

УДК 621.793.72

## **ВПЛИВ КАРБОНУ В ПОРОШКОВИХ ДРОТАХ СИСТЕМИ Fe-Cr-C-Al НА ВІДНОСНУ ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ПОКРИТТІВ ЗА УМОВ ГРАНИЧНОГО МАЩЕННЯ**

*М. Студент, д.т.н., Т. Ступницький, інж., В. Гвоздецький, к.т.н.,  
Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України  
О. Калахан, д.т.н., О. Шабатура, магістр., В. Кульматицький, студ.  
Львівський національний аграрний університет*

**Ключові слова:** електродугові покриття, порошкові дроти, наплавлення, Карбон, зносостійкість.

Розглянуто вплив вмісту Карбону в порошковому дроті системи Fe-Cr-C-Al на відносну зносостійкість покриттів за умов граничного тертя. Показано, що зносостійкість контртіла (БрС-30) зростає зі збільшенням вмісту Карбону в порошковому дроті, однак за його вмісту понад 2% збільшується поруватість покриття та збільшується інтенсивність зношування контртіла.

**Постановка проблеми.** Численні деталі автотракторної техніки відновлюють методами газотермічного нанесення покриттів [1]. З поміж цих методів електродугове напилення покриттів із використанням спеціальних порошкових дротів технологічно найпростіше, не потребує дорожнього обладнання. Покриття виявляють високі експлуатаційні характеристики, щонайменше в 3...5 раз дешевші від покриттів аналогічного хімічного складу, нанесених іншими газотермічними методами [1, 2].

Спеціальні порошкові дроти широко застосовують для електродугового напилення покриттів з метою відновлення геометричних розмірів деталей машин, зокрема шийок валів, що працюють з підшипниками ковзання, змащування зони контакту яких здійснюється примусовою подачею мастила [2...4]. Це розподільчі та колінчасті вали двигунів та компресорів холодильної техніки, соломотряси комбайнів, тормозні вали автофургонів тощо

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На відміну від суцільних дротів, під час плавлення та диспергування розплаву порошкових дротів формуються краплини різного хімічного та структурного складу. Це свідчить про неповне сплавлення компонентів шихти та оболонки і, як наслідок, формується гетерогенне покриття [2]. Одним з найкращих

варіантів вважають порошкові дроти зі сталюю оболонкою та серцевиною, заповненою порошками карбиду бору та феромолібдену. В роботі [5] запропоновано порошкові дроти діаметром 1,6 мм з товщиною оболонки 0,2 мм. Серцевина дроту заповнена шихтою із суміші порошків (WC + Co) з розміром частинок, меншим, ніж 300 мкм, а також порошками FeB, NiB з розмірами частинок  $\leq 150$  мкм. Покриття з таких порошкових дротів мають твердість 400 HV для шихти Fe–Co–Cr і 500 HV для шихти Ni–Cr–B.

Однак найбільше застосовують порошкові дроти з шихтою на основі феросплавів – ферохромбору ФХБ-1 і ФХБ-2 та високовуглецевого ферохрому ФХ-800 [2, 6]. Вибір таких компонентів обумовлений їхньою високою твердістю, дешевизною і дає підстави припускати високу зносостійкість покриттів.

**Постановка завдання.** Порошкові дроти для електродугової металізації розробляли та розробляють, щоб сформувати відновні та зносостійкі покриття, які б ефективно працювали за умов сухого та граничного тертя, а також абразивного зношування за кімнатної та підвищених температур [1...5]. Тому як компоненти шихти для ПД використовують порошки аморфного бору, карбиду бору тощо [7]. Проте вплив легувальних елементів у покриттях з порошкового дроту, зокрема Карбону, на тертя за граничного мащення досліджено не в повній мірі, що утруднює ширше впровадження цього методу у промисловість.

**Виклад основного матеріалу.** *Методика експерименту.* Електродугові покриття наносили електрометалізатором типу ГТ-1 розпиленням порошкового дроту системи легування Fe–Cr–C–Al діаметром 1,8 мм. Як шихтові матеріали використовували порошки феросплавів із додатком чистих компонентів (табл. 1).

Таблиця. 1.

