

**Савуляк В.І.,
Шенфельд В.Й.,
Панасюк С.О.**

Вінницький національний технічний
університет,
м. Вінниця, Україна
E-mail: vsavulyak@mail.ru

**ВПЛИВ МІКРОСТРУКТУРИ
ВИСОКОВУГЛЕЦЕВИХ ШАРІВ,
ОТРИМАНИХ МЕТОДОМ
ЕЛЕКТРОДУГОВОГО НАПЛАВЛЕННЯ
З ВИКОРИСТАННЯМ ВУГЛЕЦЕВИХ
ВОЛОКНИСТИХ МАТЕРІАЛІВ,
НА ПАРАМЕТРИ ЗНОСОСТІЙКОСТІ
В УМОВАХ АБРАЗИВНОГО СЕРЕДОВИЩА**

УДК 620.178: 621.891

У статті подано результати дослідження зносостійкості в умовах абразивного середовища високовуглецевих покриттів, нанесених методом електродугового наплавлення з використанням вуглецевих волокнистих матеріалів, досліджено вплив їх мікроструктури. Аналіз отриманих даних показав, що більшу зносостійкість в умовах абразивного середовища мають покриття з ледебуритною структурою. Найбільшу інтенсивність зношування мають високовуглецеві покриття з мартенситно-аустенитною структурою.

Ключові слова: зносостійкість, тертя, покриття, фазові перетворення, абразивне середовище.

Вступ

Аналіз причини виходу з ладу елементів машин та механізмів показує, що приблизно 50 % з них мають ознаки абразивного зношування. В деяких випадках кількість зношених деталей внаслідок дії абразиву може досягати навіть 80 %. Абразивному зношуванню піддається велика кількість сільськогосподарських, гірничих, транспортних, дорожньо-будівельних машин та транспортуючих пристроїв, вузлів металургійного обладнання, робочих коліс та напрямних апаратів гідравлічних турбін, лопаток газових турбін, бурильного обладнання нафтової та газової промисловості тощо [1, 2].

З погляду зношування та міцності матеріалу, основним елементом, що впливає на тривалість роботи окремих елементів машин, є поверхневий шар. Наплавлення, як один із способів формування поверхневого шару і його експлуатаційних властивостей, дозволяє одержати шари з відповідним хімічним складом з необхідною міцністю та стійкістю до абразивного зношування.

Зносостійкість матеріалу залежить від багатьох факторів, які впливають на взаємодію поверхонь тертя, але, на погляд авторів [3], вельми суттєвою є структура поверхневих шарів тертя, яка характеризується енергією взаємодії між фазами, когезією, а відповідно і протидією виниканню дислокаційних дефектів, що веде до викришування твердих фаз. Це є наслідком того, що дислокації концентруються на границях зерен, підвищуючи крихкість матеріалу.

В роботах [4, 5] автори доводять, що за рахунок контрольованого тепловедення можливо керувати структуроутворенням наплавленого високовуглецевого покриття. Це пояснюється тим, що при регулюванні швидкості наплавлення від 26 до 11 м/год (рідка зварювальна ванна існує від 0,8 до 5 с) спостерігається зміна швидкості кристалізації та охолодження наплавленого металу. Швидкість кристалізації в інтервалі температур 1700 ... 1500 °С – від 2000°C/c до 800°C/c, в інтервалі температур 1500 ... 1000 °С – від 1800°C/c до 600°C/c. Швидкість охолодження в інтервалі температур 1000 ... 500 °С змінюється від 730°C/c до 350°C/c, а в інтервалі температур 500 ... 50 °С – від 120°C/c до 70°C/c.

Для роботи в парах тертя «високовуглецеве покриття – сталь» необхідно отримувати структури, у яких відсутні структурно-вільні карбіди.

Мета і постановка задачі

Метою роботи є визначення впливу мікроструктури високовуглецевих шарів, отриманих методом електродугового наплавлення з використанням вуглецевих волокнистих матеріалів, на параметри зносостійкості в умовах абразивного середовища.

Виклад матеріалів досліджень

Для вивчення впливу структури наплавлених високовуглецевих покриттів на параметри зносостійкості використовувались зразки з різними структурами. Відповідні структури високовуглецевих покриттів отримали шляхом зміни швидкості охолодження наплавленого металу [6].

