

КОРОЗИЙНА ТРИВКІСТЬ ВІБРОНАПЛАВЛЕНОГО МЕТАЛУ З ПОРОШКОВИХ ДРОТІВ БАЗОВОЇ СИСТЕМИ Fe–Cr–В

Г. В. ПОХМУРСЬКА¹, М. М. СТУДЕНТ², А. Р. ДЗЮБИК¹,
А. А. ВОЙТОВИЧ¹, О. П. ХЛОПИК²

¹ Національний університет "Львівська політехніка";

² Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів

Вивчено корозійну тривкість покривів, отриманих за допомогою наплавлення під шаром флюсу. Наплавлений метал одержано з порошкових дротів (ПД) на основі Fe марки ПД Х10Р4Г2С. За результатами фазового аналізу виявлено, що наплавлений метал складається з матриці FeCr та твердого розчину боридів Fe₂B і (FeCr)B, що підтверджено за допомогою спектрального аналізу. Показано, що використання горизонтальної вібрації за амплітуди 300 μm призводить до диспергування фаз боридів (FeCr)B, (Fe₂B) до 2...5 μm², що підвищує зносотривкість наплавленого металу за абразивного зношування. Втрата маси за зношування закріпленим і незакріпленим абразивом зменшується у 2–2,5 рази. Встановлено, що наплавлення під дією вібрації негативно впливає на корозійну тривкість металу, отриманого з ПД Х10Р4Г2С, оскільки збільшується частка катодних включень.

Ключові слова: корозійна тривкість, електрохімічний потенціал, абразивна зносотривкість, втрата маси.

Наплавлення під шаром флюсу широко застосовують для відновлення та продовження ресурсу елементів устаткування. Порошковий дріт (ПД) системи Fe–Cr–В використовують для наплавлення зношених поверхонь, щоб відновити їх розміри [1, 2]. Ця технологія характеризується низькою вартістю, а наплавлені шари мають задовільну зносотривкість. Разом з тим корозійна тривкість наплавленого металу не задовольняє вимоги щодо роботоzдатності за впливу технологічних середовищ. У мікроструктурі наплавленого металу формуються бориди заліза, які виконують роль катодних включень, що сприяє розчиненню матриці.

Для підвищення довговічності наплавлених шарів системи Ni–Cu–W–В, отриманих плазмовим методом, раніше використовували постійну вібрацію підкладки в горизонтальному напрямі. За такої вібрації відбувалося диспергування структурних елементів сталі та їх закруглення. Корозійна тривкість при цьому зростала практично у 8 разів [3–6].

Мета роботи – дослідити корозійну та зносотривкість наплавлених шарів, отриманих наплавленням поверхні ПД Х10Р4Г2С за різних амплітуд та напрямів вібрації підкладки.

Матеріали і методика дослідження. ПД Х10Р4Г2С наплавили на підкладку із низьковуглецевої сталі Ст3сп під шаром флюсу ОСЦ 45М (mass%: 44 SiO₂, 44 MnO, < 2,5 MgO, 6...9 CaF₂, < 6,5 CaO, < 2 Fe₂O₃, < 0,15 S, < 0,15 P), діаметр дроту 2,6 mm з коефіцієнтом заповнення 25%. Хімічний склад шихти ПД Х10Р4Г2С такий: 10% Cr, 4% В, 2% Mn, 1% Si. Наплавляли зразки розміром 300×150×10 mm. Їх горизонтальну та вертикальну вібрацію здійснювали з частотою 100 Hz за амплітуди переміщення столика 70 та 300 μm. За горизонтальної вібрації столик

