

Студент М. М.,  
Головчук М. Я.,  
Гвоздецький В. М.

Фізико - механічний інститут  
ім. Г. В. Карпенка НАН України,  
м. Львів, Україна

E-mail: student-m-m@ipm.lviv.ua

## ВПЛИВ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ПОРОШКОВИХ ДРОТІВ НА СТРУКТУРУ ТА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ПОКРИТТІВ РІЗНОГО ХІМІЧНОГО СКЛАДУ

УДК 621.793; 620.19

В роботі проведено аналіз механічних характеристик покриттів нанесених електродуговим металізатором з порошкових дротів. Електродні матеріали виготовляли із сталльної оболонки та компонентів шихти ферохрому із додаванням легувальних елементів, які покращують властивостей покриттів. Встановлено склад легувальних елементів, за вмісту яких мікротріщини у покритті не утворюються, а опір зношуванню зростає. У процесі наплення оксид молібдену утворює легкоплавкі оксиди та захищає розплав від окиснення.

**Ключові слова:** електродугова металізація, порошкові дроти, покриття, зносостійкість.

### Вступ

Електродугова металізація – це один із газотермічних методів нанесення покриттів. Цей метод технологічно найпростіший, найдешевший, не потребує дорогавартісного обладнання та легко впроваджується у виробництво [1, 2]. Проте суттєвим недоліком цього методу є вузький асортимент застосовуваних електродних матеріалів – суцільні дроти. Тому розроблення та використання порошкових дротів, як електродних матеріалів для ЕДМ дозволило різко розширити область її застосування [3 - 5] та в багатьох випадках одержувати покриття на рівні кращих плазмових та інших газотермічних покриттів, проте в 3 - 10 раз меншими затратами.

### Постановка задачі та методики досліджень.

Мета даної роботи дослідити вплив хімічного складу покриттів нанесених методом електродугової металізації на їх абразивну зносостійкість. Порошкові дроти (ПД) виготовляли в одношаровому виконанні (рис. 1) на шестибарабанному стані з філь'ерами діаметром 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,6 і 3,0 мм. 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). Для серцевини ПД використали наступні порошкові матеріали: феросплави, карбіди та чисті метали.

Електрометалізаційні покриття з ПД наносили на зразки з вуглецевої сталі 20. Абразивне зношування за тертя не жорстко закріпленими абразивними частками проводили згідно ГОСТ 23.208-79. Схематично установка показана на (рис. 2). Кварцовий пісок просували (його вологість не перевищувала 0,16 %), а гумовий диск заправляли шліфувальною шкіркою типу 2 (ГОСТ 6456-75) зернистістю № 8П (ГОСТ 3647-71), закріпленою на зразку-держаку у вигляді плоскої сталеві пластини. У зону контакту гумового круга і зразка за допомогою дозувального пристрою постійно подавали абразив.

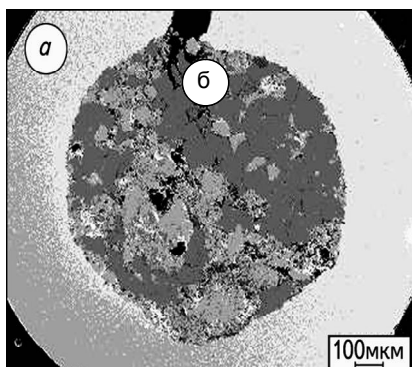


Рис. 1 – Конструктивне виконання ПД:  
а – сталева оболонка;  
б – шихта

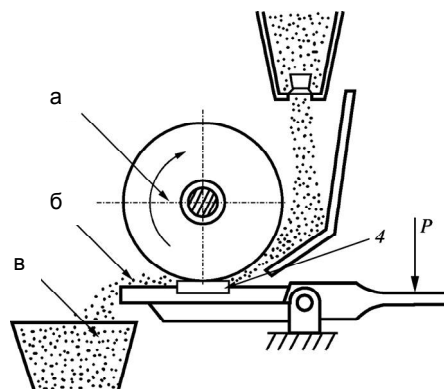


Рис. 2 – Принципова схема установки для дослідження абразивного зношування:  
а – гумовий диск;  
б – пісок;  
в – смінь для збирання абразиву;  
г – зразок

Умови зношування: розміри зразків:  $30 \times 30$  (або  $50$ )  $\times h$ , мм; діаметр гумового диска, 48 ... 50 мм; ширина гумового диска,  $15 \pm 0,1$  мм. Режим тертя: навантаження  $P = 2,4$  Н, швидкість обертання диска – 25 м/хв, абразив – фракціонований (розмір частинок 200 ... 1000  $\mu\text{m}$ ) та просушений пісок.

