних стінок сприяє різкому збільшенню тріщиностійкості матеріалів з наноструктурою деформаційного походження при їх руйнуванні по механізму квазісколу.

## Література

1. Використання методу дислокаційної динаміки для аналізу структурної чутливості тріщиностійкості ОЦК металів, схильних до квазікрихкого руйнування / М. І. Даниленко, Ю. М. Подрезов, К. М. Борисовська та інші// Электронная микроскопия и прочность материалов. Сер. : Физическое материаловедение, структура и свойства материалов. - 2014.- Вип. 20. - С. 31-42.



# АНОМАЛЬНІ ЗАЛЕЖНОСТІ ПОГЛИНАННЯ ЕНЕРГІЇ ПРУЖНИХ КОЛИВАНЬ У ЗРАЗКАХ З АУСТЕНІТНОЇ СТАЛІ

*Т.Б. Степанова, магістр, В.І. Копилов, професор (НТУУ «КПІ»)*

Актуальною задачею є дослідження ефективності плазмових покриттів, для підвищення демпфуючих властивостей конструкційної сталі з одночасним зміцнюючим ефектом.

Для вирішення подібних питань використовувався метод внутрішнього тертя (ВТ), заснований на вимірі загасання енергії пружних коливань в твердому тілі при різних температурах і деформаціях  $Q^{-1} = f(T, \gamma)$ . Метод ВТ дозволяє отримати інформацію про структурні особливості різних зон впливу в системі «основа-покриття». При вимірах температурної і амплітудної залежностей внутрішнього тертя (ТЗВТ, АЗВТ) використовувалися дротяні зразки із сталі Х18Н9Т діаметром 1 мм і довжиною 100 мм, а також трубчасті зразки (капіляри) із сталі 12Х18Н10Т довжиною 120 мм, зовнішнім діаметром 1,2 мм і внутрішнім діаметром 0,8 мм.

Проведення паралельних досліджень на суцільних циліндрових і порожнистих трубчастих зразках дозволяє диференційовано підійти до питання ефективності впливу поверхневих і об'ємних шарів, тобто дозволяє відповісти на питання, де якнайповніше розвиваються процеси поглинання пружної енергії. Відомим є той факт, що при скручуванні зразків в умовах виміру ВТ, деформації піддаються, в основному, їх зовнішні шари. В цьому випадку маються на увазі - само відносно тонке покриття (50-70 мкм), зони границі покриття з основою, а також поверхневі шари основи. Шляхом досліджень (ВТ) удається отримати порівняльну інформацію про структурні особливості вказаних зон, як циліндричних зразків, так і капілярів. Вивчивши залежності на зразках без покриттів, в подальшому, вибираючи типу часток порошку, варіюючи їх морфологію, розміри, щільність і спосіб введення в кінцевий продукт, можна отримувати захисні покриття багатофункціонального призначення, в тому числі з підвищеними демпфуючими властивостями.

При дослідженні високолегованих аустенітних сталей на кривих ТЗВТ можна отримати декілька аномалій залежно від складу матеріалу і його структурного стану, і в низькотемпературній, і у високотемпературній області спектру.

В результаті вимірів, як на циліндрових, так і на трубчастих зразках із сталей X18H9T і 12X18H12T зафіксовані ефекти, фізична природа яких відома. При нагріванні виникає спектр поглинання пружної енергії із піками - ефектами в районі температур 100-150, 320-390, 600 і 730-750°C.

На сталі X18H9T (циліндр) виявляються деформаційні піки при температурах (23-127 °C) – деформаційні піки Хасигуті, а в області температур (320-410 °C) - піки Фінкельштейна — Розіна (ФР), механізм яких пов'язаний з міграцією атомів впровадження в полі напружень. Відомо, що пік ФР у ряді моментів супроводиться виникненням одного або двох додаткових піків, розташованих по обоє сторони від основного. У нашому випадку при малій частоті коливань 1 Гц температури прояву цих піків нижче в порівнянні з відомими. Пік в районі температур (600-700 °C) пов'язаний із зернограничною релаксацією.

З результатів вимірів на зразках - капілярах із сталі 12X18H10T видно, що загальний фон ВТ істотно нижчий, а температурний спектр поглинання пружної енергії зрушений до нижчих температур в порівнянні із спектром ВТ для сталі X18H9T, особливо в діапазоні 20-400°C. Відповідно змістилися деформаційний пік і піки ФР у бік низьких температур.

В області високих температур на зразках із сталі 12X18H10T у вихідному стані спостерігається ефект поглинання пружної енергії при (677-687 °C). Цей пік відповідає явищу зернограничного ковзання, що характерний для аустенітної сталі. Фазовий ефект в зразках із сталі 12X18H10T також зміщений в порівнянні із сталлю X18H9T, і, тоді природно, що ЗГП виявився слабкіше.

Нанесення покриттів на основі NiAl (в тому числі і в суміші з іншими компонентами) приводить до суттєвих змін АЗВТ і ТЗВТ. Для сталей, як і заліза, з покриттям з NiAl на кривій  $Q^{-1} = f(\gamma)$  (АЗВТ) спостерігаються дві незалежні

ділянки. Цей факт може бути пов'язаний з тим, що нанесення покриття впливає на гальмування рухливих дислокацій, як в основі, так і в покритті, і обумовлює виникнення другої критичної деформації  $\gamma_{кр}''$ , що пов'язана вже з відривом дислокацій від точок закріплення саме в покритті.

У загальному випадку для зразків з покриттями на кривих АЗВТ незалежна частина в дослідженому діапазоні деформацій, як спостерігається, так і не спостерігається. При цьому у всіх випадках спостерігається зсув граничної критичної деформації  $\gamma_{кр}''$  в область з істотно меншими значеннями деформацій. Фон ВТ ( $Q^{-1}$ ) для зразків з покриттями, як для області малих, так і для області великих деформацій, вище за значення ( $Q^{-1}$ ) в порівнянні із зразками без покриттів. Згідно з експериментальними результатами в зразках з покриттями загальна щільність незакріплених дислокацій, як в основі, так і в шарах складного покриття істотно вище, ніж в зразках без покриття, свідомством чому є збільшення нахилу кривих АЗВТ, що характеризує енергію, що розсіюється при русі дислокацій в зоні мікропластичної деформації матеріалу.

Такі результати дають підставу зробити практичний вивід про те, що, оскільки зразки з покриттями мають в порівнянні із зразками без покриттів вище фон ВТ, то вони закономірно мають і підвищені демпфуючі властивості. Така ситуація може служити основою для отримання композиційних матеріалів, які мають високі демпфуючі характеристики.

Отже, за відповідною технологією можна перебудувати дислокаційну структуру поверхневих шарів основи і внести істотні зміни до релаксаційного спектру ВТ, зменшити або повністю подавити зернограничний пік, змінити додаткові ефекти, що типово для багатокомпонентних покриттів. Такі зміни відповідають змінам багатьох фізико-механічних характеристик КМ. В цілому механізм загасання енергії в зразках з покриттями складніший, ніж для основного матеріалу.