переміщували поперек наплавленого валика. Перед наплавленням ПД та флюс висушували за температури 250°C упродовж 2,5 h. Наплавляли валики з використанням підвісної головки АБС із живленням від генератора ПСО 500. Параметри наплавлення: струм 450...480 А, напруга дуги 30...32 V, швидкість подачі ПД 96 м/х, швидкість наплавлення 62 м/х, перекривання доріжок 30%. Фазовий аналіз виконали на рентгенівському дифрактометрі D8 Discover з Co-випромінюванням. Хімічний склад шару та його мікроструктуру дослідили на електронному мікроскопі EVO 40 XVP. Зносотривкість наплавлених шарів за абразивного зношування незакріпленим абразивом оцінили згідно з ГОСТ 23.208-79. Просушений кварцовий пісок з розміром частинок 200...1000 μm безперервно подавали у зону тертя гумового диска зі зразком. Швидкість тертя становила 0,3 м/с, а сила його притискання до зразка 2,4 кН. Для визначення зносу наплавленого шару закріпленим абразивом використали абразивний круг СМ-2 на керамічній зв'язці. Лінійна швидкість тертя становила 0,8 м/с, навантаження в зоні лінійного контакту 1,5 кН. Оцінювали знос після однакової довжини випробувального шляху 720 м за зміною маси зразків.

Електрохімічні випробування виконували за кімнатної температури за допомогою потенціостата ПИ-50-1 з відповідним програмним забезпеченням у потенціодинамічному режимі за триелектродною схемою. Електрод порівняння – насичений хлоридсрібний, допоміжний – платиновий. Корозивним середовищем служував 3%-ий розчин NaCl.

Результати експерименту та їх обговорення. На основі досліджень фазового складу встановлено, що в наплавлених шарах без вібрації присутні фази ферохрому FeCr та боридів (FeCr)B, Fe₂B, що підтверджено спектральним аналізом. У феритній матриці FeCr містяться великі включення залізохромистих боридів (FeCr)B та дрібні включення Fe₂B (рис. 1а).

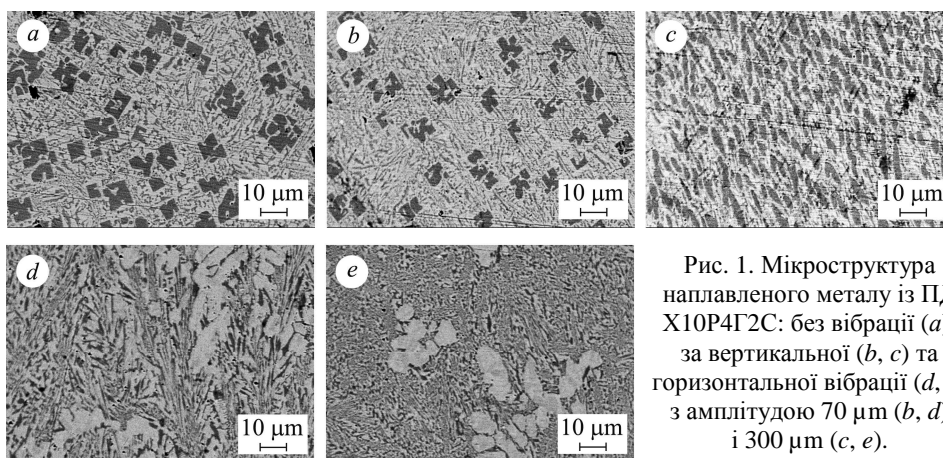


Рис. 1. Мікроструктура наплавленого металу із ПД Х10Р4Г2С: без вібрації (а), за вертикальної (b, c) та горизонтальної вібрації (d, e) з амплітудою 70 μm (b, d) і 300 μm (c, e).

Fig. 1. Microstructure of deposited layers with core wire of Cr10B4Mn2Si: without vibration (a), for vertical (b, c) and horizontal vibration (d, e) with the amplitude of 70 μm (b, d) and 300 μm (c, e).

На гребнях валиків площа включень фази (FeCr)B змінювалась в околі 10...150 μm^2 . Водночас у зоні перекривання валиків, де ця фаза повторно плавилася, їх площа зростала до 50...300 μm^2 . Густина твердих включень боридів (FeCr)B та Fe₂B на одиницю площі становила 0,18.

