

УДК 620.178: 621.891

**В. І. Савуляк, В. Й. Шенфельд, С. О. Панасюк***Вінницький національний технічний університет***ВПЛИВ МІКРОСТРУКТУРИ ВИСОКОВУГЛЕЦЕВИХ ШАРІВ, ОТРИМАНИХ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОДУГОВОГО НАПЛАВЛЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ВУГЛЕЦЕВИХ ВОЛОКНИСТИХ МАТЕРІАЛІВ, НА ПАРАМЕТРИ ЗНОСОСТІЙКОСТІ В УМОВАХ СУХОГО ТЕРТЯ КОВЗАННЯ**

*У статті подано результати дослідження зносостійкості в умовах сухого тертя ковзання високовуглецевих покриттів, нанесених методом електродугового наплавлення з використанням вуглецевих волокнистих матеріалів. Аналіз отриманих даних показав, що більшу зносостійкість в умовах сухого тертя мають покриття з мартенситно-аустенітною структурою. Найбільшу інтенсивність зношування мають високовуглецеві покриття з ледебуритною структурою.*

*Ключові слова:* зносостійкість, тертя, покриття, фазові перетворення.

*Рис. 5. Табл. 2. Літ. 6.*

**В. И. Савуляк, В. Й. Шенфельд, С. О. Панасюк****ВЛИЯНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТЫХ СЛОЕВ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ НАПЛАВКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ, НА ПАРАМЕТРЫ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ В УСЛОВИЯХ СУХОГО ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ**

*В статье показано исследование износостойкости в условиях сухого трения скольжения высокоуглеродистых покрытий, нанесенных методом электродуговой наплавки с использованием углеродных волокнистых материалов. Анализ полученных данных показал, что большую износостойкость в условиях сухого трения имеют покрытия из мартенситно-аустенитной структурой. Наибольшую интенсивность износа имеют высокоуглеродистые покрытия с ледебуритной структурой.*

*Ключевые слова:* износостойкость, трения, покрытия, фазовые превращения.

**V. I. Savulyak, V. Y. Shenfeld, S. O. Panasiuk****EFFECT OF MICROSTRUCTURE OBTAINED BY LAYERS HIGHLY ARC SURFACING USING CARBON FIBER MATERIAL PARAMETERS WEAR RESISTANCE UNDER DRY SLIDING FRICTION**

*This article shows research durability under conditions of high-dry friction coatings deposited by arc surfacing using carbon fiber materials. Analysis of the data showed that greater wear resistance under dry friction are coated with martensite-austenite structure. The greatest intensity of wear with high-carbon coating with ledeburite structure.*

*Key words:* wear resistance, friction, coating, phase transformations.

Зносостійкість матеріалу залежить від багатьох факторів, які впливають на взаємодію поверхонь тертя, але, на погляд авторів [1], вельми суттєвою є структура поверхневих шарів тертя, яка характеризується енергією взаємодії між фазами, силами їх зчеплення, а відповідно протидією виниканню дислокаційних дефектів, що веде до викришування твердих фаз. Це пояснюється тим, що дислокації концентруються на границях зерен, підвищуючи крихкість матеріалу.

Доцільно виділити два основних шляхи синтезу зносостійких сплавів [2]:

- створення матеріалів з структурою, яка поглинає енергію та розсіює її шляхом зворотних фазових та структурних перетворень;

- створення матеріалів з відносно термостабільною структурою, яка розсіює енергію через теплові поля.

При створенні зносостійких сплавів з термостабільною структурою (сплави евтектичного класу) довговічність визначається температурним порогом стійкості структур, малою енергією міжфазних границь. Такі сплави можуть розглядатися як композиційні матеріали.

В роботі [3] показано, що властивості аустенітно – мартенситного, аустенітно – карбідного та аустенітно-мартенситно-карбідного сплавів за однакової кількості аустеніту суттєво відрізняються. Для аустенітно-карбідної структури зносостійкість в умовах абразивного середовища збільшується при зміні складу карбідної фази типу  $Me_7C_3$  на  $Me_{23}C_6$  за рахунок того, що у фазі  $Me_{23}C_6$  решітка більш когерентна до решітки аустенітної матриці.

