

Розділ 5

НАДІЙНІСТЬ І ТЕХНІЧНИЙ СЕРВІС МАШИН

621.793.72

ВПЛИВ ДІАМЕТРА ПОРОШКОВОГО ДРОТУ НА МІКРОГЕТЕРОГЕННІСТЬ ТА АБРАЗИВНУ ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ЕЛЕКТРОДУГОВИХ ПОКРИТТІВ

М. Студент, д. т. н., О. Калахан, д. т. н., М. Головчук, аспірант,
Х. Задорожна, аспірант, Б. Занько**
Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів;
*Львівський національний аграрний університет

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень і публікацій. Серед газотермічних методів напилення покриттів метод електродугового напилення є технологічно найпростішим і найдешевшим. Використання для електродугового напилення електродних матеріалів у вигляді спеціальних порошкових дротів (ПД) дало змогу розширити сферу застосування методу та одержати відновні й захисні покриття різного функціонального призначення з високими експлуатаційними характеристиками. Проте електродуговим покриттям (ЕДП) притаманні висока пористість, високий рівень залишкових напружень розтягу, низька когезія та адгезія (порівняно з іншими газотермічними покриттями) [1-6]. На відміну від дротів суцільного перерізу, покриття з порошкових дротів мають високу мікрогетерогенність за хімічними елементами, яка суттєво впливає на абразивну зносостійкість покриттів.

Постановка завдання. Наше завдання – дослідити вплив складу порошкового дроту на мікрогетерогенність та абразивну зносостійкість електродугових покриттів.

Виклад основного матеріалу. Методика експериментів. Використані матеріали: ПД виготовляли в одношаровому виконанні (рис. 1), а для оболонки ПД використали стрічку з маловуглецевої сталі 08пс (0,05...0,11 % С, не більше 0,02 % S, 0,025...0,5 % Mn, 0,04 % P).

За шихтові матеріали вибрали доступні, широкоживані і найдешевші матеріали для виробництва ПД, а саме феросплави (ферохром, феромарганець, феромолібден, ферохромбор). Електрометалізаційні покриття з ПД наносили на зразки з вуглецевої сталі 20.

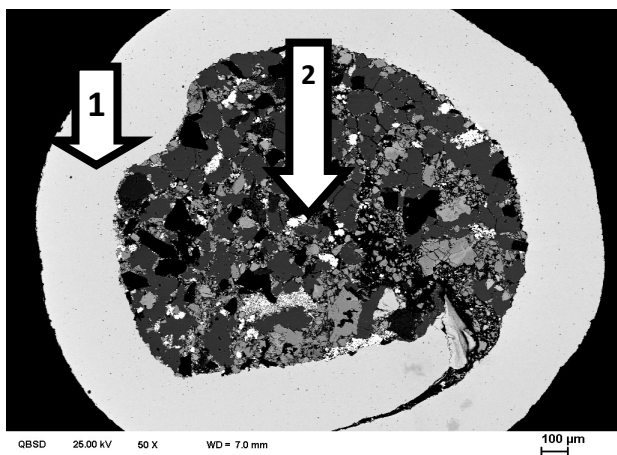


Рис. 1. Конструктивне виконання ПД:
1 – сталева оболонка, 2 – шихта.

Методика визначення мікрогетерогенності (МГ).

Електродуговим покриттям притаманна гетерогенна структура, ступінь гетерогенності якої було запропоновано оцінювати за значенням коефіцієнта мікрогетерогенності (K_{MG}) за формулою:

$$K_{MG} = \left(\sum_{i=1}^n |c_{сер} - c_i| \right) / n \times c_{сер},$$

де n – кількість прямокутних ділянок площею $35 \cdot 10^{-4} \text{ мм}^2$, виділених на фото мікроструктури ЕДП, на яких

визначається спектральним аналізом вміст кожного елементу c_i в межах окремої ламелі та середній вміст елементу $c_{сер}$ покриття.