## ЗВ'ЯЗОК СТРУКТУРИ ДИСПЕРСНОГО ПЛАЗМОВОГО ПОКРИТТЯ З ЙОГО ЕЛЕКТРОПРОВІДНІСТЮ І МІЦНІСТЮ

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

Покриття, отримані методом плазмового напилення, відрізняються гетерогенною структурою, сформованою із структурних елементів – деформованих частинок, що характеризуються конкретними розмірами і певною мірою зв'язності між собою. Ці особливості структури визначають міру можливості досягнення високих фізико-механічних характеристик покриттів – їхню електропровідність, адгезійну і когезійну міцність.

Якщо розглядати плазмове покриття, як композиційний матеріал у вигляді дисперсного пористого тіла, то теорія механічної міцності встановлює зв'язок структури такого тіла залежно від радіусу частинок  $r$ , діаметру пір  $D$ , з кількістю міжчасткових контактів і з міцністю  $P_m$  у вигляді:

$$P_m = p_1 / 4r^2 n^2 = p_1 / D^2 (\alpha / n)^2 = 10^{10} p_1 (1 / D^2) \beta \quad (1)$$

Згідно з такою моделлю для плазмового покриття у рівнянні (1) параметр  $p_1$  представляється міцністю одиночної плями контакту між розплющеними частинками. Є зв'язок між параметрами пір і частинок, які пов'язані з фактором структури ( $n$ ):  $D = 2r\alpha(n)$ ,  $\alpha = \sqrt{(4n^2 / \pi) - 2n + 1}$ ,  $\beta = (\alpha / n)^2$ . Фактор структури ( $n$ ) визначається через пористість ( $\theta$ ) залежністю  $(1 - \theta) = (\pi / 2n^2)(1 - 2 / 3n) = 1 / 1 + \rho_1 V_n$ , де  $\rho_1$  - щільність твердої фази;  $V_n$  - об'єм пір на одиницю маси.

Важливим є фактор міжчасткових контактів в самому сформованому покритті. В процесі формування багатошарового плазмового покриття міцний зв'язок реалізується не на всій площі фізичного контакту  $f_\phi$  між атомами взаємодіючих деформованих часток, а лише на деякій її частині, що складається з певного числа активних центрів. Згідно аналізу процесів, обумовлених виходом дислокацій на поверхню площею  $f_\phi$ , доля всієї повної поверхні  $f_d / f_\phi = \bar{f}_\phi^d$ , що бере участь у формуванні міцних хімічних зв'язків по механізму пластичної деформації, складе  $\bar{f}_\phi^d = \rho S_d$ . Площа  $S_d$  є площею одиночного активного центру,

на якому формуються міцні хімічні зв'язки. Значення відносної площі контакту або відносної величини міжчастничних контактів можна знайти за допомогою виміру електропровідності покриття. Вважаючи плазмове покриття сукупністю паралельних шарів контактуючих між собою частинок і визначаючи ефективну електропровідність такого тіла як провідність послідовно з'єднаних шарів можна отримати вираз для відносної величини міжчастничних контактів у вигляді -  $\xi = \frac{\lambda_n}{\lambda_0(1-\theta)^{3/2}}$ , де  $\lambda_0, \lambda_n$  – електропровідність суцільного тіла і напиленого покриття.

Тоді, вираз для навантаження, необхідного для руйнування окремої плями контакту з міжфазною тріщиною між частками із значенням енергії  $\gamma_c = \gamma_{mf}$ , має вигляд:

$$p' = 2y\sqrt{2\pi y(1-\nu^2)^{-1} \bar{f}_\phi^d E \gamma_{mf}} = 2y\sqrt{2\pi y(1-\nu^2)^{-1} \bar{f}_\phi^d E_0 \gamma_{mf}} \quad (2)$$

В основу виведення виразу (2) покладено наступне:  $p_1 = 2y\sqrt{2y\sqrt{G_{1c} \cdot E_c}}$ ;  $y$  – радіус плями контакту;  $\nu$  - коефіцієнт Пуассона; зв'язок між інтенсивністю вивільненої енергії системи і вільною енергією -  $G_{1c} = 2\gamma_c$ . Оскільки розглядається суцільне тіло, тобто область міцних зв'язків, які відносяться лише до області активних центрів, то, відповідно, площа взаємодії і значення енергії зменшуватися, і в рівнянні (2) необхідно враховувати, що  $G_{1c} = 2 \cdot \bar{f}_\phi^d \cdot \gamma_c$ . Згідно з експериментальними і розрахунковими даними відносна площа контакту, по якій формуються міцні хімічні зв'язки, складає  $\xi = \bar{f}_\phi^d = 0,1-0,6$  в залежності від компонентів системи.

На основі розрахунків спостерігається кореляція між питомим електроопором покриття  $\rho_{\Pi}$  і його когезійною міцністю та пористістю покриття. В кожному конкретному випадку в залежності від властивостей покриттів і основного матеріалу, а також за умови напилення, в окремих випадках утворення фаз конкретний питомий опір може збільшуватись (система *Fe-Mo*) або зменшуватись (*Fe-Ni*). Відносна похибка експерименту при визначенні електроопору склала 2,8%.

## СЕКЦІЯ 2. ФУНКЦІОНАЛЬНІ ПОКРИТТЯ

### ВПЛИВ НАНОКОМПОНЕНТІВ НА РОЗПОДІЛ НЕМЕТАЛЕВИХ ВКЛЮЧЕНЬ В МЕТАЛІ НАПЛАВЛЕНИХ ВАЛИКІВ

*І.А. Воронежський, магістрант, І.С. Новіков, студент, Д.В. Степанов,  
асистент (НТУУ, «КПІ», ЗФ)*

Дослідженнями встановлено, що структуру елементів, які формують будову залізовуглецевих сплавів (сталь, чавун) є нанорозмірні виділення.

Мета роботи полягала в дослідженні розмірів та об'ємної частки неметалевих включень, та впливу їх на властивості металу наплавленого валику.

Аналіз хімічного складу ділянок наплавленого металу свідчить про те, що в валиках без додавання наноконпонентів об'ємна частка неметалевих включень становить 0,31% і відповідає, в основному, розмірному діапазону 0,07-0,85 мкм, з яких від 6 до 13% знаходяться у діапазоні 0,13-0,61 мкм.

У металі валика з сумішшю Fe+SiO<sub>2</sub> об'ємна частка включень становить 0,32% , але відповідає, в основному, розмірному діапазону 0,07-0,73 мкм, з яких від 6 до 16% знаходяться у діапазоні 0,07-0,55 мкм.