В роботах [4, 5] досліджено вплив залишкового аустеніту та твердої надлишкової фази на зносостійкість наплавлених сплавів.

У процесі зношування таких сталей з метастабільною аустенітною структурою під впливом енергії процесу тертя на поверхні може відбуватися утворення мартенситу деформації.

Вплив аустеніту на зносостійкість чітко виявляється на сплавах, структура яких після відповідної термічної обробки має максимально можливу кількість залишкового аустеніту без надлишкових карбідів.

З підвищенням температури гартування твердість заевтектійних сплавів знижується через збільшення в структурі кількості залишкового аустеніту. Зносостійкість при цьому, навпаки, зростає.

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

Випробуванням на знос піддавалися наплавлені зразки з такими структурами (по три зразки в серії): 1) Ледебурит 100%; 2) Аустеніт 20% + Мартенсит 10% + Ледебурит 70%; 3) Аустеніт 60% + Мартенсит 30% + Ледебурит 10%; 4) Аустеніт 60% + Мартенсит 40%; 5) Мартенсит 80% + Аустеніт 20%; 6) Мартенсит 90% + Аустеніт 10% (Рис. 1) [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/м<sup>2</sup>.

Після наплавлення зразки проточувалися та шліфувалися на глибину до 1 мм.

За зміною маси зразків при сухому терті визначали вагове зношування покриттів, які відрізнялися структурами.