За наплавлення зразків з використанням вертикальної вібрації амплітудою 70 μm тверді включення (FeCr)B істотно подрібнилися (рис. 1b), їх площа становила 5...60 μm^2 . У зоні перекривання валиків площа боридів збільшилася до 15...

75 μm^2 . Зі зростанням амплітуди вертикальної вібрації зразка до 300 μm у мікроструктурі наплавленого шару (рис. 1с) бориди (FeCr)В зазнали ще більшого подрібнення, їх площа становила 5...10 μm^2 , у зоні перекривання – 5...25 μm^2 . Підвищення амплітуди коливання також впливає на розподіл густини боридів у матриці і за амплітуди 70 μm вона становить 0,1. Зі зростанням амплітуди коливання до 300 μm густина боридів збільшується до 0,7.

Під час наплавлення за горизонтальної вібрації спостерігаємо суттєве подрібнення структурних складників. Зокрема, за прикладання до зразка амплітуди 70 μm чітко зафіксували подрібнення залізохромистих боридів (FeCr)В (рис. 1d). Їх площа змінювалася від 5 до 10 μm^2 . Зі збільшенням амплітуди коливань до 300 μm (рис. 1e) розміри включень (FeCr)В подрібнилися ще сильніше до 2...5 μm^2 . За горизонтальної вібрації зразка у мікроструктурі наплавлених шарів виявили виділення матричної фази FeCr у вигляді нерівновісних зерен. За амплітуди коливання зразків 70 μm їх ширина становить 10 μm та довжина 40 μm на гребенях валиків, а за амплітуди 300 μm ці розміри дещо зменшилися (5 і 30 μm , відповідно). Густина боридних включень за амплітуди 70 μm становила 0,25. Зі збільшенням амплітуди до 300 μm густина зросла до 0,8.

Досліджено розподіл мікротвердості на поверхні поздовжнього мікрошліфа, заміри виконано поперек валиків від їх гребеня до зони перекривання з суміжним валиком. Середня мікротвердість металу, наплавленого без вібрації, становила ~600 HV, розкид 550...650 HV. Мікротвердість наплавленого металу за горизонтальної вібрації амплітудою 70 μm становила ~775 HV (700...850 HV), зі збільшенням амплітуди до 300 μm досягнули ще вищої мікротвердості з середнім значенням 880 HV (850...910 HV). За зміни вібрації на вертикальну при амплітуді 70 μm середня мікротвердість становила 825 HV (700...950 HV). З підвищенням амплітуди вертикальної вібрації до 300 μm зросло середнє значення мікротвердості до 865 HV (750...980 HV). Таким чином, наплавлений метал за горизонтальної вібрації має меншу мікротвердість, але більшу гомогенність, ніж наплавлені шари за вертикальної вібрації [7, 8].

За втратою маси зразків внаслідок зношування наплавленої поверхні закріпленим і незакріпленим абразивом встановили, що горизонтальна вібрація підвищує зносотривкість наплавленого металу (табл. 1).

Таблиця 1. Втрата маси зразків з наплавленими шарами, 10^{-3} g

Зношування	Без вібрації	Горизонтальна		Вертикальна	
		70	300	70	300
		μm			
закріпленим абразивом	35	30	15	100	150
незакріпленим абразивом	20	15	10	45	35

На основі електрохімічних досліджень (рис. 2) можна зробити висновок, що поляризаційні криві характеризуються змішаним катодно-анодним контролем. Виявили, що наплавлений метал без впливу вібрації (рис. 2, крива 1) володіє найвищою корозійною тривкістю. Нахил катодної та анодної гілок є пологий, повільно зростає. За вертикальної вібрації з амплітудою коливання 70 μm (рис. 2, крива 2) спостерігаємо ділянку пасивації в інтервалі потенціалів $E = -0,5...-0,25$ mV. Проте відбувається різке розчинення металу на анодній гілці після проходження потенціалом значення $-0,25$ mV. За зміни вібрації на горизонтальну (рис. 2, крива 4) наплавлений метал розчиняється стрімко без утворення ділянок пасивації.