### Результати дослідження

Досліджували покриття із маловуглецевого ПД діаметром 2.0 мм із середнім вмістом хрому, ПД50Х6МГС із середнім вмістом молібдену як заміну хрому, високовуглецевий ПД120Х6ГС із середнім вмістом хрому та високо вуглецевий ПД120Х17ГС із високим вмістом хрому, а також високо вуглецевий ПД90Х17РГС із додатком бору (табл. 1).

Таблиця 1

**Вплив хімічного складу на поруватість та кількість оксидної фази покриттів із досліджуваних ПД**

Марка дроту	Поруватість, %	Кількість кисню в покритті % мас.
50Х6МГС	4	9
50ХМ6ГС	3	7
120Х6ГС	4	7
120Х17ГС	3	6
90Х17РГС	3	5
Х16Р3СЮ	3	4
50ХН2ГР5С	3	4
ПД20Х16Р3Н2СЮ	3	4

Додаток бору, молібдену та вуглецю в ПД зменшує кількість кисню у покритті. В процесі напилення вуглець із киснем взаємодіє із утворенням вуглекислого газу, який захищає розплав від інтенсивного окиснення. Молібден утворює легкоплавкі оксиди, які випаровуючись із розплаву та захищають його від окиснення. Бор із киснем утворює легкоплавкі оксиди, які покриваючи розплав плівкою захищають його від окиснення. Поруватість слабо залежить від хімічного складу досліджуваних покриттів (таб. 1). Зносостійкість не прямо залежить від твердості покриття (таб. 2). Так покриття із молібденом має найменшу твердість однак має високу абразивну зносостійкість.

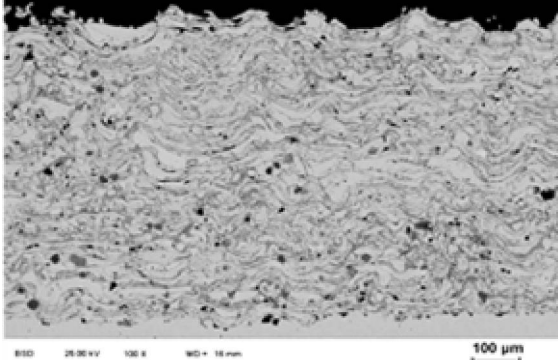
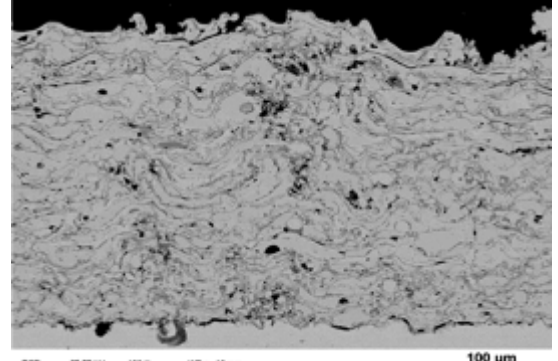
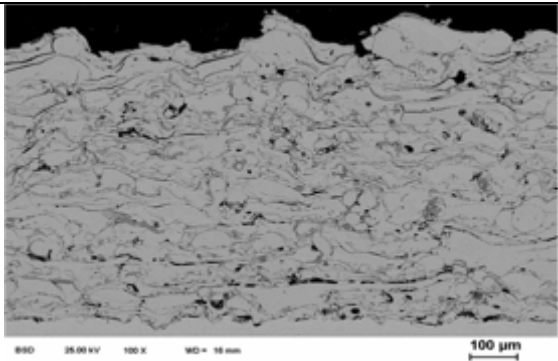
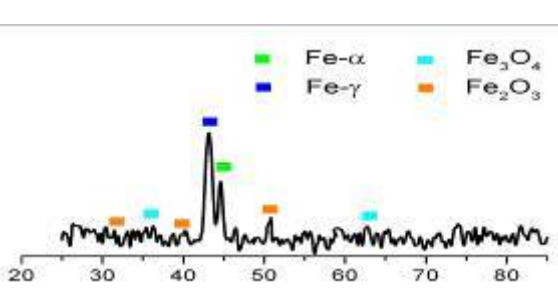
Така сама дія і бору. За наявності бору у покритті у його структурі утворюються дрібнодисперсні бориди, які зумовлюють високу зносостійкість покриття. При високому вмісті бору 5 % мас. у ПД 50ХН2ГР5 твердість покриттів суттєво зростає однак у покритті формується сітка мікротріщин, яка суттєво зменшує зносостійкість покриттів (таб. 2). Оптимальна кількість бору у ПД 3%. Із збільшенням вмісту вуглецю до 1,0 мас %, твердість покриття зростає однак в подальшому знижується внаслідок збільшення вмісту залишкового аустеніту у покритті до 100 %.