Випробуваннями на знос піддавалися наплавлені зразки з такими структурами (по три зразки в серії): Ледебурит 100%; Аустеніт 20% + Мартенсит 10% + Ледебурит 70%; Аустеніт 60% + Мартен-

сит 30% + Ледебурит 10%; Аустеніт 60% + Мартенсит 40%; Мартенсит 80% + Аустеніт 20%; Мартенсит 90% + Аустеніт 10%. [6].

Нанесення покриття виконувалось на установці для наплавлення в середовищі захисних газів УД-209М, дротом Нп-30ХГСА. В якості джерела вуглецю застосували вуглецеву тканину марки УУТ-2 ТУ6-06 И 78-85, із щільністю 250 г/м².

Після наплавлення зразки шліфувалися на глибину до 1 мм.

Досліджування зношування високовуглецевих покриттів, отриманих наплавленням з використанням вуглецевих волокнистих матеріалів, проводились за схемою торцевого тертя (рис. 1), яка розроблена та використовується на кафедрі технології підвищення зносостійкості Вінницького національного технічного університету. На пружній основі установки 1 наклеєні тензодатчики 7. За допомогою датчиків 7 визначається момент тертя та нормальне навантаження, значення яких за допомогою аналогово-цифрового перетворювача 8 виводяться на комп'ютер. На пружній основі 1 за допомогою шпильок закріплюється також контргтіло 3. Конструкція захищена кожухом 2. При терті в абразивному середовищі на контргтіло насаплюється абразив, Зразки 5 за допомогою гвинтів закріплюються в тримачеві 4.

Визначається момент тертя, шлях тертя, швидкість тертя і нормальне зусилля, яке змінювали за допомогою гир. Величину зношування визначали за втратою маси зразка шляхом зважування на аналітичних вагах RADWAG AS220C.

Кількісно інтенсивність зношування поверхні (масова та лінійна) визначалась за формулами (1, 2).

$$I_m = \Delta m / L, \text{ [мг/км]}, \quad (1)$$

де Δm – ваговий знос, мг;

L – шлях тертя, км.

$$I_n = \frac{\Delta m}{S \cdot \rho \cdot L} \cdot 10^{-4}, \quad (2)$$

де Δm – ваговий знос, г;

S – площа тертя зразка, см²;

ρ – густина матеріалу зразка, г/см³;

L – шлях тертя, км.

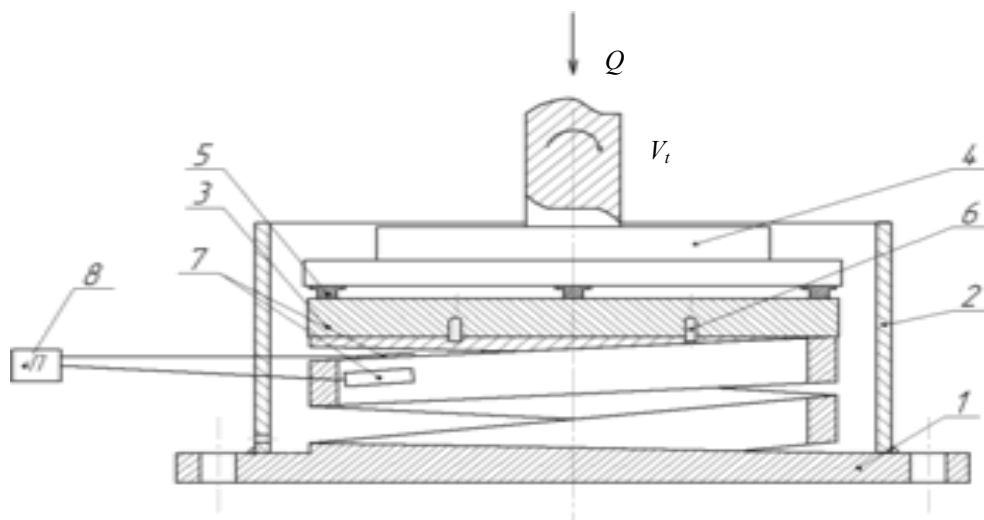


Рис. 1 – Схема для випробування на зношування:

1 – пружна основа установки; 2 – кожух; 3 – контргтіло;

4 – тримач зразків; 5 – зразки; 6 – шпильки;

7 – тензодатчики; 8 – аналогово-цифровий перетворювач

Твердість поверхонь, які досліджуються складає HRC 41 ... 60 в залежності від структури покриття. Твердість контргтіла - HRC 54 ... 56. Зразки перед зважуванням промивались авіаційним бензином, а потім висушувались в термостаті при 373 К протягом 1 год.