Об'ємна частка включень суттєво збільшується при застосуванні тільки нано порошку діоксиду кремнію і становить у металі валику 0,56%, з яких від 4 до 10% приходить на розмірний діапазон 0,07-0,61 мкм.

Наплавлені валики з вуглевмісним матеріалом характеризуються об'ємною часткою включень 0,28% і 0,31 і основна їх частка від 4 до 8% знаходиться у розмірному діапазоні 0,07-0,75 мкм.

Порівняльний аналіз даних вказує на збільшення об'ємної частки включень при наявності діоксиду кремнію і на значно менший їх розмірний діапазон порівняно з металом вихідного валику.

Проведені дослідження показали, що введення у зварювальну ванну наноконпонентів призводить до позитивних змін в структурі наплавленого металу з точки зору формування в'язких морфологічних форм фериту завдяки значній присутності включень у розмірному діапазоні до 0,3 мкм.

# ПОКРАЩЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАПЛАВЛЕНОГО МЕТАЛУ НАНООКСИДОМ КРЕМНІЮ ТА ВУГЛЕЦЕВИМ ВОЛОКНОМ

*І.А. Воронежський, магістрант, І. Гонтар, студент, Д.В. Степанов, асистент  
(НТУУ «КПІ», ЗФ)*

Властивості наплавлених валиків зазвичай залежать від структури наплавленого металу.

В роботі [1] встановлено, що додавання наноконпонентів у зварювальну ванну сприяє покращенню властивостей наплавлених валиків та змінює їх структуру. Однак досвід застосування наноконпонентів в наплавленні ще досить малий, тому актуальність цієї теми залишається.

Мета роботи полягала в розробці технологічних рішень, які б забезпечили покращення функціональних властивостей наплавлених валиків за рахунок впливу наноконпонентів на умови формування структури металу.

Дослідження проводили при наплавленні дротами система легування яких відповідає сталям 25ХГ2С, 40Х13 та 30ХГСА, так як самі цей наплавочні матеріали є досить поширеними та рекомендованими для відновлення низьколегованих сталей, що працюють в умовах тертя металу по металу.

Внесення наноконпонентів відбувалося за декількома схемами. За першою схемою приготівані в заданих об'ємних співвідношеннях суміші після їх обробки в планетарному млині, або нанопорошок, щоб уникнути розсіювання попередньо змішували з ґрунтовкою ГФ-021 або силікатним клеєм і наносили тонким шаром по ширині валика на довжину наплавлення. Суміш ґрунтовки була різної консистенції – рідка та густа. Для реалізації такої схеми брали певну кількість ґрунтовки та розраховану об'ємну концентрацію наноконпонентів ( $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$  та  $SiO_2$ ), ретельно змішували та обережно шпателем наносили на поверхню наплавлення на ширину валика. За першою схемою вводили, як наноконпоненти, так і вуглецеве волокно. За другою схемою приготівані в заданих об'ємних співвідношеннях суміші після їх обробки в планетарному млині, або нанопорошок, щоб уникнути розсіювання наносили на поверхню наплавлення та

покривали шаром флюсу АН-60. За другою схемою вводили, як наноксиди, так і вуглецеве волокно.

Випробування на сухе тертя проводилося на установці СМЦ-2 за схемою вал-колодка. Для умов сухого тертя металу по металу випробування проводили за схемою диск-колодка. В якості контртіла використовували диск 50мм зі сталі У8 твердістю НВ 400-450. Умови випробувань: тиск на зразок  $P = 0.1$  МПа; швидкість тертя  $V = 0.8$  м/с; температура випробувань  $T = 200$  °С; тривалість випробувань - 2.5 години з вимірами через кожні 30 хв.

Заміри мас показали, що втрата маси зразків наплавлених за першою схемою зменшуються в 3,3 рази. Втрата маси зразка наплавленого за другою схемою зменшуються в 1,5-8,5 раз, в залежності від концентрації та типу нанокompоненту.

Встановлено діапазони оптимального вмісту нанокompонентів у наплавленому металі. Для високолегованого металу (40Х13), що працює в умовах тертя металу по металу – 0.04%  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$  та  $SiO_2$ . Для середньолегованого металу відкритою дугою (25ХГ2С) – 0.35%  $Al_2O_3$ , 0.3%  $TiO_2$  та 0.125%  $SiO_2$ . Для середньолегованого металу під шаром флюсу (30ХГСА) – 0.04%  $SiO_2$  в суміші з залізним порошком, 0.07%  $SiO_2$  без суміші та 1% вуглецевмісного волокна.

Висновки: Показано, що введення нанокompонентів в зварювальну ванну підвищує його зносостійкість. Розроблено дві схеми введення нанокompонентів до зварювальної ванни. Знайдено оптимальний вміст нанокompонентів у ванній.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Вплив модифікування наночастинками оксидів на структуроутворення зварних швів низьколегованих сталей/ В.Д. Кузнецов, І.В. Смирнов, Д.В. Степанов, К.П. Шаповалов //Наукові нотатки. Міжвузівський збірник (за галузями знань «Машинобудування та металообробка», «Інженерна механіка», «Металургія та матеріалознавство»). – 2013.- №41 ч. 2 – с. 61-68.



## МОДИФІКУВАННЯ ПЛАЗМОВИХ ПОКРИТТІВ

### СИСТЕМИ Ni-Cr-B-Si З ЗАСТОСУВАННЯМ НАНОПОРОШКІВ

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

Останнім часом, в різних галузях промисловості спостерігається бурхливий розвиток технологій, пов'язаних з нанесенням різних за функціональним призначенням покриттів на робочі поверхні деталей машин, які працюють в екстремальних умовах. Внаслідок важких режимів навантаження, впливу високих температур та агресивних середовищ, деталі механізмів часто виходять з ладу через знос або значні пошкодження робочих поверхонь. Тому виникає нагальна потреба у підвищенні якості їх поверхневих шарів. Серед відомих методів нанесення зносостійких покриттів найбільшого поширення в промисловості отримав процес плазмового напилення, який дозволяє з високою ефективністю підвищувати надійність деталей машин в цілому і їх довговічність, зокрема. Він широко застосовується при зміцненні робочих органів найрізноманітнішого за призначенням технологічного обладнання: ґрунтообробних машин, екструдерів, будівельної, дорожньої, металообробної, бурової та іншої техніки.

Одним з ефективних способів підвищення експлуатаційних властивостей напилених покриттів вважається введення в матрицю добавок нанопорошків оксидів, карбідів та нітридів металів. Оксид алюмінію є одним з перспективних керамічних матеріалів для широкого спектра властивостей, таких як, зносо- та корозійна стійкість, низький коефіцієнт тертя, стійкість до термоциклювання.

Мета даної роботи полягала в встановленні модифікуючої дії нанодисперсних частинок оксиду алюмінію  $Al_2O_3$  на зносо-, термо- та корозійностійкі властивості плазмових покриттів на основі самофлюсівного порошку ПГ-СР2.