Таблиця 2

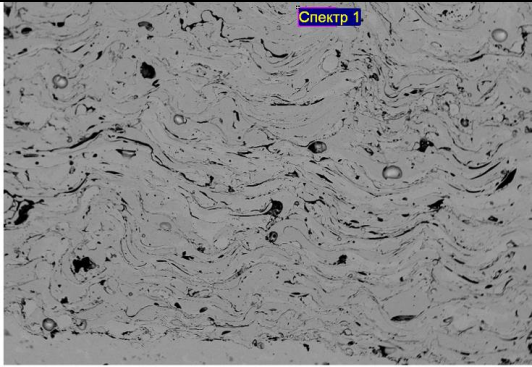
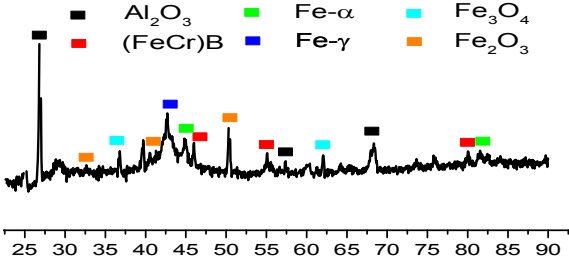
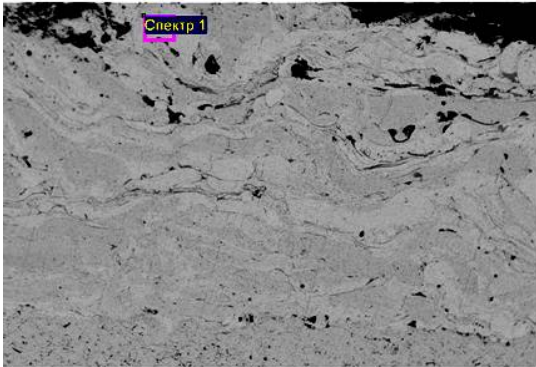
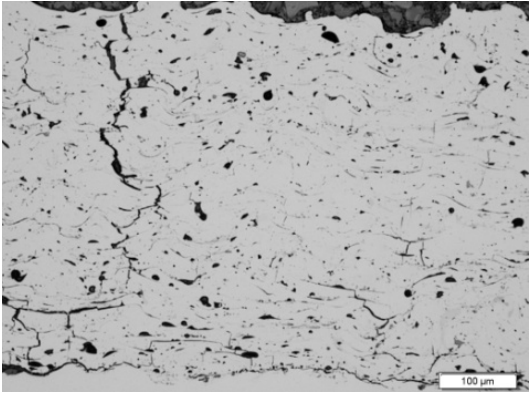
**Вплив хімічного складу ПД на твердість та відносну зносостійкість електродугових покриттів**

Марка дроту	Структура покриття	Твердість HV	Відносна зносостійкість
50Х6МГС		600	1,1

