

УДК 621.791

В.І. Савуляк, В.Й. Шенфельд, О.Б. Янченко
ВПЛИВ ШВИДКОСТІ НАПЛАВЛЕННЯ НА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ
ВИСОКОВУГЛЕЦЕВИХ ШАРІВ, НАНЕСЕНИХ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОДУГОВОГО
НАПЛАВЛЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ВУГЛЕЦЕВИХ ВОЛОКНИСТИХ МАТЕРІАЛІВ

У статті проаналізовано вплив швидкості наплавлення на параметри зносостійкості високовуглецевих покриттів. Дослідженна залежність масового зносу наплавлених високовуглецевих зразків від твердості, що є функцією швидкості наплавлення.

Ключові слова: наплавлення, легування, зносостійкість, високовуглецеве покриття.

Форм. 11. Табл. 5. Рис. 4. Літ. 6.

В.И. Савуляк, В.И. Шенфельд, А.Б. Янченко
ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ НАПЛАВКИ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ
ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТЫХ СЛОЕВ, НАНЕСЕННЫХ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ
НАПЛАВКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УГЛЕРОДИСТЫХ ВОЛОКНИСТЫХ
МАТЕРИАЛОВ

В статье проанализировано влияние скорости наплавки на параметры износостойкости высокоуглеродистых покрытий. Исследована зависимость массового износа наплавленных высокоуглеродистых образцов от изменения твердости, которая является функцией скорости наплавки.

Ключевые слова: наплавка, легирование, износостойкость, высокоуглеродистое покрытие.

V. Savulyak, V. Shenfeld, A. Yanchenko
EFFECT FROM SPEED OF WELDING ON THE WEAR RESISTANCE OF HIGH-CARBON
COATED ARC SURFACING BY USING CARBON FIBER MATERIAL

The paper analyzes the effect from speed of welding on the wear resistance high-carbon coating. The dependence of the mass wear of high-carbon coating from the hardness of the samples at function of changing welding speed

Keywords: welding, alloying, wear resistance, high-carbon coating.

Під час наплавлення покриттів на поверхні сталевих деталей, що зносилися, прагнуть отримати досить високі властивості нанесеного металу за показниками зносостійкості та стійкості проти схоплювання і утворювання задирів. Таким вимогам відповідають покриття типу чавунів. Поеднання позитивних властивостей антифрикційних чавунних покриттів та сталевого осердя дозволяє створити шаруваті композити з добрими експлуатаційними властивостями [1-4]. Для реалізації поставленого завдання нами було запропоновано легування наплавленого покриття карбоном із застосуванням вуглецевої тканини марки УУТ-2 ТУ6-06 И 78-85. Схема наплавлення покриття показана на рис.1.

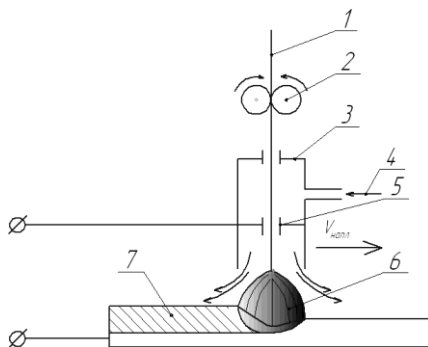


Рис. 1. Схема наплавлення покриття: 1 – зварювальний дріт; 2 – подаючі ролики; 3 – сопло; 4 – захисний газ; 5 – струмопідвід; 6 – дуга; 7 – наплавлений валик

Збільшення швидкості переміщення наплавної головки з дротом відносно заготовки під час наплавлення зменшує час існування рідкої зварювальної ванни. При цьому спостерігається збільшення твердості нанесеного високо вуглецевого покриття за рахунок збільшення швидкості кристалізації та більш швидкого охолодження нанесеного металу.

