

Похмурська Г.В.,*
Студент М. М.,**
Войтович А. А.*

* Національний університет
 “Львівська політехніка”,

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

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

**МОДИФІКУВАННЯ МІКРОСТРУКТУРИ
 НАПЛАВЛЕНИХ ШАРІВ
 НА ОСНОВІ ПОРОШКОВОГО ДРОТУ
 ПДCr10B4 ІЗ ДОДАВАННЯМ AL, MG**

УДК 621.891

Наплавочні матеріали системи Fe–Cr–B–C широко використовують для відновлення та зміцнення деталей машин. Особливість даного матеріалу є задовільна зносостійкість за умов абразивного зношування. Однак присутність ударних навантажень негативно впливає на довговічність наплавлених шарів, оскільки мікроструктура складається з крупнозернистих голкових твердих фаз, що служать концентраторами для створення мікротріщин. Відомо, що формування округлених зміцнювальних фаз зменшує концентрацію напружень у наплавленому шарі і як наслідок підвищує зносостійкість. У роботі досліджено наплавлені шари з порошкового дроту ПД Cr5B3 до якого у шихту були введені добавки порошоків ПА та ПАМ. Встановлено, що добавки ПА та ПАМ впливають на мікроструктуру, округлюючи дендритні осі, при цьому зростає ударна зносостійкість наплавленого шару.

Ключові слова: дендритні осі, ударні навантаження, мікроструктура, мікротвердість, зносостійкість.

Вступ

Для відновлення зношених поверхонь широкого використання набули порошкові матеріали системи Fe–Cr–B–C [2]. Фазовий склад наплавленого шару системи Fe–Cr–B–C складається із: Fe/Cr карбідів твердістю до 900 HV, а також, карбоборидів FeCrB твердістю до 1300 HV та евтектичної матриці з твердістю до 700 HV [3]. Наплавлені шари із матеріалу Fe–Cr–B–C продовжують термін експлуатації у декілька разів за умов абразивного зношування. Недоліком зносостійкого матеріалу є дендритні осі, що зумовлюють розтріскування при ударних навантаженнях. Мікроструктура втрачає здатність протидіяти зношуванню та швидко руйнується за рахунок утворення мікротріщин [5]. Відомі спроби округлення графіту у високоміцних чавунах, де як модифікатор застосовували Mg₂Si, котрий позитивно впливає на округлення графітних пластинок [6]. Проте даний модифікатор є важкодоступний та вартісний, тому, метою даної роботи є дослідження впливу алюмінієво – магнієвого порошку ПАМ – (Al 60 %, Mg 40 %) та алюмінієвого порошку ПА (Al 99,99) на мікроструктуру наплавлених шарів з порошкового дроту ПД Cr5B3.

Методики досліджень

Наплавлення виконано у флюсі ОСЦ 45м, автоматичною головкою АБС порошковими дротами ПД Cr5B3, ПД Cr5B3Al2, ПД Cr5B3AlMg (табл. 1) діаметр ПД 1,6 mm, матеріал оболонки сталь 08кп, коефіцієнтом заповнення 18 %.

Таблиця 1

Хімічний склад шихти ПД

ПД	Хімічні елементи, %				
	Cr	B	Mg	Al	Fe
Cr5B3	5	2,7	-	-	решта
Cr5B3Al2	5	2,5	-	2	решта
Cr5B3AlMg	5	2,53	1	1	решта

Для формування наплавлених шарів використано зварювальний генератор постійного струму ПСО 500. Зварювальний струм 160 - 180 А, напруга 28 - 30 В. Швидкість подачі зварювального дроту V_{op} 142 м/х, швидкість зварювання $V_{зв}$ 13 м/х. Мікроструктуру наплавлених шарів досліджено на поперечному мікрошліфі із використанням електронного мікроскопа EVO 40 XVP. Вимірювання твердості виконано на мікротвердомірі ПМТ-3 з вагою наважки 200 g.