У якості наноконпонентів застосовували порошок оксиду алюмінію  $Al_2O_3$  фракцією 50-60 нм, який вводився у концентраціях від 0,2 об.% до 5 об.%. Отримання гомогенної порошкової суміші з мікрочастинок самофлюсівного порошку ПГ-СР2 та наночастинок оксиду алюмінію здійснювали за допомогою

механохімічної обробки у планетарному млині XQM-2 з додатковим вакуумуванням робочих ємностей.

Покриття напилювали спеціальним плазмотроном з частково винесеною дугою в режимі генерації плазмового струменя близького до ламінарного. Робочий струм встановлювався в межах 80-100 А, напруга на дузі 35-45 В, витрати плазмоутворюючого та захисного газу 4-5 л/хв. Після напилення покриття оплавляли в муфельній печі при температурі  $1050 \pm 20$  °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 плаского контртіла із загартованої сталі з навантаженням 3 кг. Стійкість до термоциклування проводили шляхом нагріву зразків на протязі 3 хв. в муфельній печі при температурі  $850 \pm 20$  °С, та різкого охолодження у воді.

Визначення корозійної стійкості проводилось методом поляризаційного опору в 5%-му розчині  $H_2SO_4$ , при збільшенні вмісту  $Al_2O_3$ . Метод вимірювання поляризаційного опору базується на миттєвому визначенні значення швидкості корозії металу в досліджуваному середовищі. Суть методу базується на вимірюванні зміни поляризаційного струму між двома електродами на приладі P5126.

Результати проведених випробувань на стійкість до термоциклування показали, що всі покриття витримали 50 термоциклів без відшарування. При цьому, покриття без домішок нанопорошку, вже після перших 15 циклів мали потемніння, а після 50 циклів сильно окиснену і пошкоджену поверхню.

З аналізу отриманих даних встановлено, що при введенні нанопорошку оксиду алюмінію в кількості 1,0 об.% в плазмові покриття дозволило зменшити коефіцієнт тертя на 38% і збільшити зносостійкість покриттів в 2-3 рази. Результати випробувань в агресивному середовищі показали зростання корозійної стійкості в порівнянні з чистим  $Al_2O_3$ , приблизно в 1,5-2,5 рази. Збільшення нанопорошку до 5 об.% призводить до появи в покритті мікротріщин в результаті чого погіршується корозійна та зносостійкість.

## СЕКЦІЯ 3 СПОРІДНЕНІ ПРОЦЕСИ В ІНЖЕНЕРІЇ ПОВЕРХНІ

### ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛООВОГО СТАНУ ЧАСТИНОК У ПРОЦЕСАХ ГАЗОТЕРМІЧНОГО НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТІВ

*В. Гонтар, магістрант (НТУУ «КПІ»)*

Ефективність обробки дисперсних матеріалів у процесах інженерії поверхні залежить від повноти передавання тепла від джерела нагрівання до об'єкту обробки. У загальному випадку, частинки порошку сприймають не більше кількох відсотків загальної енергії робочого тіла. Вся інша енергії втрачається. Враховуючи значну загальну потужність пристроїв, які використовуються в процесах інженерії поверхні і, зокрема, в технологіях нанесення покриттів, задача підвищення ефективності передавання енергії є актуальною.

Практичне вирішення згаданої задачі потребує розробки простих і надійних методів визначення теплового стану всього комплексу частинок в газопорошковому потоці.

Нами вдосконалена методика калориметрування газопорошкового потоку із наступним визначення середньомасової температури частинок.

На рис. 1 показана принципова схема запропонованого методу.

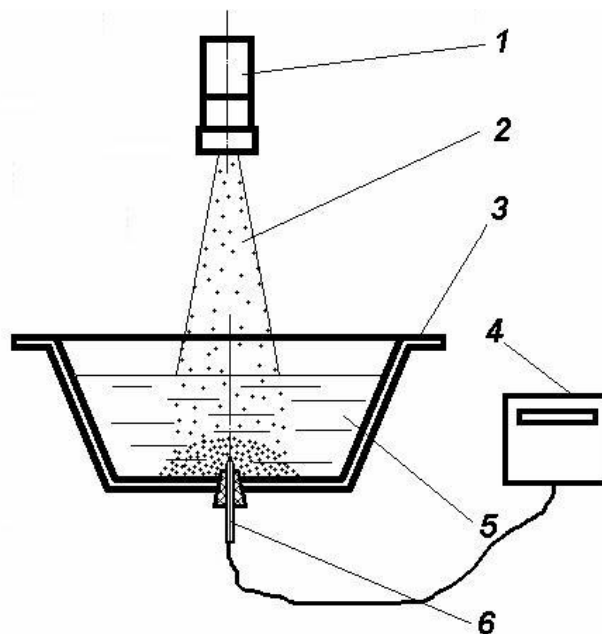


Рисунок 1. Схема вимірювання середньомасової температури частинок

Калориметр представляє собою теплоізольовану ємність 3, яка заповнена рідиною із відомою теплоємністю (у найпростішому випадку дистильованою водою). Розпилювач 1 встановлюється, зазвичай, відносно поверхні рідини у калориметрі на відстані, близькій за величиною до дистанції напилена. Газопорошковий потік 2, що генерується розпилювачем 1, напрямляється у бік калориметра 3. Частинки матеріалу, охолоджуючись у ході потрапляння у ємність із водою, віддають своє тепло рідині 5, підвищуючи її вихідну температуру.

Температура води  $T_2$  (температура охолоджених частинок) вимірюється термометром опору 6 і фіксується вторинним приладом 4.

Тепловий баланс процесу приймання та охолодження частинок оброблюваного матеріалу калориметром можна представити наступним чином:

$$m_B c_B T_{1B} + m_K c_{MK} T_{1B} + m_{II} c_{II} T_{II} + q_c = m_B c_B T_2 + m_{II} c_{II} T_2 + m_K c_{MK} T_2 - Q_{втр} \cdot (1)$$

При відомій масі зібраного у калориметрі дисперсного матеріалу  $m_{II}$  та води  $m_B$ , а також вихідній  $T_{1B}$  і кінцевій максимальній температурі води  $T_2$ , можна розрахувати (при відомих теплоємностях згаданих речовин  $c_{II}, c_B$ ) кількість тепла, сприйнятого частинками при їх нагріванні у високотемпературному газовому потоці  $q_{II}$  і середню вихідну температуру частинок у момент часу, який передує їх взаємодії з основою  $T_{II}$ :

$$q_{II} = m_{II} c_{II} T_{II} = m_B c_B (T_2 - T_{1B}) + m_{II} c_{II} T_2 + m_K c_{MK} (T_2 - T_{1B}) - Q_{втр} - q_c, \quad (2)$$

$$T_{II} = \frac{m_B c_B (T_2 - T_{1B}) + m_{II} c_{II} T_2 + m_K c_{MK} (T_2 - T_{1B}) - Q_{втр} - q_c}{m_{II} c_{II}}. \quad (3)$$

У загальному тепловому балансі процесу не враховується тепло, запасене у порошок при кімнатній температурі в момент подавання його у дозуючий пристрій, а також втрати тепла у навколишнє середовище через поверхню води у калориметрі. Кількість тепла, яке передається рідині калориметра від струменя  $q_c$ , визначається експериментально і враховується у загальному тепловому балансі.