За підвищення амплітуди коливання до 300 μm при вертикальній вібрації отримали найвищий струм корозії $i_{\text{кор}} = 9,2 \cdot 10^{-3} \text{ mA/cm}^2$, проте крива характеризується повільним зростанням струму в інтервалі $-0,5 \dots -0,25 \text{ mV}$. У наплавленому металі за горизонтальної вібрації (рис. 2, крива 5) в пасивній області при зростанні потенціалів від $-0,5$ до $-0,25 \text{ mV}$ спостерігаємо деяке зниження анодного струму. Це пояснюється утворенням фазових плівок у порах і на поверхні, які й сприяють пасивації [5, 6]. Проте після проходження потенціалом значення $-0,25 \text{ mV}$ анодна крива стрімко зростає, що свідчить про втрату корозійної тривкості наплавленого металу.

Таблиця 2. Електрохімічні характеристики наплавлених шарів з ПД Х10Р4Г2С без і з вібрацією підкладки у 3%-му розчині NaCl

Вид обробки	$E_i, \text{ V}$	$I_{\text{кор}}, \text{ mA/cm}^2$
Без вібрації	-0,62	$2,3 \cdot 10^{-3}$
Вертикальна вібрація 70 μm	-0,58	$5,1 \cdot 10^{-3}$
Вертикальна вібрація 300 μm	-0,64	$9,2 \cdot 10^{-3}$
Горизонтальна вібрація 70 μm	-0,61	$2,9 \cdot 10^{-3}$
Горизонтальна вібрація 300 μm	-0,64	$5,1 \cdot 10^{-3}$
Сталь СтЗсп без обробки	-0,67	$7,7 \cdot 10^{-3}$

Рис. 2. Поляризаційні криві досліджуваних зразків, зняті у 3%-му розчині NaCl, без вібрації (1); за вертикальної (2, 3) та горизонтальної вібрації (4, 5) з амплітудою 70 μm (2, 4) і 300 μm (3, 5) та сталі СтЗсп без обробки (6).

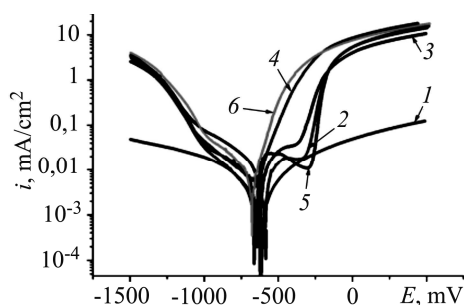


Fig. 2. Polarization curves of investigated materials in 3% NaCl solution without vibration (1), under vertical (2, 3) and horizontal vibration (4, 5); at the amplitude of 70 μm (2, 4) and 300 μm (3, 5) and steel St3 without treatment (6).

Отже, вібрація негативно впливає на корозійну тривкість, оскільки спричиняє подрібнення боридів, які виступають у ролі катодних включень, що в разі пришвидшує розчинення в мікроструктурі. Проте основною причиною низької корозійної тривкості наплавленого металу є низький відсоток хрому у шихті ПД Х10Р4Г2С.

ВИСНОВКИ

Встановлено, що вібрація робочого стола з частотою 100 Hz та амплітудою 70...300 μm під час електродугового наплавлення захисних шарів із ПД Х10Р4Г2С зумовлює подрібнення структурних складників боридів. Це зумовлює підвищення зносотривкості у 2–2,5 рази в наплавленому металі за горизонтальної вібрації. Водночас наплавлення під дією горизонтальної вібрації за амплітуди 300 μm негативно впливає на корозійну тривкість наплавленого металу з ПД Х10Р4Г2С через збільшення кількості катодних включень.