Коефіцієнт K_{MG} характеризує відхилення вмісту кожного з елементів легування в межах окремої ламелі c_i від його вмісту у покритті. Загалом коефіцієнт K_{MG} свідчить про повноту сплавлення шихти та оболонки. Для визначення коефіцієнта K_{MG} порівнювали інтегральний вміст конкретного елементу легування $c_{сер}$ на ділянці площею 10 мм^2 з його локальним вмістом c_i на прямокутних ділянках площею $35 \cdot 10^{-4} \text{ мм}^2$, які сумірні із середньою площею ламелей у покриттях (рис. 2). Визначення K_{MG} покриття проводять як мінімум на десяти ділянках, які розташовані одна від одної на відстані 5 мм, по ширині плями пучка наплення, яка становить 25...30 мм. Значення K_{MG} із цих ділянок усереднюють.

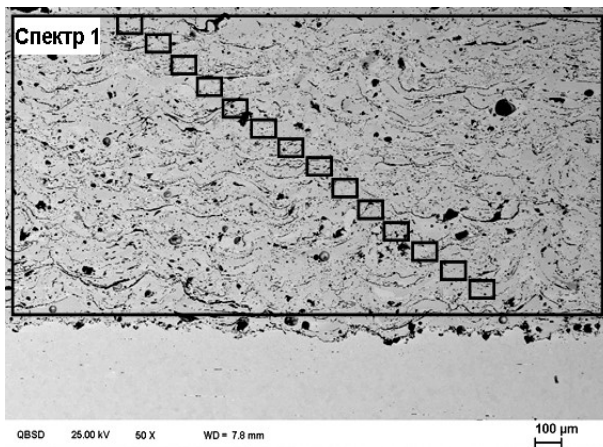


Рис. 2. Схема визначення локального вмісту елементів легування у покритті.

Вплив структурної мікрогетерогенності на зношування покриттів. Встановлено, що збільшення МГ покриттів сприяє зростанню абразивної зносостійкості за випробувань закріпленим абразивом та зменшує її за випробувань

незакріпленим абразивом (рис. 3). Це зумовлено різними механізмами зношування, що реалізуються за випробувань закріпленим та незакріпленим абразивом. Зокрема, за випробувань закріпленим абразивом останній рівномірно зношує всю поверхню покриття, а зносостійкість забезпечують тверді ламелі в його структурі. Тому в цьому разі більша зносостійкість покриття реалізується за його високої $МГ$, яка забезпечує низький рівень напружень розтягу.

За випробувань незакріпленим абразивом вільний абразив насамперед зношує м'які та пластичні ламелі покриття. При цьому тверді ламелі втрачають зв'язок із матрицею покриття та викришуються. Тому гетерогенні покриття з високим коефіцієнтом K_{MG} , які мають і тверді, і пластичні складові (ламелі), виявляють низьку зносостійкість. Зі зменшенням $МГ$ покриттів їх зносостійкість зростає. Водночас у міру зменшення $K_{MG} < 0,2$ у такому покритті одночасно зростають залишкові колові напруження розтягу. З досягненням їх рівня ~ 100 МПа у покритті виникає мережа мікротріщин і руйнування відбувається внаслідок їх росту та викришування цілих ламелей. Зносостійкість при цьому суттєво знижується.

Залежно від режимів напилювання у покритті формуються ламелі різної товщини. У міру збільшення товщини ламелей зносостійкість покриттів знижується за випробувань закріпленим абразивом та зростає за випробувань незакріпленим абразивом (див. рис. 3). Чим менша товщина ламелей, тим більше міжламелярних меж, які є слабким місцем за випробувань незакріпленим абразивом. У цьому разі зношування інтенсифікується саме вздовж меж ламелей.

Розглядаючи топографію поверхні в плямі тертя, утвореній за випробувань незакріпленим абразивом (рис. 4), слід відзначити, що на поверхні сталі, а також наплавлених матеріалів є характерні однаково орієнтовані подряпини від абразиву та рівномірне зношування. Водночас усім покриттям (гетерогенним більшою мірою) притаманна наявність виступів та заглибин на поверхні тертя та нерівномірне зношування. Визначальними для рельєфу зони зношування покриттів є розмір ламелей, їх хімічна неоднорідність, яка спричинює неоднорідність за твердістю, та кількість міжламелярних меж.