Зносостійкість наплавлених шарів досліджено за різних умов зношування. Абразивне зношування незакріпленим абразивом оцінювали згідно ГОСТ 23.208-79 (рис. 1). Просушений кварцовий пісок з розміром часточок 200 ... 1000 μm безперервно подавали у зону контакту гумового диску і зразка. Швидкість обертання диску становила 25 (m/s), а сила його притискання до зразка 2,4 kN. Для

оцінювання зношування закріпленим абразивом (рис. 2) використали абразивний круг SM-2 на керамічній зв'язці. Лінійна швидкість тертя при цьому становила 0,4 m/s, навантаження в зоні лінійного контакту 1,5 kN.

Ударне зношування (рис. 3) оцінили за сили удару 12 KJ кулькою Ø25 mm зі сталі ШХ 15, яка падала на досліджувану поверхню з частотою 40 s⁻¹. Тривалість експерименту 3600 s. Втрату маси зразків визначали з точністю до 2 × 10⁻⁴ g на електронній вазі. Зносостійкість при сухому терті на повітрі та у середовищі емульсолу проведено на установці реверсивного руху при навантаженні 300 g, та час експерименту 2 h. Форму перерізу доріжок тертя визначено на профілометрі DEKTAK II.

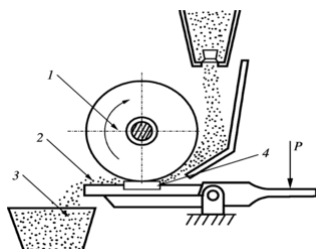


Рис. 1 – Принципова схема установки для дослідження абразивного зношування:
1 – гумовий диск; 2 – пісок;
3 – смішть для збирання абразиву;
4 – зразок.

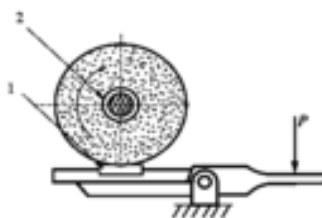


Рис. 2 – Принципова схема установки для дослідження зношування зразків жорстко закріпленим абразивом:
1 – зразок;
2 – абразивний круг

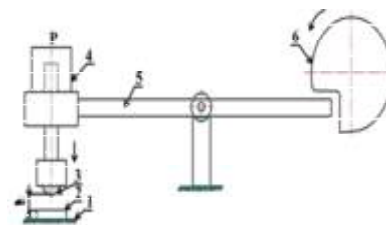
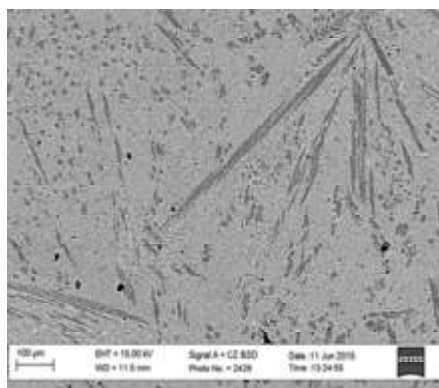


Рис. 3 – Принципова схема установки для дослідження ударного зношування зразків:
1 – основа; 2 – зразок;
3 – індентор; 4 – наважка;
5 – коромисло; 6 – ексцентрик;
h – відстань від зразка 10 mm

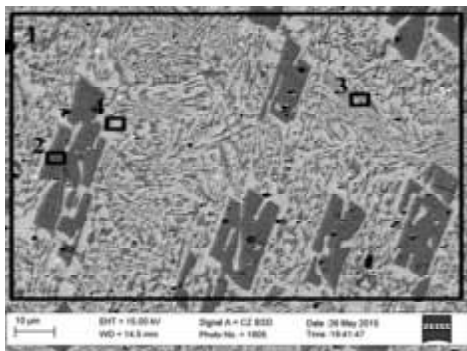
Обговорення результатів

Мікроструктура наплавлених шарів ПД Cr5B3 (рис. 4, а) складається із дендритних осей, розміри досягають по ширині від 10 до 15 μm за довжиною від 100 до 700 μm. Вміст тугоплавких елементів в них, становить Cr до 13 mass%. Можна припустити, що це карбобориди. Матриця наплавлених шарів містить заліза Fe до 93 mass% і Cr на рівні до 3 mass%.