РЕЗЮМЕ. Исследована коррозионная стойкость покрытия, полученного с помощью наплавки под слоем флюса. Наплавленный металл получен с использованием порошковых проволок (ПП) на основе Fe марки ПП Х10Р4Г2С. По результатам фазового анализа выявили, что наплавленный металл состоит из матрицы FeCr и твердого раствора боридов Fe₂B и (FeCr)B, что подтверждено с помощью спектрального анализа. Использование горизонтальной вибрации при амплитуде 300 μm приводит к диспергированию фаз боридов (FeCr)B, (Fe₂B) до 2...5 μm², что повышает износостойкость наплавленного металла при абразивном износе. Потеря массы при износе закрепленным и незакрепленным абразивом уменьшается в 2–2,5 раза. Установлено, что наплавление под воздействием вибрации отрицательно влияет на коррозионную стойкость металла, полученного с ПД Х10Р4Г2С, поскольку увеличивается доля катодных включений.

SUMMARY. Corrosion resistance of coatings deposited by submerged arc welding method is presented. The deposited layers have been formed using the Fe based cored wires (CW) of grade CW 10B4Mn2Si. Phase analysis results showed that the coating layer consisted of a matrix of FeCr and solid solution of borides Fe₂B, (FeCr)B, that was confirmed by the spectral analysis. The use of horizontal vibration amplitude at 300 μm during surfacing leads to the dispersed phase of (FeCr)B, (Fe₂B) to 2...5 μm², which increases the abrasive wear resistance of deposited metal. Weight loss is reduced in 2–2.5 times under wear at fixed and not fixed abrasive. It is established that the surfacing under vibration negatively affects the corrosion resistance of the weld metal obtained from CW Cr10B4Mn2Si due to increasing number of cathode particles.

1. *Лившиц Л. С.* Металловедение для сварщиков (сварка сталей). – М.: Машиностроение, 1979. – 254 с.
2. *Добровольский А. Г., Кошеленко П. И.* Абразивная износостойкость материалов. Справ. пос. – К.: Техника, 1989. – 128 с.
3. *Qian Xu, Chuanqi Wang, and Xiaowei Zhang.* Corrosion and wear behavior of Ni60CuMoW coatings fabricated by combination of laser cladding and mechanical vibration processing Hongxi Liu // *J. of Alloys and Compounds.* – 2015. – № 621. – P. 357–363.
4. *Erosive wear of hardfaced Fe–Cr–C alloys at elevated temperature / C. Katsich, E. Badisch, M. Roy, G. Heath, and R. Franek // Wear.* – 2009. – № 267. – P. 1856–1864.
5. *The effect of microstructure on abrasive wear of hardfacing alloys / M. Buchely, J. Gutierrez, L. Leon, A. Toro // Wear.* – 2005. – № 259. – P. 52–61.
6. *Улиг Г. Г., Реву П. У.* Коррозия и борьба с ней. Введение в коррозионную науку и технику: пер. с англ. / Под ред. А. М. Сухотина. – Л.: Химия, 1989. – 456 с.
7. *Вплив вібрації під час наплавлення захисного шару на його мікроструктуру та ударну зносотривкість / Г. В. Похмурська, М. М. Студент, О. С. Ланець, А. А. Войтович // Фіз.-хім. механіка матеріалів.* – 2015. – **51**, № 3. – С. 107–111.
(*Influence of vibration in the course of surfacing of a protective layer on its microstructure and impact-abrasive wear / H. V. Pokhmurs'ka, M. M. Student, O. S. Lanets', A. A. Voityvych // Materials Science.* – 2015. – **51**, № 3. – P. 412–417.)
8. *Особливості формування та руйнування наплавлених шарів з порошкових дріотів системи Fe–Cr–B–C за ударних навантажень / А. А. Войтович, Г. В. Похмурська, М. М. Студент, О. С. Студент // Проблеми трибології.* – 2015. – № 4. – С. 114–123.

Одержано 21.06.2016