Досліджувалася залежність масового зносу наплавлених високо вуглецевих зразків від твердості, що змінилася внаслідок зміни швидкості наплавлення. Твердість визначалася на приладі Роквела, зношування – в умовах сухого тертя ковзання зразка по поверхні контр тіла, яке виготовлено з гартованої та відпущеної сталі 45. Величину зносу визначали за втратою маси

© В.І. Савуляк, В.Й. Шенфельд, О.Б. Янченко

зразка шляхом зважування на аналітичних вагах. Випробуванням на знос піддавалися серії наплавлених зразків, отриманих на швидкостях наплавлення: 11, 14, 17, 20, 23, 26 м/год. Інші параметри режиму наплавлення фіксувалися на рівні: напруга на дузі $U=28$ В, швидкість подачі дроту $V_{др}=104$ м/год. та його діаметр $d_e=1,4$ мм. Нанесення покриття виконувалось на установці для наплавлення в середовищі захисних газів УД-209М, дротом Нп-30ХГСА. Після наплавлення з поверхні зразків знімався шар покриття на глибину 1 мм з використанням шліфування.

Для швидкості наплавлення 11 м/год відбувається утворення однорідного дрібнозернистого мартенситу (Н_ц 960) (рис.2 а) .

При зменшенні швидкості наплавлення до 17 м/год, утворюється крупногольчастий мартенсит (рис. 2 б).

Мартенситна основа має найбільшу зносостійкість при абразивному зношуванні без ударних навантажень.

Зі зменшенням швидкості наплавлення до 20...26 м/год. тепло вкладення в деталь є недостатнім для значного зростання температури у зоні фазових перетворень. Це призводить до скорочення часу кристалізації зварювальної ванни та швидкого формування наплавленого валика з утворенням покриття з структурами легованого білого чавуну (ледебурит, цементит, карбіди) (рис.2 в).

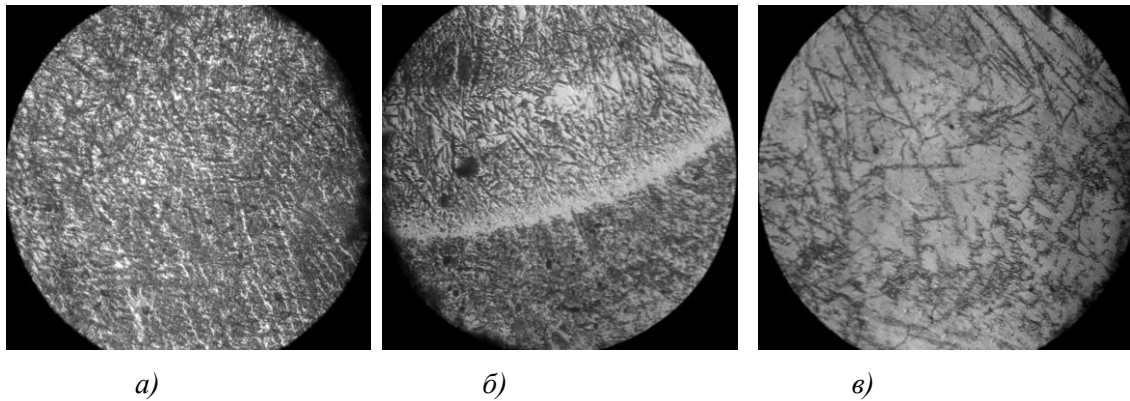


Рис. 2. Мікроструктури наплавлених високовуглецевих покриттів

Таблиця 1. Вихідні параметри тертя

Параметри	Величина
Швидкість тертя	0,4 м/с
Питоме навантаження на один зразок	2 МПа
Вид тертя	Сухе
Шлях тертя	1756 м
Матеріал контртіла	Сталь 45, після гартування та відпуску

Величину зносу визначали за втратою маси зразка шляхом зважування на аналітичних вагах. Як значення твердості і зносу приймалися середнє арифметичне трьох вимірювань.

Кількісно зносостійкість поверхні I визначалась за формулою (1) [5].

$$I = \Delta m / L, \quad (1)$$

де: Δm – ваговий знос, мг;
 L – шлях тертя, км.