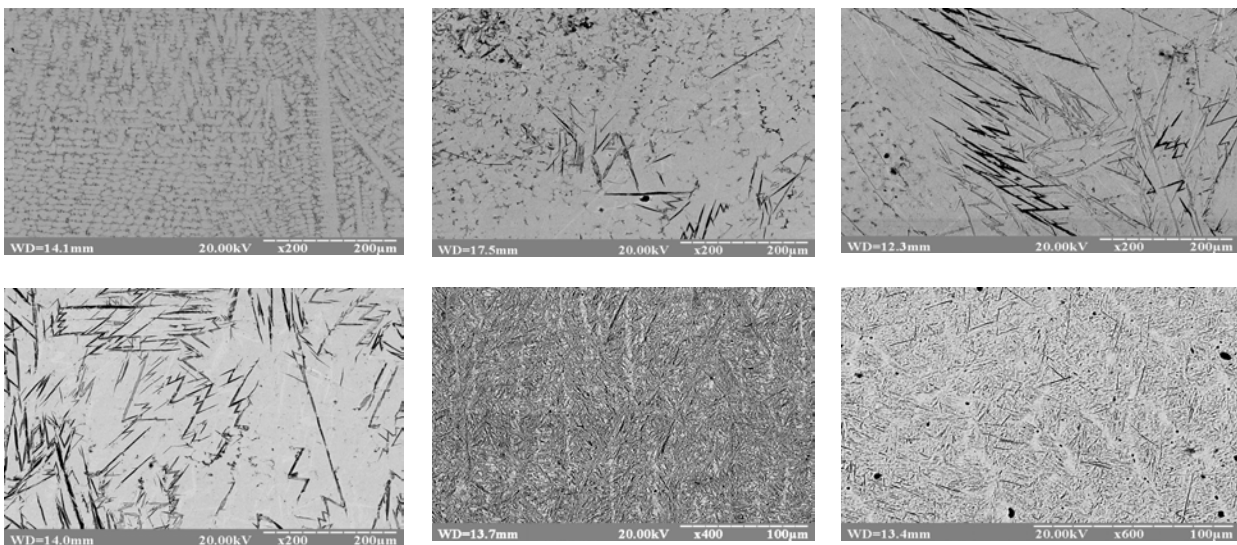


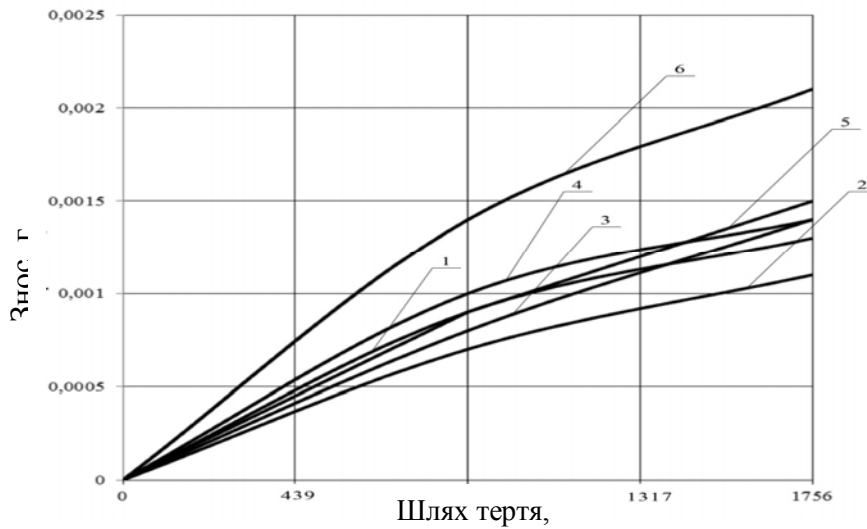
Рис. 1. Мікроструктури зразків наплавлених високовуглецевих покриттів при швидкостях охолодження

Результати експериментальних досліджень зношування зразків з різними структурними складовими в умовах сухого тертя в залежності від шляху ковзання показані в таблиці 1.

Таблиця 1. Зношування наплавлених високовуглецевих зразків з різним структурним складом в умовах сухого тертя ковзання

№ з/п	Структура покриття	Твердість, HRC	Ваговий знос, г			
			Шлях тертя, м			
			439	878	1317	1756
1	Мартенсит 90% + Аустеніт 10%	54	0,0005	0,0009	0,0011	0,0013
2	Мартенсит 80% + Аустеніт 20%	54	0,0003	0,0007	0,0009	0,0011
3	Аустеніт 60% + Мартенсит 40%	48	0,0004	0,0008	0,0012	0,0014
4	Аустеніт 60% + Мартенсит 30% + Ледебурит 10%	44	0,0006	0,0010	0,0012	0,0014
5	Аустеніт 20% + Мартенсит 10% + Ледебурит 70%	51	0,0004	0,0009	0,0013	0,0015
6	Ледебурит 100%	60	0,0008	0,0014	0,0018	0,0021

Як видно з рисунка 2, вагове зношування високовуглецевих покриттів на шляху тертя 1756 метрів за середнім значенням змінюється в межах 0,0011-0,0021 г. Характер зношування є лінійним, що притаманно композиційним матеріалам (рис. 2).



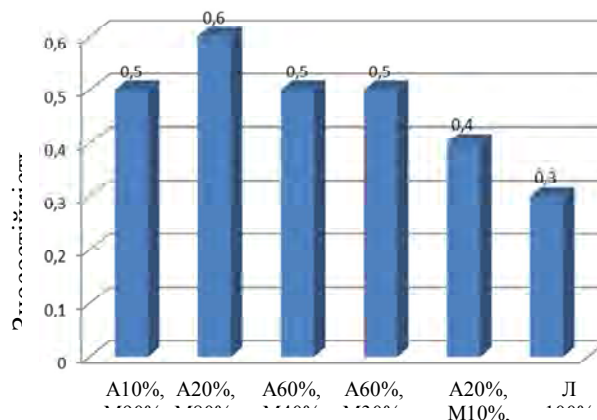
**Рис. 2. Кінетика зношування високовуглецевих покриттів з структурним складом:**  
**1) Мартенсит 90% +Аустеніт 10%; 2) Мартенсит 80% +Аустеніт 20%; 3) Аустеніт 60% +**  
**Мартенсит 40%; 4) Аустеніт 60% + Мартенсит 30% + Ледебурит 10%; 5)Аустеніт 20% +**  
**Мартенсит 10% + Ледебурит 70%;6) Ледебурит 100% в умовах сухого тертя**

Інтенсивність зношування високовуглецевих поверхонь на шляху тертя 1,8 кілометрів показана в таблиці 2.

**Таблиця 2. Інтенсивність зношування високовуглецевих покриттів з різною структурою при сухому терті**

Інтенсивність зношування, $I_{л} \cdot 10^{-8}$ (шлях тертя 1,8 км)					
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	1,6	2	2	2,2	3,1

На рисунку 3 показана зносостійкість високовуглецевих покриттів з різними структурами в умовах сухого тертя (шлях тертя 1,8 км).