Середній вміст, (спектр 1)	
Елемент	Ваговий %
B	10,7
Si	0,5
Cr	6,4
Fe	82,1
Всього	100,0

Спектр 2	
Елемент	Ваговий %
B	14,0
Cr	13,3
Fe	81,5
Всього	100,0



Спектр 3	
Елемент	Ваговий %
Al	0,2
Si	0,2
Cr	8,5
Fe	90,6
Всього	100,0

Спектр 4	
Елемент	Ваговий %
Al	0,2
Si	0,9
Cr	3,2
Fe	95,4
Всього	100,0

а

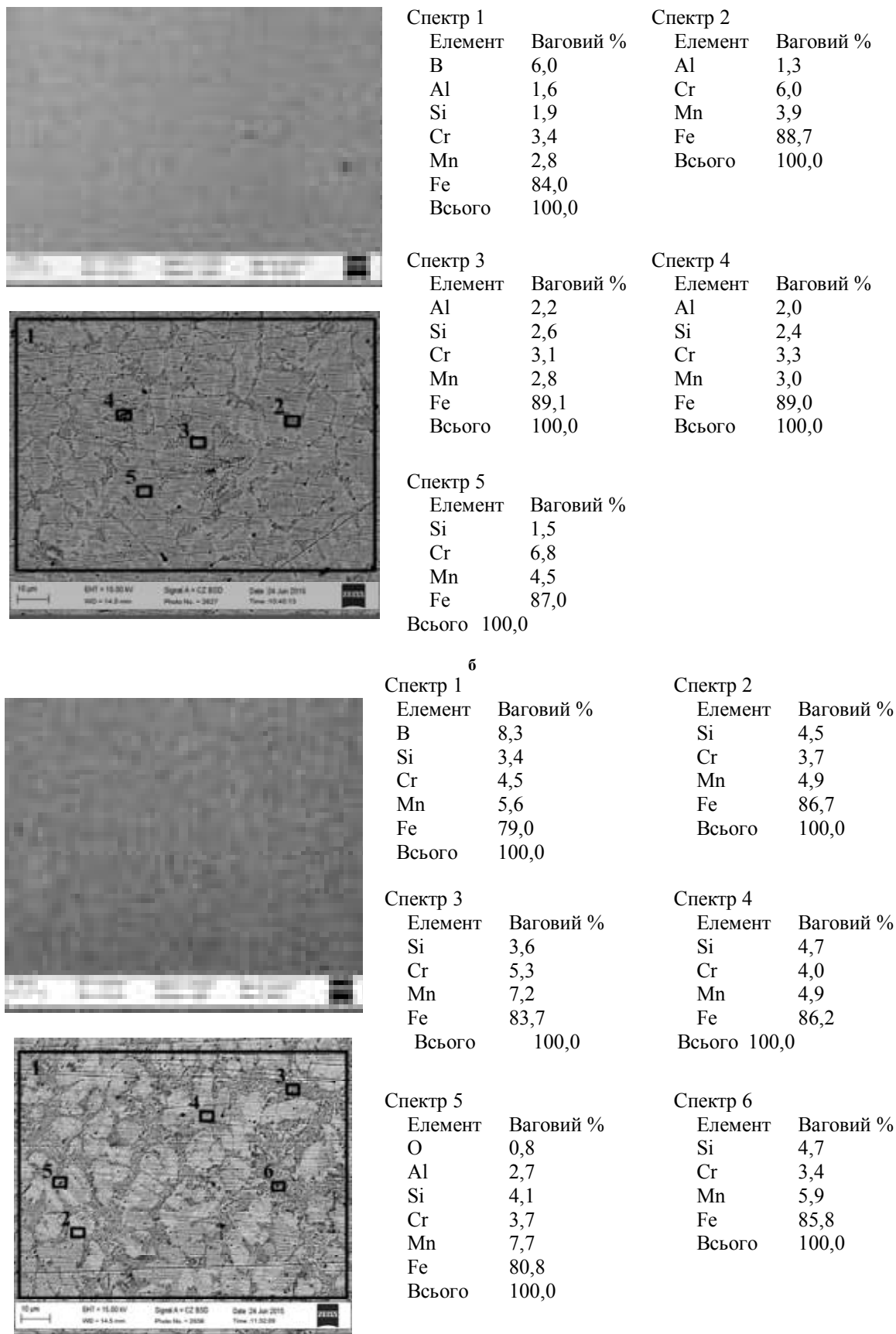


Рис. 4 – Мікроструктура наплавлених шарів :
а – наплавлені шари із ПД Cr5B3; б – наплавлені шари із ПД Cr5B3Al2;
в – наплавлені шари із ПД Cr5B3AlMg

Виявлено, що додаткове легування порошком ПА, ПАМ шихти ПД впливає на мікроструктуру.

Мікроструктура наплавлених шарів з ПД Cr5V3Al2 (рис. 4, б) та ПД Cr5V3AlMg (рис. 4, в) є видозмінена порівняно із мікроструктурою наплавлених шарів вище вказаних. Видовжений характер дендритних осей змінюється на округлий, відбувається подрібнення, розміри включень зменшуються та становлять від 10 до 5 мкм за довжиною та шириною. Це зумовлено збільшенням температури зварювальної ванни, за рахунок проходження екзотермічної реакції. Однак це призводить до розчинення Cr у усередненому спектрі 3,1 - 5,3 mass% у двох наплавлених шарах. Недоліком мікроструктури наплавлених шарів сформованих із ПД Cr5V3Al2 є висока пористість.