## ОСОБЛИВОСТІ РЕНОВАЦІЇ ЗВАРЮВАННЯМ КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ І КОНСТРУКЦІЙ

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

Значний обсяг ремонту зварюванням припадає на відновлення цілісності і працездатності корпусних деталей і конструкцій, виготовлених методами лиття з сталей з підвищеним вмістом вуглецю (більше 0,25%).

Руїнування металу виникає в результаті злиття мікро- і макропустот під дією багатократних статичних і динамічних навантажень. Складність реновації полягає в необхідності зварювати метал, який за час експлуатації змінив свої властивості і накопичив як видимі так і мікропошкодження.

Підвищений вміст вуглецю в товстолистових сталях 25Л і 35Л передбачає значні складності при зварюванні. По-перше, метал шва має пониженою стійкість проти утворення кристалізаційних тріщин. Високі швидкості охолодження, що відповідають термічному циклу зварювання, по-друге, створюють можливість утворення гартувальних структур і, відповідно, холодних тріщин у металі НШЗ.

Для усунення негативного впливу цих чинників знижують вміст вуглецю і долю участі основного металу у шві. Ефективним заходом підвищення опору металу тріщино утворенню є попередній підігрів до температур 200-300°C. Однак, складна конфігурація конструкції великої товщини (більше 160мм) та обмежений доступ до окремих місць пошкодження у багатьох випадках робить попередній підігрів неможливим.

При реновації деталей і конструкцій з сталі 25Л і 35Л найбільш поширене дугове зварювання покритими електродами, вибір яких здійснюють виходячи з вимог рівномірності зварного з'єднання, мінімального вмісту водню у металі шва і зниження температури попереднього підігріву. Для зварювання деталей і конструкцій з сталі 25Л і 35Л найкращими є електроди з основним покриттям типу Э-50, наприклад, УОНИ 13/55 або FOX EV 50 діаметром 3,0 і 4,0мм.

При реновації зварюванням корпусних деталей і конструкцій з сталі 25Л і 35Л високий рівень залишкових зварювальних напружень є однією з основних

причин їх руйнування як при зварюванні так і по його завершенню.

Рівень зварювальних напружень знижують комплексно за рахунок вибору оптимальних режимів і техніки зварювання та додаткової обробки зварних з'єднань як при їх виконанні так і після завершення зварювальних робіт.

Досвід дугового зварювання конструкційних сталей свідчить, що залежно від складу і товщини металу, температури попереднього підігріву і форми розробки кромки погонна енергія може змінюватися в межах 6-20 кДж/см.

Основними критеріями обрання оптимальних режимів зварювання є тривалість перебування металу ЗТВ вище точки  $A_{C3}$  і швидкість її охолодження в інтервалі температур структурних перетворень. Підвищення тепловкладення може приводити до значного зростання розтягуючих залишкових напружень як вздовж, так і поперек осі шва. При зварюванні корпусних деталей і конструкцій з сталі 25Л і 35Л тепловкладення обмежують на рівні 9-12 кДж/см.

Ударна обробка зварних з'єднань широко застосовується для зниження залишкових напружень. Однак, ефективність його застосування визначається температурою металу, швидкістю деформування, частотою ударів, ін. Найбільш ефективною є ударна обробка металу шва і навколошовної зони у діапазоні швидкостей 60-100 м/с, для чого використовують спеціальні пристрої, що можуть забезпечити зазначені швидкості удару.

Ударну обробку при реновації зварюванням здійснюють за допомогою пошарової проковки шва. При цьому обробку розпочинають не раніше, ніж буде виконаний третій шар шва. Ударна обробка кореневого валика з'єднання не припустима тому, що може привести до утворення в ньому мікротріщин. Проковку здійснюють механізованим інструментом з діаметром бійка 3-4 мм.

При ударній обробці зварних з'єднань при реновації корпусних деталей і конструкцій з сталі 25Л і 35Л дозволяє знизити загальний рівень поперечних деформацій на 25-30%, а рівень кутових деформацій – на 45-50%. Загальний рівень залишкових зварювальних напружень у з'єднанні також знижується на 20-22%. При цьому зниження рівня залишкових напружень у металі шва може досягати 40%, а в металі зони термічного впливу – 25-27%.

## **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ЗВАРЮВАЛЬНО-РЕНОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

*О.П. Крижик, студ., С.М. Гетманець, доц. (НТУУ «КПІ»)*

Кожна деталь і конструкція потребують застосування з урахуванням характеру пошкодження окремої технології реновації зварюванням. Разом з тим, при розробці раціональної зварювально-реноваційної технології необхідно враховувати загальні рекомендації конструктивно-технологічного характеру.

До початку робіт з розробки технології реновації необхідно провести детальний аналіз стану деталей і конструкцій, що вийшли з ладу, для оцінки характеру пошкодження і визначення причин, які викликали від у роботі виробу або зниження його експлуатаційної надійності.

Реноваційне зварювання і наплавлення повинні передбачати усунення усіх причин, що привели до ушкодження або виходу з ладу деталі або елементів конструкції. У іншому випадку дуже імовірні повторення пошкоджень виробу. В окремих випадках термін служби виробів після реновації і усунення усіх причини пошкодження може бути подовжений у два – три рази.

Спосіб зварювання і наплавлення при реновації необхідно призначати з обов'язковим урахуванням фізико-механічних властивостей і особливостей та нормативних вимог до зварювання основного металу, маси і габаритів виробу, виду і розмірів пошкоджень.

Способи реновації зварюванням, форму та розміри розробки кромки необхідно призначати, виходячи з вимоги мінімізації тепловкладення і кількості наплавленого металу. Зварювання проводять на оптимальних режимах, що дозволяють отримати необхідну структуру і властивості металу шва та зони термічного впливу. Техніка зварювання повинна забезпечувати мінімальні або нормовані залишкові зварювальні напруження і деформації.

При реновації зношених робочих поверхонь виробів зносостійким наплавленням слід при технічній можливості надавати перевагу способам, які забезпечують мінімальне проплавлення і, відповідно, долю участі основного металу у наплавному шарі.

У випадку пошкоджень у вигляді магістральних тріщин або руйнувань від втоми, корозії, повзучості та інших причин обов'язковою умовою є отримання рівномісних зварних з'єднань і наскрізного провару тріщин, що досягають призначенням відповідних зварювальних матеріалів і режиму зварювання.