Величина основних параметрів процесу тертя визначались після завершення процесу припрацювання, стабілізації коефіцієнта тертя і вагового зносу пари тертя.

В табл. 1 показані режими зношування в умовах абразивного тертя.

Таблиця 1

Режими зношування в умовах абразивного тертя

№	Параметри	Величина
1	Швидкість тертя, V_t	0,9 м/с
2	Питоме навантаження на зразок, Q	5 МПа
3	Вид тертя	Абразивне
4	Шлях тертя	14000 м
5	Матеріал абразива	Кварцевий пісок фракцією 600 мкм і твердістю 13500 МПа

Результати експериментальних досліджень зношування зразків з різними структурними складовими в абразивному середовищі при різному шляху тертя показані в табл. 2.

Таблиця 2

Зношування наплавлених високовуглецевих зразків з різними структурними складовими в абразивному середовищі при різному шляху тертя

№ з/п	Структура покриття	Твердість, HRC	Ваговий знос, г			
			шлях тертя, м			
			3500	7000	10500	14000
1	Мартенсит 90% + Аустеніт 10%	54	0,035	0,065	0,086	0,105
2	Мартенсит 80% + Аустеніт 20%	54	0,042	0,077	0,106	0,131
3	Аустеніт 60% + Мартенсит 40%	48	0,058	0,107	0,149	0,187
4	Аустеніт 60% + Мартенсит 30% + Ледебурит 10%	44	0,045	0,084	0,115	0,138
5	Аустеніт 20% + Мартенсит 10% + Ледебурит 70%	51	0,027	0,05	0,07	0,088
6	Ледебурит 100%	60	0,021	0,039	0,054	0,068

Кінетика зношування високовуглецевих покриттів при наступних структурних складових покриття показана на рис. 2.

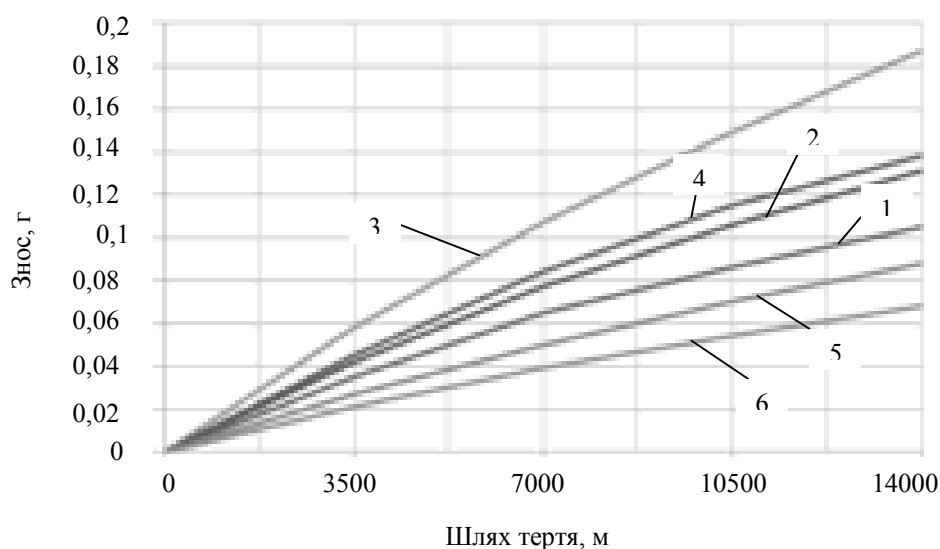


Рис. 2 – Кінетика абразивного зношування високовуглецевих покриттів з структурним складом:

- 1 – Мартенсит 90% + Аустеніт 10%;
- 2 – мартенсит 80% + Аустеніт 20%;
- 3 – аустеніт 60% + Мартенсит 40%;
- 4 – аустеніт 60% + Мартенсит 30% + Ледебурит 10%;
- 5 – аустеніт 20% + Мартенсит 10% + Ледебурит 70%;
- 6 – ледебурит 100%

Кількісно інтенсивність зношування поверхні на шляху тертя 14000 метрів визначалась за формулою (2) [7]. Отримані розрахунки зведено до табл. 3.