Отримані наступні значення (HRC, Δm) (табл.2).

Завдання регресійного аналізу:

1. Отримати рівняння регресії $I = f(HRC)$ для кожного зразка і для всієї вибірки ($n = 18$).
2. Перевірити наявність кореляційного зв'язку $I = f(HRC)$ в кожному випадку.
3. Проаналізувати отримані результати.

Таблиця 2. Параметри зносу наплавлених покриттів

Зразок	Швидкість наплавлення, м/год.	Твердість HRC (X)	Знос Δm , г	Зносостійкість, мг/км (Y)
1	11	42	0,0017	0,097
2	11	38	0,0024	0,14
3	11	40	0,0022	0,12
4	14	43	0,0017	0,097
5	14	44	0,0016	0,091
6	14	45	0,0012	0,068
7	17	41	0,0012	0,068
8	17	44	0,0014	0,08
9	17	47	0,0013	0,074
10	20	50	0,0013	0,074
11	20	48	0,0014	0,08
12	20	46	0,0015	0,085
13	23	51	0,0011	0,06
14	23	52	0,0010	0,057
15	23	53	0,0012	0,068
16	26	52	0,0015	0,085
17	26	50	0,0013	0,074
18	26	54	0,0011	0,06

Для розрахунку характеристик вибірки використовувались формули [6].

1. Середнє арифметичне вимірювання

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i; \quad \bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i. \quad (2)$$

2. Емпірична дисперсія S^2 (середнє квадратичне відхилення)

$$S_x^2 = \frac{1}{n-1} \left[\sum X_i^2 - \frac{(\sum X_i)^2}{n} \right]; \quad S_y^2 = \frac{1}{n-1} \left[\sum Y_i^2 - \frac{(\sum Y_i)^2}{n} \right]. \quad (3)$$

3. Емпіричне стандартне відхилення

$$S = \sqrt{S_x^2 \cdot S_y^2}; \quad (4)$$

4. Емпірична коваріантність

$$S_{xy} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}) \cdot (Y_i - \bar{Y}); \quad (5)$$

5. Коефіцієнт кореляції

$$r_{xy} = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_x^2 \cdot S_y^2}}; \quad (6)$$

6. Коефіцієнти лінійної регресії

$$b = \frac{S_{xy}}{S_x^2}; \quad a = \bar{Y} - b\bar{X}. \quad (7)$$

7. При роботі з малими вибірками ($n < 30$) необхідно визначити наявність кореляційного зв'язку між вимірними величинами X_i , Y_i за співвідношенням

$$r_{xy} \geq r_{xy_{\min}}. \quad (8)$$

Рівняння регресії у загальному вигляді:

$$Y = a + bX. \quad (9)$$

Таблиця 3. Розрахункова таблиця для побудови статистичної моделі

i	X _i	Y _i	(X _i) ²	(Y _i) ²	X _i Y _i
1	42	0,097	1764	0,0094	4,07
2	38	0,14	1444	0,0196	5,32
3	40	0,12	1600	0,0144	4,8
4	43	0,097	1849	0,0094	4,17
5	44	0,091	1936	0,0083	4,00
6	45	0,068	2025	0,0046	3,06
7	41	0,068	1681	0,0046	2,79
8	44	0,08	1936	0,0064	3,52
9	47	0,074	2209	0,0054	3,48
10	50	0,074	2500	0,0055	3,7
11	48	0,08	2304	0,0064	3,84
12	46	0,085	2116	0,0072	3,91
13	51	0,06	2601	0,0036	3,06
14	52	0,057	2704	0,0032	2,96
15	53	0,068	2809	0,0046	3,60
16	52	0,085	2704	0,0072	4,42
17	50	0,074	2500	0,0055	3,7
18	54	0,06	2916	0,0036	3,24

Розрахунок коефіцієнтів у рівняннях регресії виконаємо за формулами 2-7 та зведемо у табл.4.