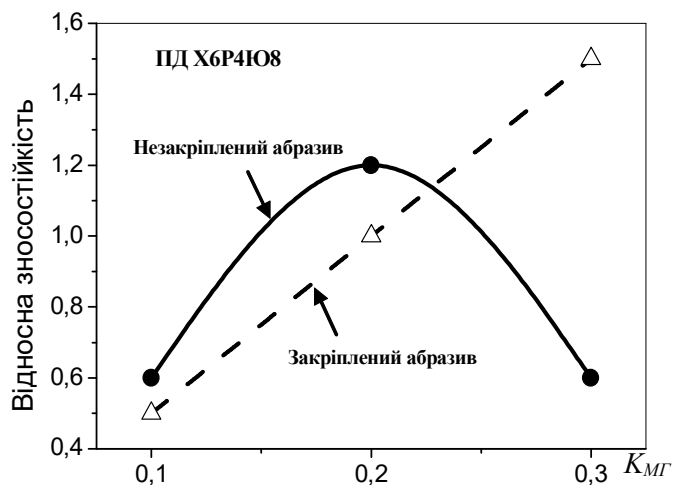


Рис. 3. Вплив коефіцієнта мікрогетерогенності K_{MG} на відносну абразивну зносостійкість покриттів під час тертя закріпленим і незакріпленим абразивом.

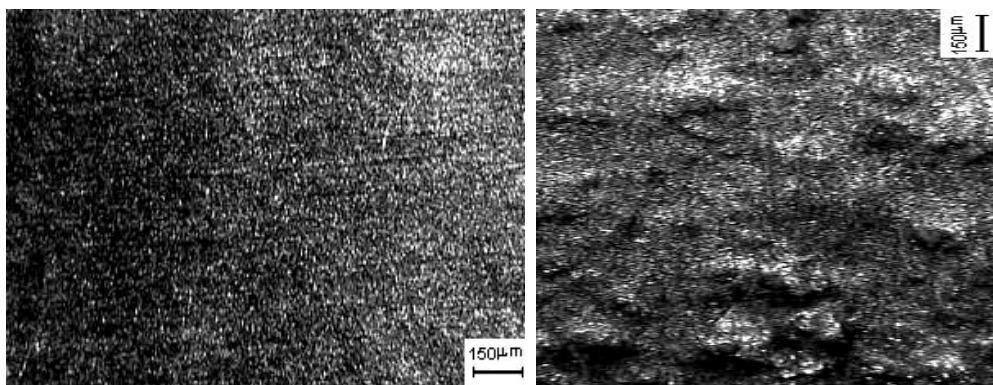


Рис. 4. Топографія поверхні тертя сталі У8 (а) та покриття Х6Р4Ю8 (б) після випробувань незакріпленим абразивом.

Вплив діаметра ПД на гетерогенність покриттів із ПД. Для встановлення впливу діаметра ПД на абразивну зносостійкість електродугових покриттів закріпленим абразивом досліджували покриття із ПД250Х21ВФГС діаметром 1,8 мм та 2,4 мм із вмістом хрому 21 % (табл. 1). Хімічний склад дроту 250Х21ВФГС різного діаметра практично ідентичний, лише вміст кремнію у ПД діаметром 2,4 мм є у два рази більший, ніж у ПД діаметром 1,6 мм (див. табл. 1).

Таблиця 1

Хімічний склад та діаметр дроту 250Х21ВФГС

Марка та діаметр дроту	Хімічний склад ПД								
	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	V	W
1,6 мм	74,37	2,50	0,30	0,39	0,02	0,03	21,10	0,60	0,40
2,4 мм	74,00	2,51	0,62	0,38	0,01	0,01	21,40	0,52	0,55

Гетерогенність напилених покриттів є достатньо низькою та не перевищує 8,2% мас. відхилення концентрації хрому від його середньої у покритті (табл. 2).

Таблиця 2

Мікрогетерогенність напилених покриттів

Напруга, В	Струм, А	Ø дроту, мм	Мікрогетерогенність K_{MG}
30	180	2,4	0,07
31	150	2,4	0,08
31	125	2,4	0,05
30	150	1,6	0,06
30	125	1,6	0,07
30	100	1,6	0,07

Така низька гетерогенність покриттів зумовлена наявністю ферокремнію та феромарганцю у шихті ПД. Такі компоненти мають низьку температуру плавлення, утворюють евтектику зі сталлю оболонкою (рис. 5) і починають плавитись у шихті ПД за 2-5 мм до торця ПД при напиленні покриттів. Розподіл хрому на торці ПД свідчить про збільшення хрому у розплавленому торці.