Встановлено, що у наплавлених шарах з ПД Cr5V3AlMg є дрібнодисперсні фази із складним хімічним складом Fe(Cr Mn)Si, що виділенні чорними включеннями.

Мікротвердість наплавлених шарів ПД Cr5V3 є на рівні 700 HV. В інших наплавлених шарах з ПД Cr5V3Al2 мікротвердість підвищується до 780 HV. Проте зменшується у наплавлених шарах ПД Cr10V3AlMg до 700 HV.

Зносостійкість наплавлених шарів (табл. 2) за умов зношування закріпленим абразивом є найнижча у наплавлених шарах з ПДCr5V4Al2, втрата маси становить 0,31 г. Встановлено, що зносостійкість наплавлених шарів із ПДCr5V3AlMg в 1,5 рази більша ніж ПДCr5V3.

Таблиця. 2

Втрата маси наплавлених шарів, г

Матеріал	ПДCr10V3	ПДCr10V3Al2	ПДCr10V3AlMg
Закріпленим абразивом	0,05	0,31	0,032
Не закріпленим абразивом	0,02	0,01	0,02
Ударне зношування	0,0094	0,0048	0,0025

Однак за умов зношування не закріпленим абразивом зносостійкість наплавлених шарів із ПДCr5V3Al2 є найвищою, втрата маси 0,01 г. Інші наплавлені шари ПДCr5V3, ПДCr5V3AlMg мають рівні втрати маси 0,02 г.

При ударному зношуванні втрата маси є найнижчою у наплавлених шарах з ПДCr5V3AlMg 0,0025 г, це 3,5 рази вища зносостійкість порівняно з наплавленими шарами ПДCr5V3. Представлено морфологію поверхні (рис. 5) досліджених наплавлених шарів після ударного зношування.