Інтенсивність зношування високовуглецевого покриття за умови зміни структурних складових покриття в абразивному середовищі

Інтенсивність зношування, $I_d \cdot 10^{-7}$ (шлях тертя 14000 м)					
мартенсит 90% аустеніт 10%	мартенсит 80% аустеніт 20%	аустеніт 60% мартенсит 40%	аустеніт 60% мартенсит 30% ледебурит 10%	аустеніт 20% мартенсит 10% ледебурит 70%;	ледебурит 100%
1,9	2,4	3,4	2,5	1,6	1,2

На рис. 3 показана зносостійкість високовуглецевих покриттів з різними структурами в умовах абразивного середовища (шлях тертя 14000 м).

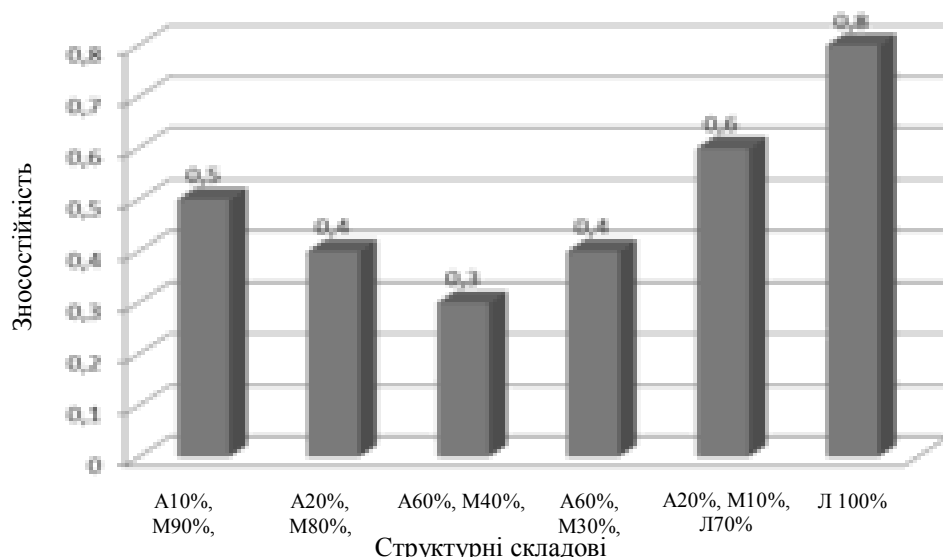


Рис. 3 – Зносостійкість високовуглецевого покриття з різними структурами в умовах абразивного середовища

Як показано вище, високу зносостійкість в процесі абразивного зношування з невисокими питомими тисками в контакті показують залізобуглецеві сплави з мартенситно - аустенітно - ледебуритною структурою. При часі існування зварювальної ванни в рідкому стані 1,2 секунди, отримане покриття складається з двох шарів. Швидкість кристалізації в інтервалі температур 1700 ... 1000 °С для такого режиму нанесення покриття складає 1600...1500 °С/с. Швидкість охолодження в інтервалі температур 1000 ... 500 °С складає 570 °С/с, а в інтервалі температур 500 - 50 °С складає 100 °С/с.

Накладемо криву охолодження на термодинамічну діаграму та прослідкуємо можливі структурні перетворення отриманого покриття (рис. 4, а).

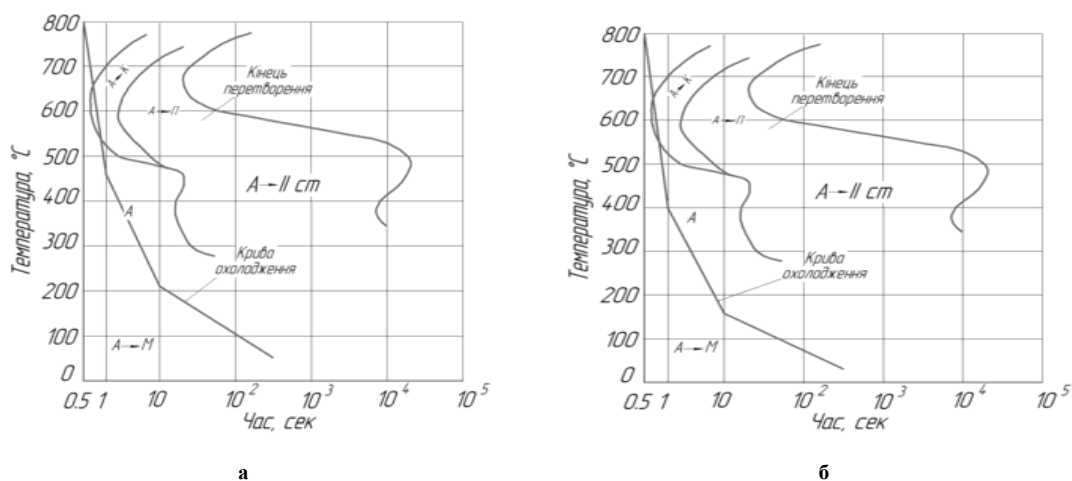


Рис. 4 – Термодинамічна діаграма та крива охолодження наплавленого покриття:

а – ($t_p = 1,2$ с);

б – ($t_p = 0,8$ с)

При даних швидкостях охолодження, в інтервалі температур від 670 °С до 540 °С, відбувається перетворення аустеніту в ледебурит. При температурі 140 °С та нижче відбувається утворення високовуглецевого пластинчастого мартенситу з переохолодженого аустеніту (Нц 960), а частина аустеніту залишається (рис. 5). Але за рахунок ще більш повільного охолодження концентрація мартенситу в наплавленому шарі буде складати біля 20 ... 30 % (рис. 5).

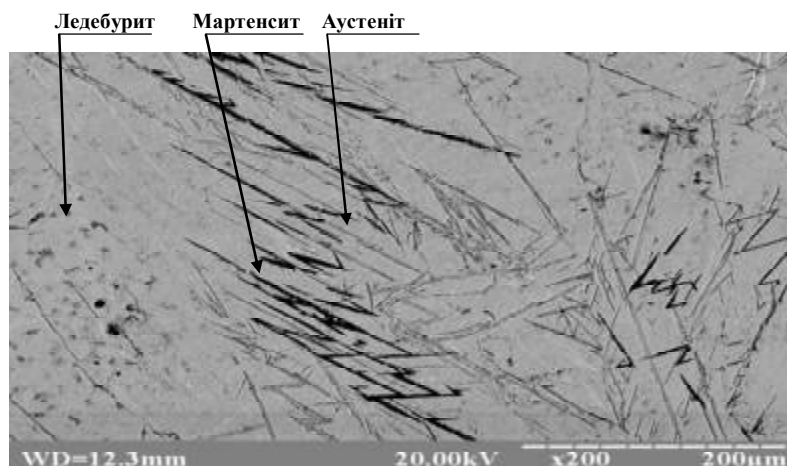


Рис. 5 – Мікроструктури верхнього шару наплавленого високовуглецевого покриття при $t_p = 1,2$ с

Перехідна зона розглянутих зразків складається з відносно дрібної цементитної сітки, яка охоплює пластинки високовуглецевого мартенситу (рис. 6).

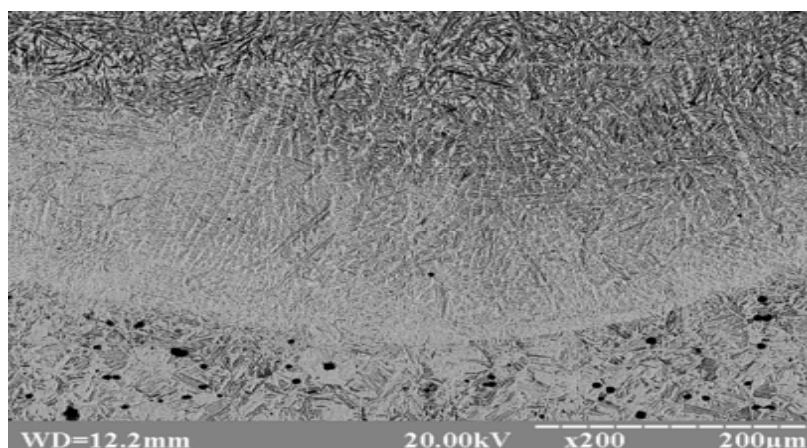


Рис. 6 – Мікроструктури перехідної зони наплавленого високовуглецевого покриття при $t_p = 1,2$ с

Зменшення часу існування зварювальної ванни в рідкому стані до 1 секунди, збільшує швидкість кристалізації та швидкість охолодження. Швидкість кристалізації в інтервалі температур 1700 ... 1000 °С складає 1900 ... 1630 °С/с. Швидкість охолодження в інтервалі температур 1000 ... 500 °С складає 650 °С/с, а в інтервалі температур 500 ... 50 °С складає 110 °С/с. Структурні перетворення отриманого високовуглецевого покриття подібні до перетворень, що відбуваються при часі існування зварювальної ванни в рідкому стані 1,2 сек (рис. 4, а). Але кількість мартенситу зменшується приблизно до 5 ... 10 % (рис. 7).