При виборі реновації наплавлення робочих поверхонь, пошкодженнях від абразивного зношення, стирання, тертя, кочення, ерозії, корозії необхідно призначати наплавочні матеріали, що забезпечують максимальне підвищення зносостійкості металу наплавленого шару.

При утворенні тріщин у металі зварного шва та наплавленого шару ділянки пошкодженого металу потребують повного видалення до основного металу з отриманням розробки оптимальної форми і розмірів. При великих обсягах робіт з видалення пошкодженого металу застосовують газотермічні методи, після якої виконують обов'язково зачистку абразивним інструментом поверхневого шару металу на глибину не менше 1-1,5 мм.

Зварювальні і наплавочні операції необхідно, по можливості, проводити з попереднім і супутнім підігрівом при реновації сталевих і чавунних виробів, крім деталей і конструкцій з аустенітних сталей, з проковкою шарів та валиків і термічною обробкою після зварювання. Інколи необхідна попередня термічна обробка для зниження накопичених експлуатаційних напружень втоми до проведення реноваційного зварювання і наплавлення.

Усунення пошкоджень, що виникли внаслідок конструкційних недоліків, необхідно виконувати наплавленням на робочій поверхні зносостійкого підсилюючого шару металу, приварюванням підсилюючих елементів і/або вварюванням вставок із збільшеною товщиною стінки, а також аргонодуговою та механічною обробкою абразивним інструментом місць різких переходів перерізів від великої товщини стінки до малої до отримання необхідних радіусів закруглень на гателі та ін.

Оптимальна реноваційна технологія забезпечує відновлення деталей і конструкцій зварюванням і наплавленням з високою якістю, у нетривалі строки, без значних матеріальних і фінансових витрат.



## **ПІДСИЛЕННЯ ПОШКОДЖЕНЬ ДЕТАЛЕЙ І КОНСТРУКЦІЙ ПРИ РЕНОВАЦІЇ ЗВАРЮВАННЯМ**

*О.С. Пластинін, студ., С.М. Гетманець, доц. (НТУУ «КПІ»)*

При зварюванні тріщин з повним проваром і формою шва, що відповідає вимогам стандартів, у місці пошкодження по суті відновлюється конструктивна міцність. Ремонтне зварювання тріщин у такий спосіб достатнє для відновлення і подальшої нормальної експлуатації деталі або конструкції.

При ремонті зварюванням пошкоджень, які виникли внаслідок втоми або недостатньої первісної міцності конструкції виробу для подальшої експлуатації без відмов крім зварювання тріщин ремонтне з'єднання або уся конструкція підлягають обов'язковому підсиленню. Тріщини при відсутності наскрізного провару в зварному з'єднанні також необхідно підсилювати.

Підсилення умовно розділяють на технологічне і конструктивне. До першого відносять аргонодугове оплавлення для утворення плавного переходу шва до поверхні основного металу, поверхнєве пластичне деформування шва та інші методи, які забезпечують підвищення опору крихкому руйнуванню і втомі.

Конструктивне підсилення здійснюється шляхом зміни конструкції і розмірів виробу за допомогою накладок, ребер жорсткості, косинок, інших конструктивних елементів різноманітної форми і різної товщини. У деяких випадках конструктивно підсилюють місця імовірного утворення тріщин, які визначені практикою експлуатації деталі конструкції.

Підсилююча накладки перекриває зварену тріщину і приварюється до несучого елемента конструкції. Лобові і косі кутові шви, якими приварюється накладка, та метал ЗТВ піддають проковці для підвищення опору втомі.

Конструктивне підсилення повинно мати форму і розміри, що виключає зосередження декілька швів на обмеженій площі. Проміжок основного металу між лобовими і косими кутовими швами бути не менше 50 мм. При меншому значенні спостерігається зниження опору втомі з'єднання. Підсилення слід приварювати по всьому контуру. Виконання тільки флангових (повздовжніх) швів неприпустимо тому, що також викликає зниження опору втомі з'єднання.

Для підвищення опору втомі кутові шви повинні мати ввігнуту форму поверхні з плавним переходом до основному металу. Лобові і косі кутові шви слід виконувати з відношенням більшого катета до меншого 1,5-2. Більший катет повинен бути направлений вздовж зусилля, яке сприймається швом.

Надання кутовим швам ввігнутого профілю та плавного переходу до основному металу виконують вибором режиму зварювання і розташуванням зварного з'єднання. При необхідності застосовують механічну обробку швів або аргонодугове оплавлення.

Накладки виготовляють з того ж металу, що і деталь або та конструкцій, які підсилюють. Операції згинання здійснюють при температурі 900-1100°C. Підготовка кромки підсилення виконують механічним способом і термічним різанням. Нерівності різа не повинні перевищувати 1 мм. виправлення кромки шляхом підварювання не допускається. Прилеглий до кромки метал шириною 20-25мм зачищають до металевих блиску.

Прилягання підсилюючої накладки до основного металу повинно бути щільним. Можливі лише місцеві зазори, величина яких не більше 1-1,5 мм. Це вимагає застосування складально-зварювальних пристосувань. Встановлене за допомогою пристосування підсилення фіксують прихватками, розмір яких не більше 1/3 перерізу шва для забезпечення їх повного переплавлення.

Для мінімізації рівня залишкових зварювальних напружень і деформацій при приварюванні підсилення дотримуються наступної послідовності дій. Спочатку зварюють у максимально вільному стані лобових, а потім і інших стикових швів. Після цього приварюють кутовими швами накладку підсилення. Спочатку виконують лобові, потім косі і повздовжні кутові шви.

Техніку виконання кожного шва – безперервне зварювання всього шва, зварювання гіркою, зворотньо-поступове зварювання та ін., обирають виходячи також з вимоги мінімізації рівня напружень і залишкових деформацій.

При розмірах підсилюючої накладки більше 300x200 мм для забезпечення щільного прилягання виконують додаткові з'єднання електрозаклепками, які розташовують рівномірно по площі накладки з кроком 100-150мм.

## **КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ГАЗОТЕРМІЧНОГО НАПИЛЕННЯ ПОКРИТТІВ**

*Б.Д. Соломаха, магістрант, Д.В. Степанов, асистент (НТУУ "КПІ", ЗФ)*

Газотермічне напилення – процес одержання покриття із нагрітих та прискорених частинок напилюваного матеріалу із використанням високотемпературного газового струменя. При напиленні важливою і суттєвою деформація частинок, для процесу напилення, оскільки від їх зіткнення з поверхнею залежить на сам перед міцність зчеплення покриття з основою та його якість. Дослідження особливостей деформації частинок на основі проводять шляхом комп'ютерного-моделювання.