Таблиця 4. Результат розрахунку

Вибірка	Рівняння регресії	Коефіцієнт кореляції
Зразок 1 (3 точки)	Y=1,84-0,043X	-2,9
Зразок 2 (3 точки)	Y=0,723-0,0145X	-0,906
Зразок 3(3 точки)	Y=0,03+0,001X	-0,7
Зразок 4(3 точки)	Y=0,344-0,0055X	-1,57
Зразок 5(3 точки)	Y= -0,146+0,004X	1,25
Зразок 6(3 точки)	Y=0,437-0,007X	-1,12
Всі зразки(18 точок)	Y= 0,5-0,009X	-2,1

Для всієї вибірки рівняння регресії має вигляд

$$Y=0,5-0,009X. \tag{10}$$

Коефіцієнт кореляції

$$r_{xy} = 2,1.$$

Перевіримо наявність кореляційного зв'язку для вибірки даних по всіх зразках. Визначимо допустиме значення коефіцієнта кореляції.

Для n=18 та α=0,90 маємо коефіцієнт Стюдента t=1,717

$$r_{XY_{\min}} = \sqrt{\frac{t_{\alpha,n}}{t_{\alpha,n} + n - 2}}; \tag{11}$$

$$r_{XY_{\min}} = \sqrt{\frac{1,717}{1,717 + 18 - 2}} = 0,3113.$$

Умова (8) виконується.

Побудова рядів зносостійкості наплавлених зразків. Виконаємо ранжування зразків по зносостійкості з використанням експериментальних даних (таблиця 3). З метою проведення

аналізу запропонованих залежностей, розрахунок зносостійкості виконуємо за рівнянням регресії (9). Результати наведено в табл. 5.

Таблиця 5. Експериментальний I_E і розрахунковий I_R ряди зносостійкості

Швидкість наплавлення, м/год.	I_E , мг/км	I_R , мг/км	Швидкість наплавлення, м/год.	I_E , мг/км	I_R , мг/к м
11	0,119	0,12	20	0,08	0,07 6
14	0,085	0,084	23	0,062	0,06 1
17	0,074	0,075	26	0,073	0,07 4

Отримані результати розташовуємо за значеннями зносостійкості наплавлених зразків, визначених експериментально (по I_E). Для цього користуємося програмою Excel (Майстер діаграм-гістограма), порівнюючи зносостійкість, отриману експериментально з розрахунковою.

Припущення про подібність експериментального та розрахункового рядів зносостійкості можна зробити на основі візуальної оцінки діаграми (рис.3), яка побудована за даними табл.5.

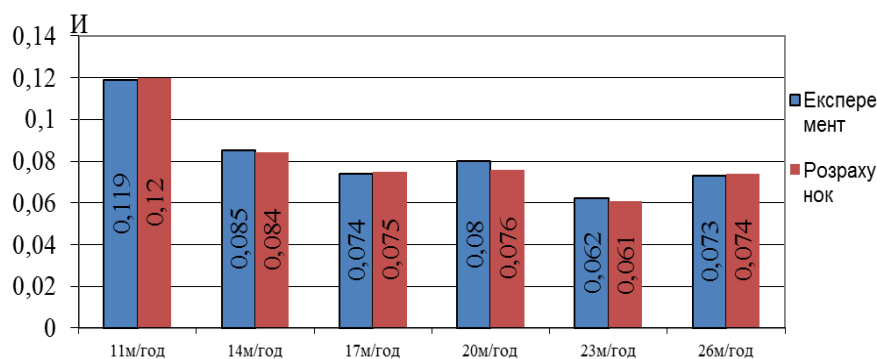


Рис. 3. Ряди зносостійкості наплавлених зразків: 1 - експериментальні значення; 2 - розрахункові значення

За зміною втрати маси визначали вагове зношування покриттів Δm зразків, які отримані на різних швидкостях наплавлення. Як видно з рис.4а вагове зношування високовуглецевих покриттів на шляху тертя 1756 метрів за середнім значенням змінюється в межах 0,0011-0,0021 г. Однак, втрата маси контр тіла змінюється в межах 1,3033-2,294 г. (рис.4б), характер залежності зношування від шляху є близьким до лінійного, що притаманно композиційним матеріалам.