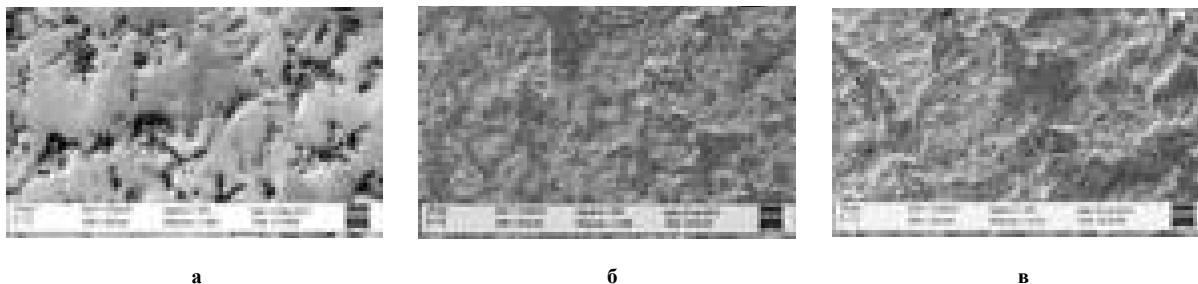


Рис. 5 – Морфологія поверхні після ударного зношування:

- а – наплавлені шари із ПДCr5V3;
- б – наплавлені шари із ПДCr5V3Al2;
- в – наплавлені шари із ПДCr5V3AlMg

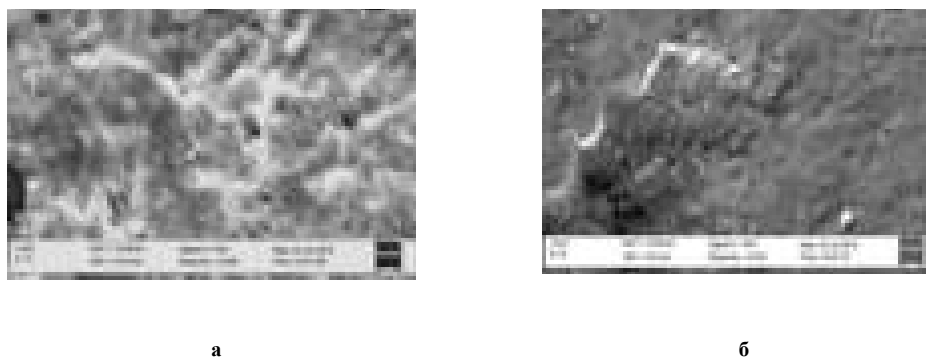


Рис. 6 – Морфологія моверхні після ударного зношвання:

- а – наплавлені шари із ПДCr5V3Al2;
- б – наплавлені шари із ПДCr5V3AlMg

Наплавлені шари із ПДCr5B3 (рис. 5, а) руйнуються крихко, оскільки тверді включення карборидів за умов ударного зношування розтріскуються та викришуються. Це також підтверджується найбільшою втратою маси 0,0094г. Інші наплавлені шари з дротів ПДCr5B3Al2 ПДCr5B3AlMg, (рис. 5, б, в) відповідно, руйнуються пластично.

У місці де досягнуто наклепу поверхневому шарі без можливості подальшого пластичного деформування відбувається відшарування від основи. Розглянувши наплавлені поверхні при більшому збільшенні (рис. 6).