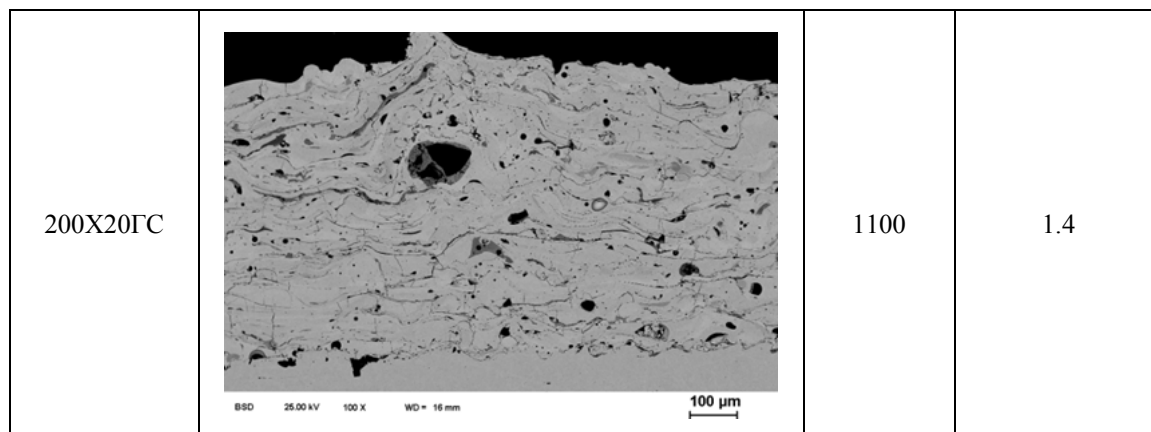
Продовження таблиці 2

50XM6ГС		500	1,4
120X6ГС		500	1
140X14ГС	  <p data-bbox="467 1765 898 1798">Дифрактограма ЕДП з ПД 140X14ГС</p>	900	1,25

Продовження таблиці 2

90X17PGC	 <p>500µm      Электронное изображение 1</p>  <p>Дифрактограма ЕДП з ПД 90X17PGC</p>	700	1.4
ПД20X16P3H 2СЮ	 <p>500µm      Электронное изображение 1</p>	800	1,4
50XH2GP5	 <p>100 µm</p>	1000	0,8

Продовження таблиці 2



При цьому рівень залишкових напружень першого роду у покритті зростає більш ніж у 3 рази від 40 МПа до 160 МПа. Такий високий рівень напружень може викликати появу магістральних тріщин вже у процесі напилення покриття, що приводить до його відшарування від основи. Тому оптимальна кількість вуглецю у ПД не повинна перевищувати 1 %. При напиленні покриття велика частина вуглецю вигоряє і в покритті залишається не більше 0,6 - 0,7 % мас. Така кількість вуглецю в покритті забезпечує низький рівень залишкових напружень розтягу за рахунок утворення мартенситної матриці і, як наслідок, високу зносостійкість покриттів. Додаток 1 % бору до такого ПД зменшує кількість кисню у покритті та підвищує зносостійкість.

### Висновки

1. Оптимальний вміст молібдену та бору до 3 % у складі покриттів не викликає утворення мікротріщин та забезпечує підвищення зносостійкості покриттів.
2. Зносостійкість покриття зростає за вмісту у порошковому дроті вуглецю 0,9 % мас. та бору до 1 % мас, який зменшує кількість кисню у розплаві, які його захищають від окиснення покривши плівкою легкоплавких оксидів.