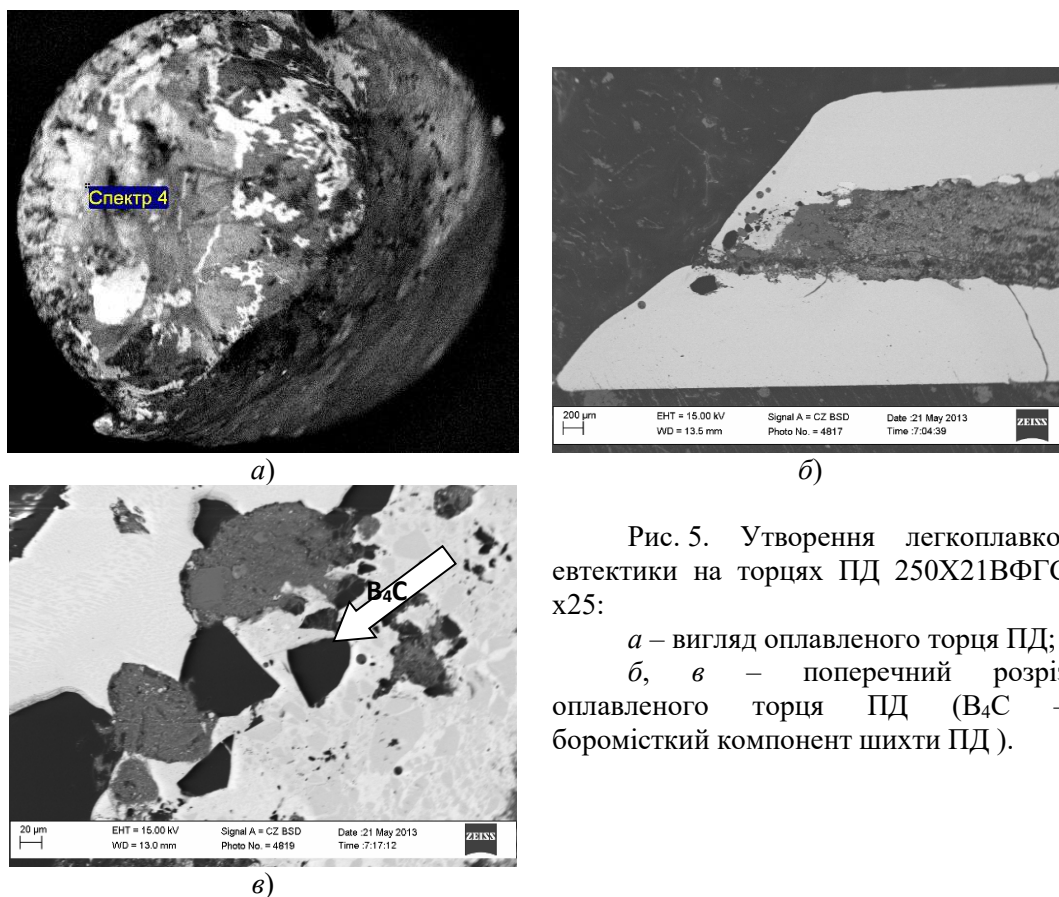


Рис. 5. Утворення легкоплавкої евтектики на торцях ПД 250X21ВФГС х25:

a – вигляд оплавленого торця ПД;
б, в – поперечний розріз оплавленого торця ПД (B_4C – бормісткий компонент шихти ПД).

Цей евтектичний розплав інтенсивно розчиняє у собі тугоплавкі карбіди та сталю оболонку, утворюється гомогенний розплав, внаслідок чого формуються краплини, які утворюють достатньо гомогенне покриття. Як показує рис. 6, покриття із ПД 1,6 мм є дещо більш гомогенне, ніж покриття із ПД 2,4 мм.

Із збільшенням струму для двох діаметрів ПД мікрогетерогенність спочатку зростає, а потім стабілізується навколо значення 0,07 (див. табл. 2). Це означає, що в складових покриттів – ламелях середнє відхилення вмісту хрому у покритті становить 7%.