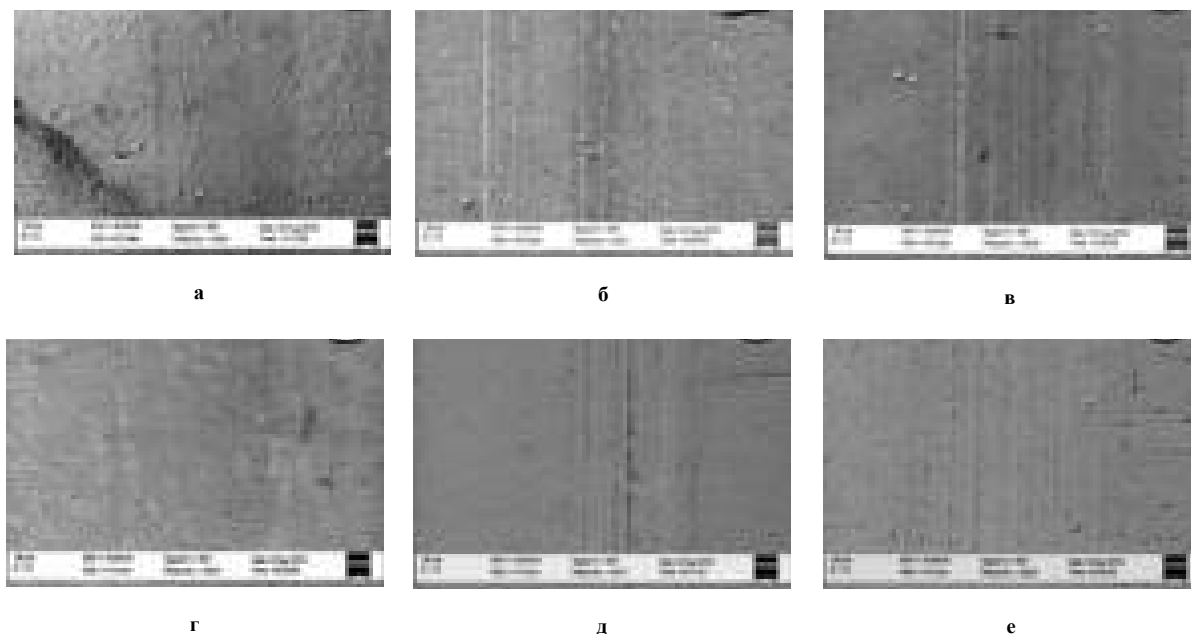


Рис. 7 – Морфологія поверхні доріжок тертя:
а - в – дослідження на повітря при сухому терті;
г - е – дослідження у емульсолі; а, г – наплавлені шари з ПДCr5B3;
б, д – наплавлені шари з ПДCr5B3Al2; в, е – наплавлені шари з ПДCr5B3AlMg