Матеріали, використані при виготовленні порошкових дротів

| Матеріал                       | Марка   | ГОСТ    |
|--------------------------------|---------|---------|
| Ферохром високовуглецевий      | ФХ-800  | 4757-85 |
| Феротитан                      | ФТИ-40А | 4761-80 |
| Графіт тигельний (зольність 7) | ГТ-1    | 4596-75 |
| Порошок алюмінію               | ПА-40   |         |
| Хром металевий                 | Х99А    | 5905-79 |

Оболонку дроту зі сталі 08кп товщиною 0,4 мм виготовляли зі стрічки шириною 10 мм. Коефіцієнт заповнення дроту становив 22...23%. Покриття формували за таких режимів: напруга на дузі  $U = 32...33$  V, струм дуги  $I = 150$  А. Розпилювальний газ – повітря, тиск розпилювального повітряного струменя  $P = 0,6$  МПа. Дистанція напилення  $L = 100$  мм.

Трибологічні дослідження проводили на установці СМЦ-2 за схемою диск-колодка при частковому зануренні диску в ванну з мастилом М10Г2 з додаванням 1% кварцового піску з дисперсністю частинок до 40 мкм. Контактне навантаження 7 МПа, швидкість ковзання 0,67 м/с. Матеріал колодки – бронза БрС-30. Покриття наносили на зразки диск (матеріал сталь 45, 28...30 HRC) діаметром 40 мм та шириною 10 мм і шліфували до робочої товщини 1 мм та шорсткості  $R_a = 0,63$  мкм. Еталон зносостійкості – сталь 45 (50...52 HRC).

*Результати експериментів та обговорення.* Під час розпилення порошкового дроту протікають екзотермічні реакції та суттєво зростає вміст Оксигену в продуктах розпилення та в самому покритті, а вміст Карбону у покритті стає нижчим, аніж у порошковому дроті [3]. Матричною фазою таких покриттів є тверді розчини хрому та алюмінію у  $Fe_\alpha$  і  $Fe_\gamma$  [2...4]. У покритті, сформованому тільки з ферохрому, домінує фаза  $Fe_\gamma$ , а з додатком до шихти алюмінію, навпаки,  $Fe_\alpha$ . Вміст елементів легування у покритті такий: 1,13% С; 4,83% Cr та 1,47% Al.

Покриття мають ламелярну мікроструктуру, проміжки між якими складаються з оксидних фаз заліза, алюмінію, хрому ( $FeO$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Cr_2O_3$ ). Розподіл легувальних елементів у покритті рівномірний. Металографічними дослідженнями виявлено мартенсит, сорбіт та тростит, а мікрорентгеноспектральним аналізом встановлено прошарки з оксиду Алюмінію між частинками покриття. Вплив вмісту порошоків графіту та Алюмінію у складі шихти порошкових дротів на структуру електродугових покриттів вивчали раніше [2, 7]. Показано, що при використанні як основи порошкової шихти ферохрому марки ФХ-200 покриття містить 0,18% С, а ферохрому ФХ-800 – кількість Карбону зростає до 0,66%. Плівки, що розділяють ламелі у покритті, складаються переважно з  $FeO$  для порошкового дроту з шихтою на основі ФХ-200 і  $FeO$ ,  $Fe_2O_3$  і  $Fe_3O_4$  – при використанні ФХ-800.

Після додавання до шихти порошкового дроту від 5 до 15% графіту вміст Карбону у покритті зростає з 0,85 до 1,32%. Зі збільшенням кількості графіту понад 15% Карбону у покритті меншає. Зокрема, після додавання до шихти 20% графіту покриття містить лише 1,08% С. Це пов'язано зі зменшенням коефіцієнта заповнення порошкового дроту шихтою, розпорощенням та вигорянням графіту під час плавлення дроту [2].

Після заміни базової шихти ФХ-200 на ФХ-800 вміст Карбону у покритті збільшується до ~0,6%. Зростає кількість залишкового аустеніту, а структурна складова  $Fe_\alpha$  є у вигляді легованого мартенситу та незначної частки трооститу. З додаванням до шихти порошкового дроту від 5 до 20% графіту вміст залишкового аустеніту у структурі покриття збільшується і

досягає максимуму при 10% графіту. Співвідношення між фазами також змінюється:  $Fe_{\alpha}/Fe_{\gamma} = 2/3$ . Очевидно, що частина Карбону, яка є у шихті у вигляді графіту, переходить у покритті в тверді розчини – аустеніт та мартенсит, а незначна його кількість залишається у вільному стані на межах між краплинами, що утворюють покриття. Це підтверджують лінії графіту на рентгенограмах, а також те, що зі збільшенням вмісту графіту у шихті міцність покриттів на розрив та міцність їх зчеплення з підкладкою зменшуються на 30 та 40% відповідно.

Як буде показано нижче, така структура, що містить залишковий аустеніт та мартенсит, має хороші трибологічні характеристики.