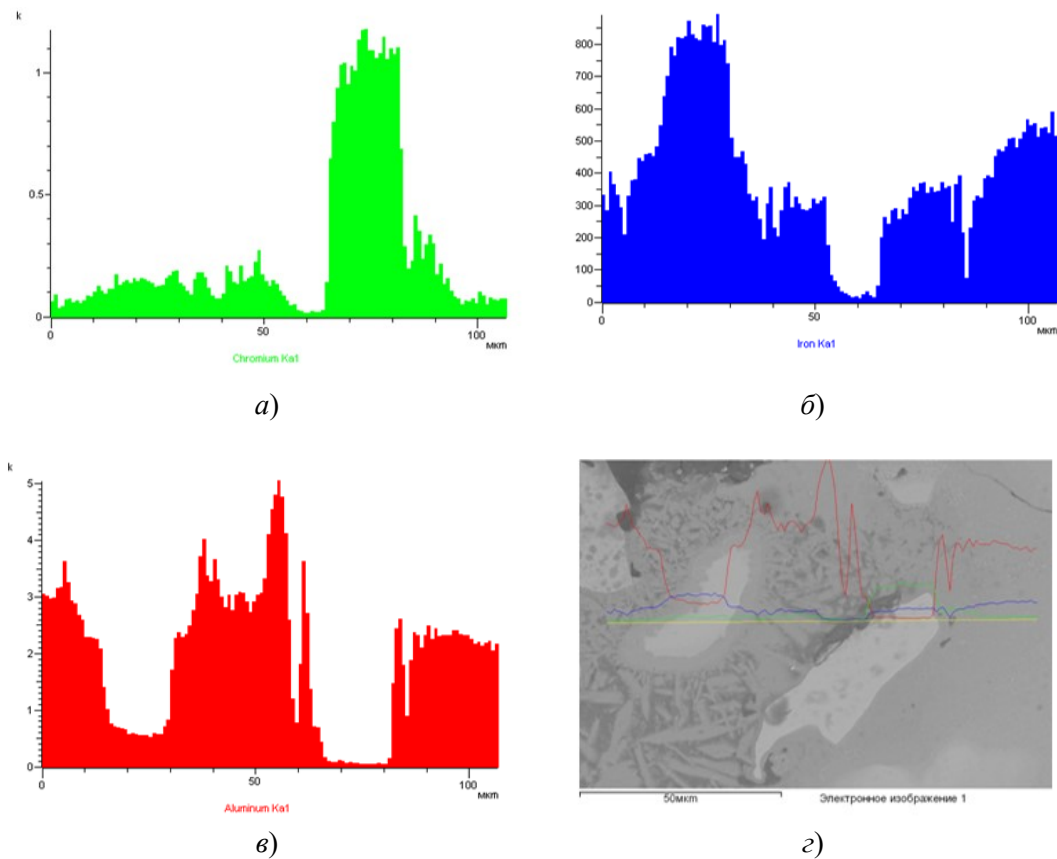


Рис. 6. Розподіл хрому (а), заліза (б) та алюмінію (в) на торці розплавленого ПД (г).

Висновки. Встановлено, що збільшення мікрогетерогенності електродугових покриттів сприяє зростанню їх абразивної зносостійкості за випробувань закріпленим абразивом та зменшує її за випробувань незакріпленим абразивом.

Низька гетерогенність електродугових покриттів забезпечується наявністю ферокремнію та феромарганцю у шихті ПД. Такі компоненти мають низьку температуру плавлення, утворюють евтектику зі сталлю оболонкою і починають плавитись у шихті ПД за 2-5 мм до торця ПД при напilenні покриттів. Цей евтектичний розплав інтенсивно розчиняє у собі тугоплавкі карбіди та сталлю оболонку, утворюється гомогенний розплав, унаслідок чого виникають краплини, які формують достатньо гомогенне покриття.

Із збільшенням струму для двох діаметрів ПД мікрогетерогенність K_{MG} спочатку зростає, а потім стабілізується навколо значення 0,07.