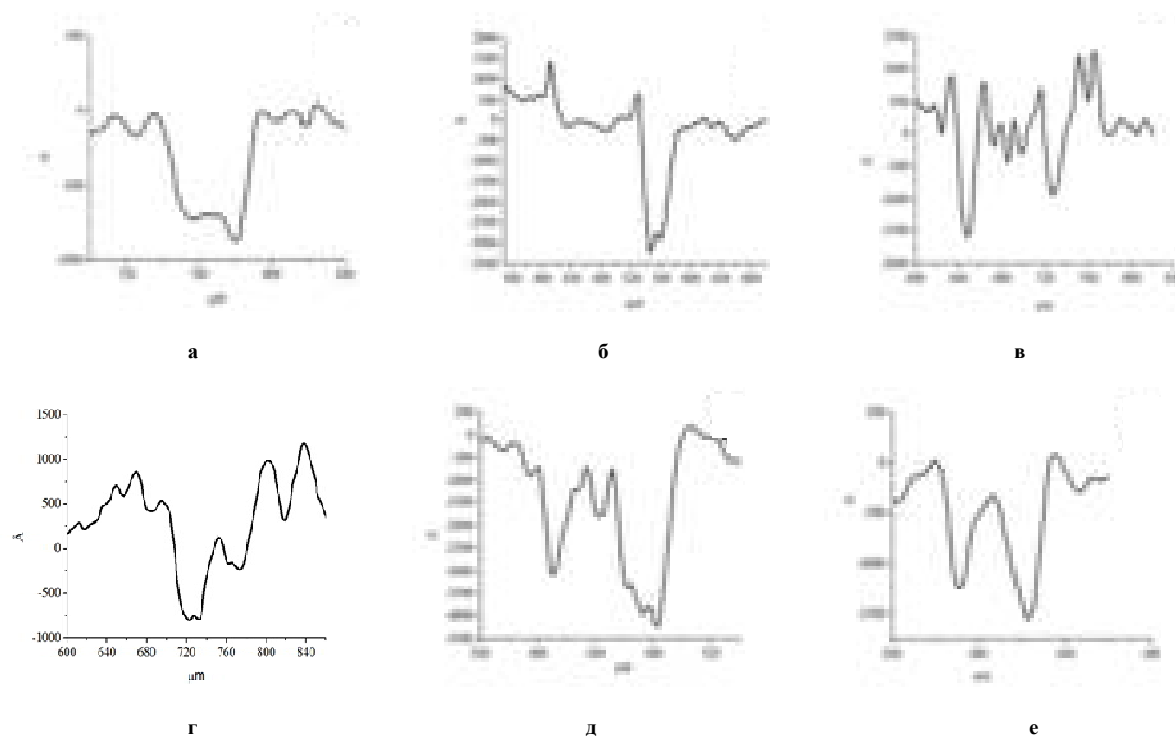


Рис. 8 – Вигляд профілограми поперек наплавлених шарів:
а - в – дослідження на повітря при сухому терті;
г - е – дослідження у емульсолі; а, г – наплавлені шари з ПДCr5B3;
б, д – наплавлені шари з ПДCr5B3Al2; в, е – наплавлені шари з ПДCr5B3AlMg

Встановлено, що поверхня ПДCr5B3Al2 містить в собі крихкі складові, та має більш розвинуту шорстку поверхню (рис. 6, а). Проте наплавлена поверхня із ПДCr5B3AlMg (рис. 6, б) більш пластичною. Руйнування відбувається за умов викришування дрібних нанометричних включень Fe(Cr Mn)Si.

Таблиця 3

Площа перерізу доріжок тертя, мкм²

Середовище	ПДCr10B3AlMg	ПДCr10B3Al2	ПДCr10B3AlMg
Повітря	$0,3 \times 10^{-4}$	$0,34 \times 10^{-4}$	$0,35 \times 10^{-4}$
Емульсол	$0,41 \times 10^{-4}$	$0,48 \times 10^{-4}$	$0,39 \times 10^{-4}$

Досліджено зношування за умов руху керамічної кульки при сухому терті на повітрі та у середовищі емульсолу. Хімічний склад емульсолу (вихідний): аміни 15 - 20 %, жирні кислоти 25 - 35 %, Ж 12 10 - 20 %, олива мінеральна 30 - 49 %. З морфологія поверхні доріжок тертя (рис. 7, а - в) видно, що наплавлені шари з матеріалу ПДCr5B3 (рис. 7, а) є найменш пошкодженими, в той час, як поверхня наплавлених шарів з ПД Cr5B3Al2 та ПД Cr5B3AlMg у місці контакту з кулькою є подряпана, присутні сліди пластичного руйнування. Коефіцієнт тертя при випробуванні на повітрі у всіх матеріалах був на рівні 0,1. Випробування у емульсолі показало, що спостерігається більше пошкодження наплавлених шарів (рис. 7, г - е). Це підтверджується профілографічними дослідженнями (рис. 8), площа перерізу доріжок тертя (табл. 3) при зношуванні у середовищі емульсол у всіх випадках є більша (рис. 8, г - е), ніж на повітрі (рис. 8, а - в). Це пов'язано з низькою корозійною стійкістю наплавлених шарів, оскільки екзотермічні реакції сприяли вигорянню Cr із наплавлених шарів.

Висновки

1. Досліджено мікроструктуру наплавлених шарів із ПДCr5B3, ПДCr5B3Al2, ПДCr5B3AlMg, що наплавлені автоматичним методом під шаром флюсу ОСЦ45м. Наплавлені шари із ПДCr5B3 характеризуються дендритною структурою з осями 1, 2 – ого порядку, мікроструктура складається із твердих боридних та карборидних фаз заліза легованих хромом.

2. Відбувається модифікація мікроструктури при додаванні ПА, та порошку ПАМ у шихту ПДCr5B3 Пластинчасті осі 1, 2 - ого порядку змінюють геометрію, стають округлими. Додавання Al+Mg сприяють підвищенню гомогенності твердого розчину завдяки екзотермічним реакціям, що проходять під час наплавлення.