Для покриттів із порошкового дроту системи Fe-Cr-C-Al за вмісту 6% мас. Cr та зі збільшенням в ньому вмісту Карбону від 0,25 до 1,5% мас. зносостійкість покриттів зростає в 2,2 рази (рис. 1). Це зумовлено підвищенням твердості  $HV_{0,3}$  покриттів від 300 до 650 та появою в їх структурі великої чисельності (до 70%) метастабільного аустеніту.

Для підвищення вмісту Карбону у шихту порошкового дроту вводили графіт, який при плавленні дротів частково розчинявся в розплаві сталюї оболонки, частково залишався у вільному стані, проте більша його частина (50...60%) вигорала, реагуючи з киснем повітря згідно реакції  $C + O_2 = CO_2$ . Горіння графіту відбувається як на торці порошкового дроту, так і на краплинах під час їх лету до напилюваної деталі.

Наявність вільного графіту у структурі покриття зменшує його адгезію, як і когезію, зі сталюю підкладкою. Зростає також поруватість покриття. Так, міцність на розрив  $\sigma_B$  покриття з порошкового дроту, шихта якого містила 20% графіту, знижується від 220 МПа до 160 МПа, а міцність зчеплення  $\sigma_{зч}$  покриття з підкладкою з маловуглецевої сталі зменшується від 35 МПа до 20 МПа (рис. 2).

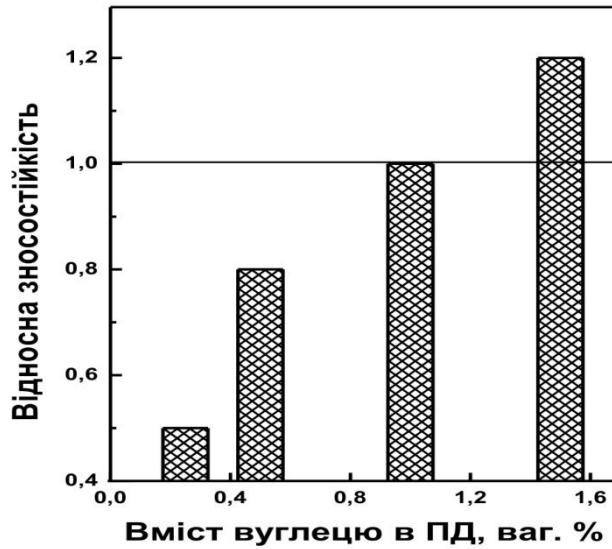


Рис. 1. Вплив вмісту Карбону в порошковому дроті системи Fe-Cr-C-Al на відносну зносостійкість покриттів за умов граничного тертя.

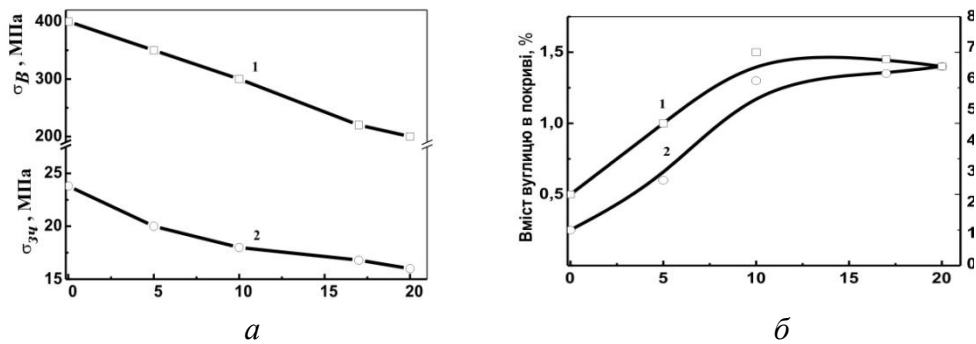


Рис. 2. Вплив вмісту графіту у шихті порошкового дроту на міцність покриття  $\sigma_B$  (1а), міцність зчеплення  $\sigma_{зч}$  (2а) та на вміст Карбону (1б) та аустеніту (2б) у ньому.

Збільшення вмісту графіту в шихті порошкового дроту зменшує кількість мартенситу та збільшує об'ємну долю залишкового аустеніту в покритті. За наявності 10% графіту в шихті порошкового дроту мікротвердість покриття зростає до 7000 МПа, а при 20% – зменшується до 5000 МПа. Одночасно додавання графіту у шихту порошкового дроту позитивно впливає на зносостійкість як покриття, так і контртіла (рис. 3).