### Література

1. T.R. Stupnyt'skyi, M.M. Student, H.V. Pokhmurska, V.M. Hvozdet's'kyi // Optimization of the chromium content of powder wires of Fe-Cr-C and Fe-Cr-B systems according to the corrosion resistance of electric-arc coating // Materials science Vol.52, №.2 September 2016
2. Pokhmurska, H.; Wielage, B.; Lampke, Th.; Grund, Th.; Student, M.; Chervinska, N.: Post treatment of thermal sprayed coatings on magnesium. Surface and Coatings technology, 2008, Vol. 202, N 18, P. 4515–4524, ISSN: 0257-8972
3. B. Wielage, Y. Pokhmurska, V. Student, V. Gvozdeckii, T. Syupnyckyj, V. Pokhmurskii. Iron-based coatings arc-sprayed with cored wires for applications at elevated temperatures / Surface & Coatings Technology, 220, 2013. – P. 27-35.
4. Arc-sprayed iron-based coatings for erosion-corrosion protection of boiler tubes at elevated temperatures / V. Pokhmurskyi, M. Student, Pokhmurska, V. Gvozdeckii, T. Stupnytskyi, O. Student, B. Wielage // Journal of Thermal Spray Technology. – 2013. – Vol. 22, Iss. 5. – P. 808-819.
5. Похмурский В.И., Студент М.М., Похмурская А.В., Рябцев И.А., Гвоздецкий В.М., Ступницкий Т.Р. Газообразивная износостойкость при повышенных температурах покрытий, полученных дуговой металлизацией // Автоматическая сварка. – 2013. – № 6. – С. 16-23.

Поступила в редакцию 22.09.2017

---

Student M. M., Hvozdet's'kyi V. M., Holovchuk M. Y. **Influence of chemical composition of powder wire on structure and determinants of coatings of different chemical composition.**

The properties of electric arc coatings from powdered wires are investigated. Determine the content of doping elements in powder wire, which increase resistance to wear of the coating. The composition of the powder wire under the spraying of which in the microcrystal coating is not formed is established. The quantitative content of doping elements that reduce the porosity and content of oxides in coatings is determined. Coatings determine the carbon content and boron, which provides a minimum level of stress. Molybdenum oxide forms fusible oxides in the process of spraying and protects the melt from oxidation. When spraying the coating a large part of carbon burns out and in the coating remains no more than 0,6 - 0,7 % by weight. This amount of carbon in the coating provides a low level of residual tensile stress due to the formation of a martensitic matrix and, as a consequence, a high wear resistance of the coatings.

In the presence of boron in the coating, fine-dispersed borides are formed in its structure, which determine the high wear resistance of the coating. At high content of boron, 5 % by weight, in PD 50XH2ГP5 the hardness of the coating is significantly increased, however, the coating creates a grid of microcracks, which significantly reduces the wear resistance of the coatings.

**Key words:** electric arc metalization, powder wires, coating, wear resistance.

### References

1. Stupnyt's'kyi T.R. , Student MM., Pokhmurska H.V., Hvozdet's'kyi V.M. Optimization cored filum interdum contentus ratio C Cr-Fe, Fe et corrosio resistentiam Cr-B electrica coatings. Materials science Vol.52, №.2 veresen 2016.
2. Pokhmurska, H.; Wielage, B.; Lampke, Th.; Grund, Th.; Student, M.; Chervinska, N.: Phichna obrobka termithnogo napulennia na magniu. Surface and Coatings technology, 2008, Vol. 202, N 18, P. 4515–4524, ISSN: 0257-8972
3. B. Wielage, Y. Pokhmurska, V. Student, V. Gvozdeckii, T. Syupnyckyj, V. Pokhmurskii. Elektrodygovi pokrutia z porochkovux drotiv dlia robotu za pidvuthunux temperatyr. Surfase & Coatings Technology, 220, 2013. P. 27-35.
4. Elektrodygovi pokrutia z porochkovux drotiv dlia zaxucty kotliv vid korosiino-erosiinogo znochyvania za pidvuthunux temperatyr. V. Pokhmurskyi, M. Student, Pokhmurska, V. Gvozdeckii, T. Stupnytskyy, O. Student, B. Wielage. Journal of Thermal Spray Technology, 2013. Vol. 22, Iss. 5. P. 808-819.
5. V.I. Pohmursky, MM. Student, G.V. Pohmurskaya, I.O. Ryabtsev, V.M. Hvozdet's'kyi, T.R. Stupnytsky. Hazoobrazyvnaya yznosostoykost temperaturis povыshennyh coatings, poluchenyh metallizatsyey. Automatic svarka. 2013. №6. Nigricornis. P. 16-23.