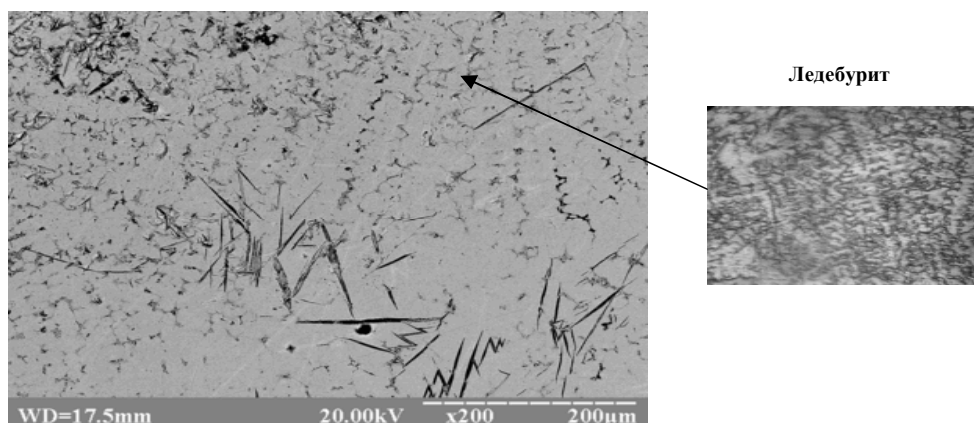


Рис. 7 – Мікроструктури наплавленого валка високовуглецевого покриття при $t_p = 1$ с

Перехідна зона складається з високовуглецевого пластинчастого мартенситу та залишкового аустеніту (рис. 8).

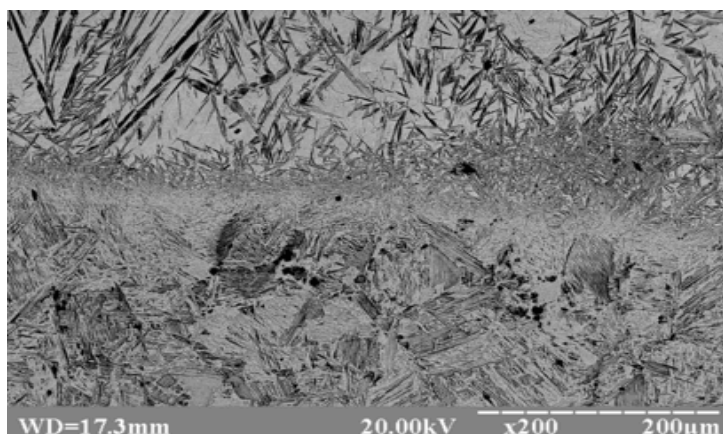


Рис. 8 – Мікроструктури перехідної зони наплавленого високовуглецевого покриття при $t_p = 1$ с

Для зварювальної ванни з часом існування в рідкому стані 0,8 секунди швидкість кристалізації в інтервалі температур 1700 ... 1000 °C складає 2000 ... 1800 °C/c. Швидкість охолодження в інтервалі температур 1000 ... 500 °C складає 730 °C/c, а в інтервалі температур 500 ... 50 °C складає 120 °C/c. Використовуючи термодинамічну діаграму, прослідкуємо структурні перетворення отриманого високовуглецевого покриття (рис. 4, б). При температурі 650 °C починається перетворення аустеніту в ледебурит (рис. 9). Дане перетворення закінчиться при температурі 540 °C. Отримане покриття має структуру білого чавуну.

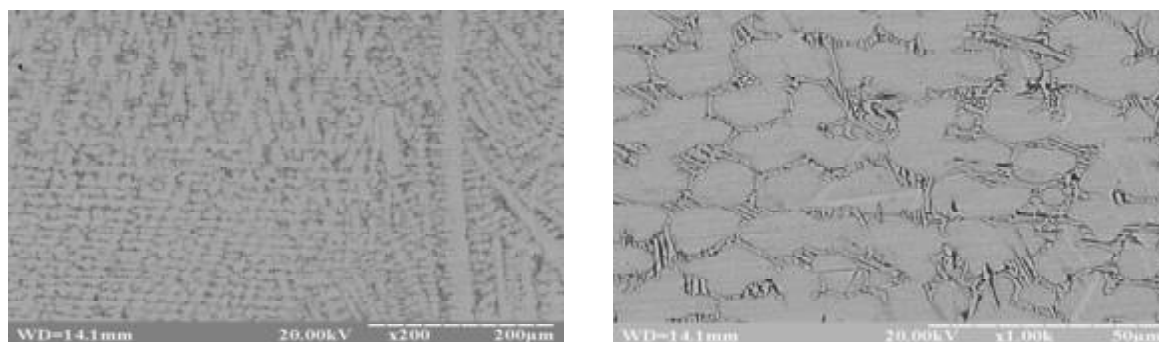


Рис. 9 – Мікроструктури наплавленого високовуглецевого покриття при $t_p = 0,8$ с