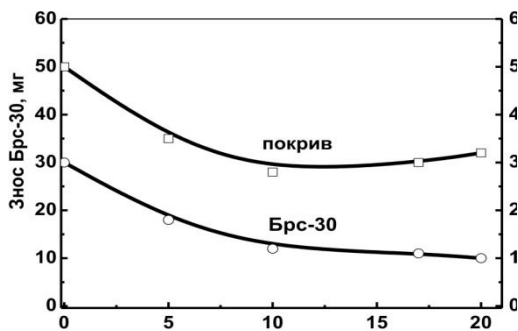


Рис. 3. Вплив вмісту графіту у шихті порошкового дроту на зносостійкість пари тертя покриття – бронза (Брс–30)

На зносостійкість контртіла – колодки, що працює в парі з диском із напиленим покриттям суттєво впливає хімічний склад покриття та режими його нанесення. Встановлено, що зносостійкість контртіла (Брс–30) зростає зі збільшенням вмісту Карбону в порошковому дроті. Однак за вмісту графіту понад 2% збільшується поруватість покриття та збільшується інтенсивність зношування контртіла.

**Висновки.** 1. Збільшення вмісту Карбону у порошковому дроті підвищує зносостійкість покриття за умов тертя при граничному навантаженні.

2. Збільшення вмісту графіту у покритті до 2% мас. підвищує зносостійкість бронзового контртіла, а понад 2% мас. зменшує.

#### Бібліографічний список

1. Преимущество активированной дуговой металлизации / Ю. С. Коробов, В. Л. Луканин, А.С. Прядко [и др.] // Сварщик. – 2002. – № 2. – С. 16 – 17.

2. Електродугові відновні та захисні покриття / [ В. І. Похмурський, М. М. Студент, В. М. Довгуник та ін.]. – Львів : Фіз.-мех. ін-т ім. Г.В. Карпенка НАН України. – 2005. – 190 с.

3. Застосування електродугової металізації порошковими дротами системи Fe-Cr-C-Al для відновлення деталей машин / В.І. Похмурський, М.М. Студент, В.М. Довгуник [та ін.]. // Машинознавство. – 1999. – № 1. – С. 13–18.

4. Порошковые проволоки систем FeCrV+Al и FeCr+Al+C для восстановительных электрометаллизационных покрытий / В.И. Похмурский, М. М. Студент, В. М. Довгуник [и др.]. // Автомат. сварка. – 2002. – № 3. – С. 32–35.

5 Harris S. I. Hard surface composite coatings produced by arc spraying / S. I. Harris, R. S. Cobb, T. R. Lester // Proc. 2<sup>nd</sup> Int. Conf. «Surface Eng. Stafford-upon-Avon», 1987. – Abington, 1988. – P. 447–458.

6. Козьяков И. А. Трибологические характеристики аморфизированных газопламенных покрытий, напыляемых порошковыми

проволоками системы Fe-Br / И. А. Козьяков, В. Н. Коржик, Ю. С. Борисов // Автомат. сварка. – 1996. – № 10(523). – С. 24–28.

7. Борисов Ю. С. Структура и свойства газотермических покрытий, полученных с использованием порошковых проволок системы Fe-Cr- Br, Fe-Cr-Br-C / Ю. С. Борисов, И. А. Козьяков, В. Н. Коржик // Автомат. сварка. – 1996. – № 5(518). – С. 21–24.

**Student M., Kalakhan O., Stupnytskyi T., Gvozdetsky V., Shabaturova O., Kulmatitsky V.. The influence of Carbon content in cored wires of Fe-Cr-C-Al system on relative wear resistance of coatings in conditions of limit lubrication.**

The influence of carbon content in a cored wire of Fe-Cr-C-Al system on relative wear resistance of coatings in conditions of limit lubrication has been considered. It was shown that wear resistance of a counterbody (BrS-30) increases with enhance of Carbon content in the cored wire, however it should be limited no more than 2% because increasing of porosity which causes the intensity wear out of counterbody.

**Keywords:** arc coatings, cored wire, welding, Carbon, wear resistance.

**М. Студент, О. Калахан, Т. Ступницкий, В. Гвоздецкий, О. Шабатура, В. Кульматицкий. Влияние Карбона в порошковых проволоках системы Fe-Cr-C-Al на относительную износостойкость покрытий в условиях предельного смазывания.**

Рассмотрено влияние содержания Карбона в порошковой проволоке системы Fe-Cr-C-Al на относительную износостойкость покрытий в условиях предельного трения. Показано, что износостойкость контртела (BrC-30) возрастает с увеличением содержания Карбона в порошковой проволоке, однако при его содержании более 2% увеличивается пористость покрытия и увеличивается интенсивность изнашивания контртела.

**Ключевые слова:** электродуговые покрытия, порошковые проволоки, наплавка, Карбон, износостойкость.