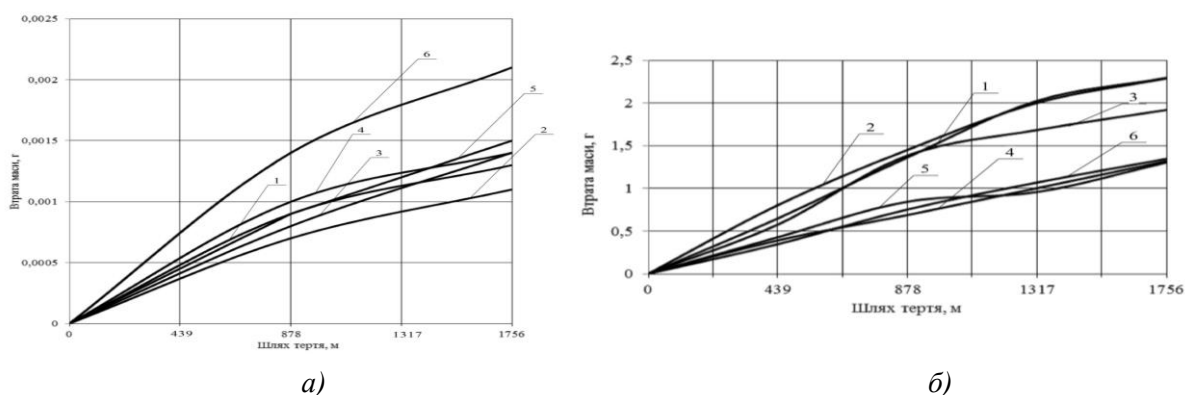


Рис. 4. Кінетика зношування а) високовуглецевих покриттів, наплавлених на швидкостях: 1 – 26м/год.; 2 – 23м/год.; 3 – 20м/год.; 4 – 17м/год.; 5 – 14м/год.; 6 – 11м/год.; б) контртіла

Висновки. В умовах сухого тертя наплавлене композиційне покриття типу чавун у парі з гартованою сталлю 45 приблизно однакової твердості показало на порядок вищу зносостійкість.

Зі зменшенням швидкості наплавлення спостерігається збільшення зносу та зменшення зносостійкості нанесеного високо вуглецевого покриття, які в основному корелюють з його твердістю.

Відхилення від лінійності отриманих залежностей зносостійкості є результатом складних фізико-хімічних процесів на поверхнях тертя з утворенням вторинних структур.

1. *Матвійшин П. В.* Розрахунок зносостійкості і довговічності градієнтних покриттів при абразивному зношуванні / П.В. Матвійшин, В. А. Гончар, П. В. Каплун, В. Г. Каплун // Проблеми трибології. – 2012. – № 1. – С. 116–119.
2. *Миронов Л. И.* Износостойкость наплавленных покрытий / Л. И. Миронов // Вестник машиностроения. – 1973. – № 5. – С. 63–65.
3. *Евграфов В.А.* Влияние твердости поверхностного слоя на абразивный износ рабочих органов почвообрабатывающих машин / В. А. Евграфов, Б. Н. Орлов // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2004. – № 3. – с.21–22.
4. *Гарбер М. Е.* Отливки из белых износостойких чугунов / М. Е. Гарбер. Москва: Машиностроение, 2010.
Богданович П. Н. Трение и износ в машинах / П. Н. Богданович, В. Я. Прушак. – Мн.: Выш. шк., 1999. – 374 с.
5. *Сафонова Б. П.* Инженерная трибология: оценка износостойкости и ресурса трибосопряжений / Б.П. Сафонова, А.В. Бегова– Новомосковск, 2004. – 65 с.

Стаття надійшла до редакції 27.04.2013.