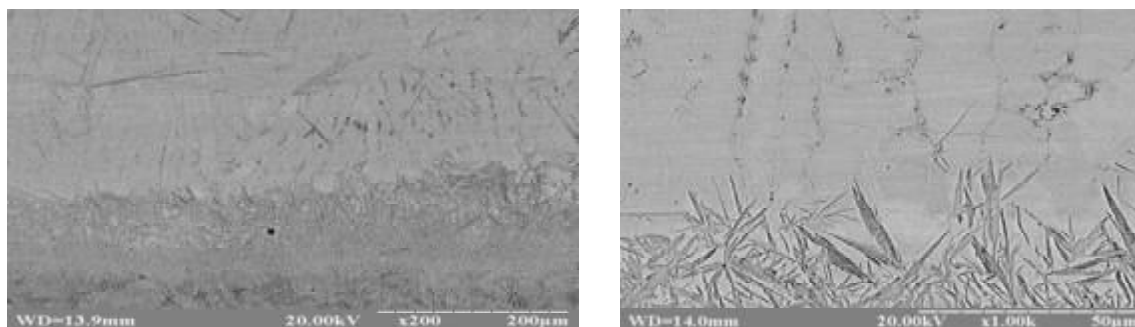


Рис. 10 – Мікроструктура перехідної зони наплавленого високовуглецевого покриття при $t_p = 0,8$ с

Перехідна зона складається з високовуглецевого пластинчастого мартенситу, який утворився за рахунок відводу тепла в матеріал заготовки. Внаслідок цього збільшилась швидкість охолодження. Також залишилася невелика кількість аустеніту (рис. 10).

Висновки

За рахунок контрольованого тепловведення можливо керувати структуроутворенням наплавленого високовуглецевого покриття, його фізико-механічними властивостями, та зносостійкістю.

Аустеніт та вторинні структури в умовах абразивного середовища впливають слабо на інтенсивність зношування. Найкраще працюють структури з ледебуритною структурою (HRC 60). Викришування крихких твердих включень суттєво не змінюють ситуацію, оскільки в середовищі і так багато включень абразиву.

Аналіз отриманих даних показав, що найменшу інтенсивність зношування (більшу зносостійкість) в умовах абразивного середовища мають високовуглецеві покриття з ледебуритною структурою. Найбільшу інтенсивність зношування (меншу зносостійкість) мають високовуглецеві покриття з мартенситно-аустенітною структурою.

Література

1. Попов С. М. Триботехнічні та матеріалознавчі аспекти руйнування сталей і сплавів при зношуванні / С. М. Попов, Д. А. Антонюк, В. В. Нетребко. – Запоріжжя: ЗНУ, ВАТ «Мотор Січ». – 2010. – 368 с.
2. Сорокин В. М. Основы триботехники и упрочнения поверхностей деталей машин / В. М. Сорокин, А. С. Курников. – Н.: Новгород: ВГАВТ, 2006. – 296с.
3. Лобурак В. Я. Вплив структури поверхні тертя на зносостійкість матеріалу / В. Я. Лобурак, І. Й. Перкатюк // Фізика і хімія твердого тіла. – 2012. – № 3. – С. 778-780.
4. Савуляк В. І. Вплив мікроструктури високовуглецевих шарів, отриманих методом електродугового наплавлення з використанням вуглецевих волокнистих матеріалів, на параметри зносостійкості в умовах сухого тертя ковзання / В. І. Савуляк, В. Й. Шенфельд, С. О. Панасюк // Наукові нотатки, вип. 49, ч. 1. – Луцьк, 2015 – С. 139 - 143.
5. Savulyak V. I. Obtaining high-carbon coatings from martensite-austenitic structure for work under conditions of sliding friction without lubricants / V. I. Savulyak, V. Y. Shenfeld, S. O. Panasyuk // TEHNOMUS «New Technologies and Products in Machines Manufacturing Technologies» journal / Romania, 2015 – s462–468.
6. Савуляк В. І. Вплив швидкості наплавлення на зносостійкість високовуглецевих шарів, нанесених методом електродугового наплавлення з використанням вуглецевих волокнистих матеріалів / В. І. Савуляк, В. Й. Шенфельд, О. Б. Янченко // «Наукові нотатки» міжвузівський збірник (за галузями знань «машинобудування та металообробка», «інженерна механіка», «металургія та матеріалознавство») / випуск 41 частина 1 – Луцьк, 2013 – С. 224-229.
7. Сафонова Б. П. Инженерная трибология: оценка износостойкости и ресурса трибосопряжений / Б. П. Сафонова, А. В. Бегова. – Новомосковск, 2004. – 65 с.