Бібліографічний список

1. Arc-sprayed iron-based coatings for erosion-corrosion protection of boiler tubes at elevated temperatures / V. Pokhmurskyi et al. *Journal of Thermal Spray Technology*. 2013. № 22, iss. 5. P. 808–819.
2. Iron-based coatings arc-sprayed with cored wires for applications at elevated temperatures / B. Wielage et al. *Surface and coating technology*. 2013. № 220. P. 27–35.
3. Pokhmurskyi V., Student M., Chervinska N., Stupnytskyi T. Electrochemical properties of arc sprayed coatings from cored wires on the basis of cheap ferroalloys. *Ochrona przed korozja*. 2013. № 11. S. 516–518.
4. Газоабразивная износостойкость при повышенных температурах покрытий, полученных дуговой металлизацией / В. Похмурский и др. *Автоматическая сварка*. 2013. № 6. С. 16–23.
5. Похмурський В., Студент М., Ступницький Т., Червінська Н. Структура, механічні та електрохімічні характеристики корозійностійких електродугових покриттів із порошкових дротів. *Наукові нотатки*. 2013. 2, № 41. С. 127–132.
6. Засади створення корозійностійких електродугових покриттів із порошкових дротів / В. Похмурський та ін. *Фізико-хімічна механіка матеріалів*. 2012. Спецвип. № 9, т. 2. С. 600–606.

Студент М., Калахан О., Головчук М., Задорожна Х., Занько Б. Вплив діаметра порошкового дроту на мікрогетерогенність та абразивну зносостійкість електродугових покриттів

Серед газотермічних методів напilenня покриттів метод електродугового напilenня є технологічно найпростішим і найдешевшим. Використання для електродугового напilenня електродних матеріалів у вигляді спеціальних порошкових дротів (ПД) уможливило розширення сфери застосування методу та одержання відновних і захисних покриттів різного функціонального призначення з високими експлуатаційними характеристиками. Проте електродуговим покриттям притаманні висока пористість, високий рівень залишкових напружень розтягу, низька когезія та адгезія (порівняно з іншими газотермічними покриттями). На відміну від дротів суцільного перерізу, покриття з порошкових дротів мають високу мікрогетерогенність за хімічними елементами, яка суттєво впливає на абразивну зносостійкість покриттів.

Робота присвячена впливу складу порошкового дроту на мікрогетерогенність та абразивну зносостійкість електродугових покриттів.

Ключові слова: порошковий дріт, зносостійкість, електродугові покриття, гетерогенність.

Student M., Kalakhan O., Golovchuk M., Zadorozhna K., Zanko B. Influence of cored wire diameter on microheterogeneity and abrasive wear resistance of electric arc coatings

Among the gas-thermal methods of spraying coatings, the arc-spraying method is technologically simple and cheap. The use of electrode materials in the form of special powder wires (PW) for electro-arc spraying made it possible to expand the scope of the method and to obtain reducing and protective coatings of various functional purposes with high performance characteristics. However, electric arc coatings are characterized by high porosity, high level of residual tensile stresses, low cohesion and adhesion (compared to other gas-thermal coatings). Unlike wires of solid cross section, coatings from powder wires have high microheterogeneity behind chemical elements, which significantly affects the abrasive wear resistance of coatings. The article is devoted to the study of the effect of the composition of a flux cored wire on microheterogeneity and abrasive wear resistance of electric arc coatings.

Key words: powdered wires, wear resistance, electric arc coatings, heterogeneity.

Студент М., Калахан О., Головчук М., Задорожная Х., Занько Б. Влияние диаметра порошковой проволоки на микрогетерогенность и абразивную износостойкость электродуговых покрытий

Среди газотермических методов напыления покрытий метод электродугового напыления технологически простой и дешевый. Использование для электродугового напыления электродных материалов в виде специальных порошковых проволок (ПП) позволило расширить сферу применения метода и получить восстановительные и защитные покрытия различного функционального назначения с высокими эксплуатационными характеристиками. Однако электродуговым покрытиям свойственны высокая пористость, высокий уровень остаточных напряжений растяжения, низкая когезия и адгезия (по сравнению с другими газотермическими покрытиями). В отличие от проволок сплошного сечения, покрытия из порошковых проволок имеют высокую микрогетерогенность по химическим элементам, которая существенно влияет на абразивную износостойкость покрытий. Работа посвящена изучению влияния состава порошковой проволоки на микрогетерогенность и абразивную износостойкость электродуговых покрытий.

Ключевые слова: порошковые проволоки, износостойкость, электродуговые покрытия, гетерогенность.