Існує багато різних програм комп'ютерного-моделювання: ANSYS, ASAP, FEMM та інші. Комп'ютерне-моделювання виконувалося в програмі Ansys 16. Пакет ANSYS дозволяє вирішувати широке коло задач в міцності, тепла, гідрогазодинаміки, електромагнетизму, а також міждисциплінарного аналізу, що об'єднує всі чотири області. Дозволяє оптимізувати конструкції на основі всіх перерахованих типів аналізу. Дозволяє обмінюватись розрахунковими моделями та також забезпечує двосторонній зв'язок з багатьма CAD пакетами.

Під час комп'ютерного-моделювання основною задачею було подивитися на отриманий результат після задання всіх параметрів. Вихідні дані: діаметр частинки на 50мм, швидкість падіння 120 м/с. Матеріал частинки Ni, а температура була сталою 1600 °С. Після встановлення всіх параметрів провівся сам процес в якому частинка після зіткнення змінила свою фізичну форму з кульки на ламель. В кінцевому результаті діаметр частинки збільшився після зіткнення з поверхнею тим самим деформувалася.

Таким чином, було виявлено, що після змін параметрів частинки яка вдаряється на поверхню виробу змінює свою форму. Що дає змогу контролювати результати процесу.

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ВІДСОТКОВОГО ВМІСТУ НАНОВКЛЮЧЕНЬ ЗАЛЕЖНО ВІД РОЗМІРІВ ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ВАННИ**

*К.В. Іванченко, магістрант, Д.В. Степанов, асистент, І.С. Новіков, студент  
(НТУУ «КПІ»ЗФ)*

За останні роки поширені дослідження в напрямку застосування наноматеріалів при зварюванні. Певний досвід накопичено при зварюванні низьколегованих сталей з введенням у зварювальну ванну наноксидів.

Аналіз досліджень і публікацій цього періоду показує, що одним з основних структурних елементів формуючих будову залізобуглецевих сплавів є нанорозмірні складові, введення яких в незначних кількостях дозволяє істотно впливати на структуроутворення і механічні властивості металу шва.

Експериментально встановлено вплив розміру неметалічних включень на гетерогенне зародження структури голчастого фериту, здатної забезпечити міцнісні характеристики металу швів з високим рівнем в'язкості. Тьюліс Г. зробив висновок, що в металі швів з підвищеним вмістом титану і бору утворення оксидів і нітридів титану сприяє зародженню голчастого фериту.

Таким чином, для формування дрібнодисперсної мікроструктури зварних швів з підвищеними фізико-механічними характеристиками необхідно забезпечити утворення в металі включень прогнозованих по об'ємній частці, складу і розмірам.

На кафедрі Інженерії поверхні проводяться дослідження впливу наноксидів на структуру та властивості металу швів. Розроблений спосіб введення наноксидів в зварювальну ванну, який передбачає закладання в підготовлені крайки основного металу лігатури певної довжини і діаметру, виготовленої методами порошкової металургії. Досліджувані наноконпоненти не проходили через зварювальну дугу. Перед спіканням суміш порошку заліза (40 мкм) і наноксиду алюмінію або титану (60 нм) у заданому співвідношенні піддавалась механохімічній обробці в спеціальному високоенергетичному планетарному млині для однорідності.

Для проведення досліджень використовували наступні матеріали: низьколеговану сталь 09Г2С; зварювальний дріт Св-10ХГН2СМФТЮ діаметром 1,2 мм. Базова система легування даного дроту (Мо, Ni, Cr) сприяє підвищенню стійкості аустеніту і розширенню температурного інтервалу формування бейніту, при цьому в структурі металу шва змін основних легуючих елементів по хімічному складу суттєво не відбувається. В якості захисного газу застосовувалася суміш 72% Ar + 28% CO<sub>2</sub>.

Дослідження показали, що при об'ємній частці наноксидів від 0,5 до 4,5 % сприятливі структурні зміни в більшій мірі проявляються при введенні в зварювальну ванну 0,5 об.% наноксидів. Ці дані отримані для конкретних умов зварювання на режимі: зварювальний струм I=180А, напруга дуги U=28В, швидкість зварювання V<sub>зв</sub>=12,5м/год. У процесі зварювання заданий відсоток наноксидів у лігатурі залежно від об'єму ванни може потрапляти у метал шва вже в іншому відсотковому співвідношенні В зв'язку з цим актуальним є визначення об'ємної частки наноксидів при зміні режимів зварювання.

Для вирішення цієї задачі необхідно провести розрахунки погонних енергій зварювання та розрахунки як об'ємів розплавленої ванни, так і лігатури. Теоретичне визначення розмірів ванни виконується за двома схемами розрахунків.

Перша схема розрахунків. Об'єм і форма зони проплавлення є найважливішими характеристиками зварного з'єднання. Вони впливають на продуктивність зварного процесу, на склад металу шва, на первинну структуру і, отже, на міцність зварного шва.

Розрахункова оцінка об'єму і форми зони проплавлення – це складне завдання, аналітичне рішення якого в даний час поки не знайдено. Однак у цій області виконано багато досліджень, що дозволяють в деякій мірі висвітлити дане питання.

Друга схема розрахунків. В цьому випадку використовується типова схема розрахунків «Потужне швидкодіюче точкове джерело тепла на поверхні напівобмеженого тіла з адіабатичною границею» (ПШТД).

## СЕКЦІЯ 4. ОСНОВИ ПЕДАГОГІКИ ВИЩОЇ ШКОЛИ

### РОЗРАХУНКОВО –ГРАФІЧНА РОБОТА З ДИСЦИПЛІНИ

#### «ОСНОВИ ВИМІРЮВАНЬ І ВИПРОБУВАНЬ»

*І.А. Воронезський , маг., С.М. Гетманець, доц. (НТУУ «КПІ»)*

Розрахунково-графічна робота з дисципліни «Основи вимірювань і випробувань» спрямована на поглиблення та закріплення сучасних уявлень і знань про методологію вимірювань і обробки отриманих результатів, вплив основних чинників методу вимірювання на точність та набуття навичок їх практичного використання для рішення конкретних завдань.

Процес вимірювання у науці і техніці у більшості випадків представляє собою багаторазове спостереження вимірюваної величини. Для отримання результату вимірювання необхідно сумісно обробити групу отриманих значень. Остаточний результат, який характеризує надійність і точність вимірювання, отримують виключенням промахів, систематичних та випадкових похибок.

Відсутність промахів забезпечує надійність результатів і досягається організацією вимірювання. Виключення систематичних похибок характеризує правильність результатів і досягається введенням спеціальних коефіцієнтів або поправок. Випадкові похибки є неминучими, а їх величини і закон розподілу характеризують точність результатів вимірювання.

Задача обробки результатів прямих багатократних вимірювань полягає в знаходженні достовірної оцінки вимірюваної величини і довірчого інтервалу, в якому знаходиться її дійсне значення.