Надійшла в редакцію 16.09.2015

Savulyak V.I., Shenfeld V.Y., Panasiuk S.O. Effect of high-carbon layer microstructure obtained by arc welding using carbon fiber materials, the parameters of durability to abrasion environment.

The aim is to determine the effect of high-carbon layer microstructure obtained by arc welding using carbon fiber materials, the parameters of durability to abrasion environment.

Introduction article shows the importance of the problem by exploring the authors.

The main article provides partial equipment on which tests conducted on samples of high carbon wear. Installation is developed and used to improve the wear resistance technology department of Vinnytsia National Technical University. High carbon samples had different structure. There are modes in which the samples tested for wear.

Shown wear high carbon intensity of coverage provided coverage changes structural components in abrasive environments. Further highlights high wear resistance carbon coatings with different structures abrasion protection (by rubbing 14,000 m). Also, an analysis of the impact of each layer of high-microstructure obtained by arc welding using carbon fiber materials, the parameters of durability to abrasion environment.

At the end of the article, the authors suggest the findings of the study. Analysis of the data showed that a greater wear resistance under abrasive environment with coverage of ledeburytnoyu structure. The greatest intensity of wear have a covering of high carbon martensite-austenitic structure.

Key words: wear resistance, friction, coatings, phase transformations, abrasive environment.

References

1. Popov S.M., Antonyuk D.A., Netrobko V.V. Trybotekhnichni ta materialoznavchi aspekty ruynuvannya staley i splaviv pry znoshuvanni, Zaporizhzhya: ZNU, VAT «Motor Sich», 2010, 368 s.
2. Sorokyn V.M., Sorokyn V.M., Kurnykov A.S. Osnovy trybotekhniki y uprochneniya poverkhnosti detalei mashyn. N.: Novhorod: VHAVT, 2006. 296s.
3. Loburak V.Ia., Perkiatiuk I.I. Vplyv struktury poverkhnii tertia na znosostiikist materialu. Fizyka i khimiiia tverdoho tila. 2012. № 3.– S. 778–780.
4. Savuliak V.I., Shenfeld V.I., Panasiuk S.O. Vplyv mikrostruktury vysokovuhletsevykh sharyv, otrymanykh metodom elektroduhovoho naplavlennia z vykorystanniam vuhletsevykh voloknystykh materialiv, na parametry znosostiikosti v umovakh suchoho tertia kovzannia. «Naukovi notatky» mizhvuzivskiyi zbirnyk (za haluziamy znan «mashynobuduvannia ta metaloobrobka», «inzhenerna mekhanika», «metalurhiia ta materialoznavstvo»). vypusk 49 chastyna 1. Lutsk, 2015. S.139–143.
5. Savulyak V. I., Shenfeld V.I., Panasiuk S.O. Obtaining high-carbon coatings from martensite-austenitic structure for work under conditions of sliding friction without lubricants. TEHNOMUS «New Technologies and Products in Machines Manufacturing Technologies» journal. Romania, 2015. s. 462–468.
6. Savuliak V. I. Shenfeld V.I., Yanchenko O.B. Vplyv shvydkosti naplavlennia na znosostiikist vysokovuhletsevykh sharyv, nanesenykh metodom elektroduhovoho naplavlennia z vykorystanniam vuhletsevykh voloknystykh materialiv. «Naukovi notatky» mizhvuzivskiyi zbirnyk (za haluziamy znan «mashynobuduvannia ta metaloobrobka», «inzhenerna mekhanika», «metalurhiia ta materialoznavstvo»). vypusk 41 chastyna 1. Lutsk, 2013. S.224–229.
7. Safonova B. P., Begova A.V. Inzhenernaya tribologiya: otsenka iznosostoykosti i resursa tribosopryazheniy. Novomoskovsk, 2004. 65 s.