**Рис. 3. Зносостійкість високовуглецевого покриття з різними структурами в умовах сухого тертя**

Поверхня зони тертя високовуглецевого покриття, яке складається з ледебуриту показана на рисунку 4 а,б. Топографія поверхні (рисунок 4 б) показує наявність на поверхні тертя, при шляху 1,8 км, наявність таких компонентів: основна поверхня (70%), зберегла якість, досягнуту після механічної обробки наплавленого прокриття. Деякі ділянки мають сліди зношування у вигляді подряпин.

По полю знімка топографії поверхні більш менш рівномірно розподілені тверді включення, які з'явилися внаслідок зношування покриття, та застрягли в м'якій матриці покриття. В основному це карбіди (цементит, легований цементит тощо).

Взаємне розтошування крупних карбідів відносно подряпин свідчить про те що вони приймали участь у їх формуванні.

На рисунку 4 а показана мікрофотографія поверхні тертя. На мікрофотографії видимі темні ділянки, окремі подряпини та білі ділянки. Мікроентгеноспектральний аналіз показав такі результати. На ділянці 1 вона покрита вторинними структурами, які складаються з складних оксидів Si, Cr, Mn та Fe, концентрація яких 0,55% O, 0,72% Si, 0,71% Cr, 1,03% Mn, 97,0% Fe. На ділянці 2 поверхня тертя також покрита вторинними структурами, які складаються з тих самих елементів, концентрація яких 5,6% O, 0,94% Si, 0,7% Cr, 0,85% Mn, 92,0% Fe. На ділянці 3 поверхня тертя характеризується наявністю виривів та сколів продуктів зношування. Хімічний склад ділянки 3 складається з 9,7% O, 1,96% Si, 1,4% Cr, 1,03% Mn, 85,3% Fe.

Наявність ледебуриту веде до його викришування. Площа та кількість оксидних структур зменшується, при цьому збільшується пошкодженість за механізмом царапання.

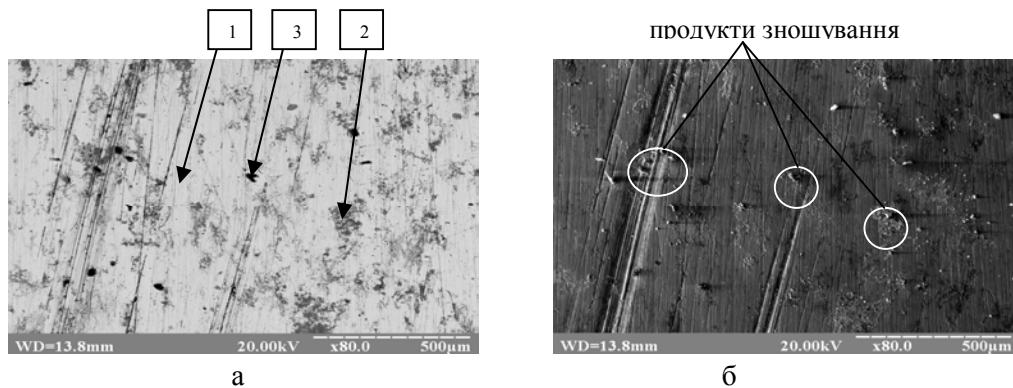


Рис. 4. Поверхня тертя високовуглецевого покриття з ледебуритною структурою після випробувань для сухого тертя: а – мікроструктура; б – топографія

Поверхня зони тертя високовуглецевого покриття, яке складається з Мартенситу 80% + Аустеніту 20% показана на рисунку 5 а,б. Топографія поверхні (рис. 5 б) показує наявність на поверхні тертя, при шляху 1,8 км, таких компонентів: основна поверхня (40%), зберегла якість, досягнуту після механічної обробки наплавленого прокриття.

На рисунку 5 а показана мікрофотографія поверхні тертя. На мікрофотографії видимі темні ділянки та білі ділянки.