При статистичній обробці результатів прямих багаторазових вимірювань необхідно виконати наступну послідовність дій:

- провести прямі багаторазові вимірювання фізичної величини і отримати масив даних  $X_1, X_2, \dots, X_n$  вимірювальної інформації;
- скорегувати результати вимірювання, вилучивши відомі систематичні похибки шляхом внесення поправок у результати спостережень;

- знайти математичне очікування скорегованих результатів вимірювання і прийняти його за дійсне значення вимірюваної фізичної величини.

Для нормального закону розподілу за оцінку математичного очікування ряду даних рівноточних вимірювань приймають середнє арифметичне. Після цього визначають випадкове відхилення  $\mathcal{Q}_i$  (випадкову абсолютну похибку) при  $i$ -му вимірюванні, яка може бути позитивною та негативною.

Середнє арифметичне незалежно від закону розподілу має наступні властивості, що використовують для перевірки правильності його обчислення:

$$\sum_{i=1}^n \mathcal{Q}_i = 0 \quad i \quad \sum_{i=1}^n \mathcal{Q}_i^2 = \min$$

Середнє квадратичне відхилення  $S$  результатів  $n$  вимірювань однієї й тієї ж величини характеризує розсіювання результатів багаторазових  $n$  вимірювань. Квадратичне відхилення середнього арифметичного становить:

$$\bar{\sigma}[\bar{x}] = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

Довірчі границі похибки вимірювання представляють собою верхню і нижню границі інтервалу, який накриває з заданою ймовірністю похибку вимірювання. Якщо число вимірювань  $n$  не перевищує 30, то довірчий інтервал випадкової похибки вимірювання при заданих ймовірності  $P$  визначається за формулою Стьюдента:

$$\Delta_{\bar{a}} = \pm k_t \cdot \bar{\sigma}[\bar{x}] \quad (2)$$

де  $k_t$  – коефіцієнт Стьюдента, який залежить від заданої ймовірності  $P$  і числа вимірювань  $n$ . Значення довірчої ймовірності в більшості випадків технічних вимірювань приймають  $P=0,95$ .

При виконанні розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Основи вимірювань і випробувань» студент має продемонструвати знання теоретичних основ вимірювань, уміння практичного застосування, методів і комп'ютерних програм математичної обробки результатів та досвід використання отриманих знань для обґрунтованого призначення методики вимірювань для конкретних досліджень з інженерії поверхні.

## **МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ПРАКТИКИ СТУДЕНТІВ КАФЕДРИ ІНЖЕНЕРІЇ ПОВЕРХНІ НТУУ «КП»**

*І.С. Новіков, студ., С.М. Гетманець, доц. (НТУУ «КП»)*

Практика студентів кафедри інженерії поверхні зварювального факультету НТУУ «КП» напряму «Зварювання» спеціальності «Відновлення і підвищення зносостійкості деталей і конструкцій» проводиться відповідно до навчальних планів спеціальностей, умов відповідних договорів, що заключені з підприємствами – базами практики, та Положенням про проведення практики студентів вищих навчальних закладів України у строки, передбачені робочими навчальними планами.

Виробнича практика є важливим етапом процесу підготовки фахівців спеціальності і спрямована на вивчення типових технологічних процесів, методів, матеріалів, обладнання для утворення і відновлення зносостійких робочих шарів поверхні деталей і конструкцій конкретних виробів.

Переддипломна практика є одним з кінцевих етапів навчального процесу підготовки бакалаврів і спеціалістів спеціальності і спрямована на закріплення отриманих під час навчання знань і практичних навичок, вивчення типових технологічних процесів утворення та відновлення зносостійкого покриття робочих поверхонь деталей і конструкцій, оволодіння методами, навичками та уміннями самостійної інженерно-технічної і науково-дослідницької діяльності в галузі інженерії поверхні і суміжних процесів.

Одним з важливих елементів учбового процесу підготовки магістрів з інженерії поверхні і споріднених технологій є науково-дослідна практика, яка спрямована на закріплення та поглиблення теоретичних знань і практичних навичок, отриманих під час навчання, вміння ставити завдання, аналізувати результати і робити висновки, придбання та розвиток методології і навичок самостійної наукової і дослідницької роботи.

Кафедра інженерії поверхні зварювального факультету НТУУ «КП» створює усі необхідні умови для виконання студентами учбової програми



практики, вивчення сучасних методів утворення та відновлення зносостійкого покриття робочих поверхонь деталей і конструкцій, матеріалів та устаткування.

Кафедра інженерії поверхні надає студентам-практикантам можливість користуватися для виконання програми практики учбовим і науково-дослідним обладнанням, приладами та пристроями лабораторій кафедри і зварювального факультету, учбових кабінетами, механічної майстерні, бібліотекою, технічною та іншою учбовою і нормативною документацією.

Виробнича, переддипломна і науково-дослідна практика на кафедрі інженерії поверхні розпочинається з отримання студентом щоденника у якому викладач – керівник практики записує мету і завдання проходження практики у науково-дослідних організаціях і установах та промислових підприємствах, визначених згідно наказу по НТУУ «КПІ» як бази практики студентів кафедри інженерії поверхні зварювального факультету.

По закінченню виробничої, переддипломної і науково-дослідної практики кожний студент отримує відгук керівника від бази практики, у якому надається характеристика ділових здібностей студента, використання ним отриманих знань, здібності до самостійного вирішення питань, пов'язаних з вирішенням конкретних інженерно-технічних завдань.

Після завершення усіх видів практики студент складає звіт встановленої форми і змісту, який є основним документом, що свідчить про рівень та якість, яка відбулась. Звіт повинен містити у повному обсязі усі матеріали, необхідні для підтвердження виконання студентом програми і завдання практики, а саме конструкторсько-технологічний аналіз деталі або конструкції виробу, основне технологічне та допоміжне механічне оснащення, технологію виготовлення виробу, контроль якості, планування ділянки цеху, тощо

Усі види практики студентів кафедри інженерії поверхні НТУУ «КПІ» проводяться на відомих в Україні науково-дослідних-установах і промислових підприємствах – в Інститутах електрозварювання ім. Є.О. Патона, проблем матеріалознавства, надтвердих матеріалів НАН України, АНТК Антонов, ДП «Дарницький вагоноремонтний завод», ВАТ «Ленінська кузня» та ін.

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

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

**«ІНЖЕНЕРІЯ ПОВЕРХНІ. КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД»**

**30 травня 2016 року**

**МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ**

(українською мовою)

**Матеріали видаються за оригіналами поданими авторами**

*Комп'ютерна верстка Чорний А.В.*

---

Підписано до друку 26.05.2016. Формат 60x84. Папір офсетний.

Гарнітура Times. Трафаретний друк.

Умов. друк. арк. 1,6. Наклад 20 прим.

Зам. № 229285/2328925. Ціна договірна.

Надруковано в ТОВ «Фастпринт»

Типографія оперативного друку «Фастпринт»

01033, м. Київ, вул. Василя Яна 3/5

Тел.: 044 - 503-88-26