3. Середня мікротвердість наплавлених шарів ПДCr5B3 становить 700 HV, з додаванням ПА підвищується до 780 HV, однак наплавлені шари є пористі. Із додаванням алюмінієво – магнієвого порошку ПАМ твердість наплавлених шарів знижується до 700 HV.

4. Підвищується зносостійкість наплавлених шарів з ПДCr5B3AlMg у 1,5 рази за умов зношування закріпленим абразивом та у 3,5 рази при зношуванні за умов ударних навантажень.

Література

1. Добровольский А. Г. Абразивная износостойкость материалов / Добровольский А. Г., Кошеленко П. И // Справочное пособие. – К.: “Теника”, 1989. – 128 с.
2. Yuksel N. Wear behavior–hardness–microstructure relation of Fe–Cr–C and Fe–Cr–C–B based hardfacing alloys / Yuksel N., S_ahin S // Materials and Design 58 (2014) 491–498
3. Лившиц. Л. С. Металловедение для сварщиков (сварка сталей) / Машиностроение, 1979. – 253 с.
4. Buchely M. The effect of microstructure on abrasive wear of hardfacing alloys / Buchely M, Gutierrez J, Leon L, Toro A // Wear – 2005. – №259 P. 52–61
5. M. Varga. Impact of microstructure on high temperature wear resistance / M. Varga, H. Winkelmann, E. Badisch // Procedia Engineering 10 (2011) 1291–1296.
6. А.Г. Панов. Влияние микроструктуры фсгм-модификаторов на кристаллизацию и микроструктуру высокопрочных чугунов / А.Г. Панов // Металлургия и материаловедение № 1(2013) 209 – 219
7. C. Katsich. Erosive wear of hardfaced Fe–Cr–C alloys at elevated temperature / C. Katsich, E. Badisch, Manish Roy, G.R. Heath, F. Franek // Wear 267 (2009) 1856–1864

Надійшла в редакцію 16.09.2015

Pohmurska H.V. Student, M.M., Voytovich A.A. Modification of microstructure weld layers based cored wire with addition Al, Mg.

Surfacing materials system Fe–Cr–B–C are widely used for the restoration and strengthening of machine parts. The peculiarity of this material is satisfactory durability under conditions of abrasive wear. However, presence of shock adversely affects the durability clad layers as microstructure consisting of coarse solid phases are hubs to create microcracks. In work the deposited layers of powder wire PD Cr10B4 which were put in charge of powdered additives PA and AMP. Established that the application of PA and AMP affect the microstructure dendritic Rounding off axis.

Key words: dendritic axes, shock loadings, microstructure, microhardness, wearproofness.

References

1. Dobrovolsky AG abrasive wear resistance of materials, Dobrovolsky A. G., and P. Koshelenko, Reference supplies. Tenika, 1989., 128 p.
2. Yuksel N. Wear behavior–hardness–microstructure relation of Fe–Cr–C and Fe–Cr–C–B based hardfacing alloys , Yuksel N., S_ahin S, Materials and Design 58 (2014), pp. 491–498
3. Livshits. LS Metallurgy Welding (welding of steels) , Mechanical Engineering, 1979. 253 p.
4. Buchely M. The effect of microstructure on abrasive wear of hardfacing alloys , Buchely M, Gutierrez J, Leon L, Toro A , Wear. 2005, No259, pp. 52–61
5. M. Varga. Impact of microstructure on high temperature wear resistance, M. Varga, H. Winkelmann, E. Badisch , Procedia Engineering 10 (2011) 1291–1296.
6. AG Panov. Effect of microstructure MgFeSi modifier on crystallization and microstructure of ductile iron , AG Panov, Metallurgy and Materials No 1 (2013), pp. 209 – 219.
7. C. Katsich. Erosive wear of hardfaced Fe–Cr–C alloys at elevated temperature , C. Katsich, E. Badisch, Manish Roy, G.R. Heath, F. Franek , Wear 267 (2009), pp. 1856–1864.