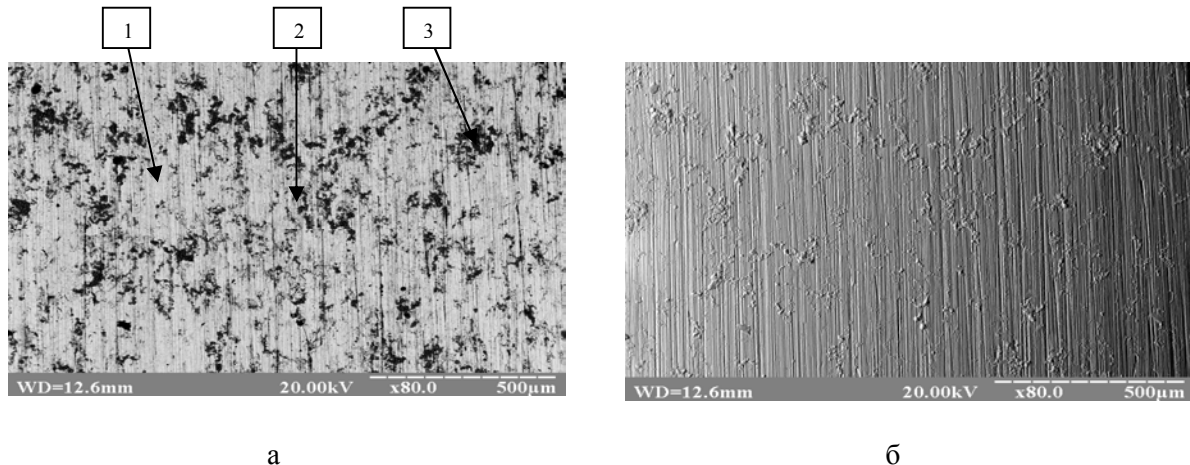


Рис. 5. Поверхня тертя високовуглецевого покриття з мартенситно-аустенітною структурою після випробувань для сухого тертя: а – мікроструктура; б – топографія

Мікрорентгеноспектральний аналіз показав такі результати. На ділянці 1 вона покрита вторинними структурами, які складаються з складних оксидів Si, Cr, Mn та Fe, концентрація яких 0,95% O, 0,73% Si, 0,76% Cr, 0,9% Mn, 96,7% Fe. На ділянці 2 поверхня тертя також покрита вторинними структурами, які складаються з тих самих елементів, концентрація яких 8,8% O, 0,66% Si, 0,42% Cr, 0,78% Mn, 89,4% Fe. На ділянці 3 поверхня тертя характеризується наявністю продуктів зношування. Хімічний склад ділянки 3 складається з 14,5% O, 1,06% Si, 0,3% Cr, 0,78% Mn, 82,7% Fe.

Відсутність ледебуриду веде до того, що на поверхні збільшується кількість вторинних структур у вигляді оксидів у 1,5 рази (їх концентрація). При цьому площа ділянок з оксидами збільшилась до 60%. Подряпин не спостерігається.

#### Висновки

1. В умовах сухого тертя метастабільний аустеніт, за рахунок поглинання частини енергії, що виділяється, перетворюється в мартенсит.

2. В умовах сухого тертя в наплавлених високовуглецевих покриттях з ледебуритною структурою спостерігається найбільша інтенсивність зношування ( $3,1 \cdot 10^{-8}$ ). Найменша інтенсивність зношування забезпечена в покриттях з мартенситно – аустенітною структурою ( $1,6 \dots 2 \cdot 10^{-8}$ ).

3. Високовуглецеві покриття з структурою, яка має залишковий аустеніт (близько 60%), показують вищу зносостійкість у порівнянні з ледебуритними покриттями.

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

1. 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.
2. Любарский И. М. Металлофизика трения / И. М. Любарский, Л. С. Палатник, М., "Металлургия" – 1976. – 175 с.
3. Лившиц Д. С. Основы легирования наплавленного металла / Д. С. Лившиц, Н. А. Гринберг, Э. Г. Куркумели, М., "Машиностроение", 1969. – С. 1–68.
4. 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.
5. Сорокин В. М. Основы триботехники и упрочнения поверхностей деталей машин / В. М. Сорокин, А. С. Курников – Н.: Новгород: ВГАВТ, 2006. – 296 с.
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.

Стаття прийнята до редакції 20.04.2015.