

ВПЛИВ ФАЗОВОГО СКЛАДУ НАПЛАВЛЕНИХ ШАРІВ ШТОКІВ ГІДРОЦИЛІНДРІВ НА ЇХ ЛОКАЛЬНУ КОРОЗІЮ

А. А. ГОЛЯКЕВИЧ¹, Л. М. ОРЛОВ¹, Г. В. ПОХМУРСЬКА²,
М. М. СТУДЕНТ³, Н. Р. ЧЕРВІНСЬКА³, О. В. ХИЛЬКО¹

¹ ТзОВ "ТМ ВЕЛТЕК", Київ;

² НУ "Львівська політехніка";

³ Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів

Встановлено вплив фазового складу наплавлених із порошкових дротів штоків гідроциліндрів на їх локальну корозію. Вивчено корозійну тривкість наплавлених шарів у 3%-му розчині NaCl за кімнатної температури, а також вплив їх фазового складу на характер корозійних пошкод. Виявлено, що наплавленим шарам із порошкових дротів із вмістом хрому 14...20 mass.% властива сильна локальна стрічкова корозія, інтенсивність якої залежить від фазового складу шару. Зафіксовано, що зі збільшенням у структурі шару фериту підвищується корозійна тривкість аустенітної матриці.

Ключові слова: наплавлені шари, корозійна тривкість, локальна корозія, струми корозії, фазовий склад.

Аналіз виходу із ладу елементів гідроприводу промислової техніки свідчить, що на частку гідроциліндрів припадає до 28% від загальної кількості відмов техніки. Найінтенсивніше із деталей гідроциліндра зношується шток, що спричиняє ~31% відмов у його роботі [1]. Робочу поверхню штоків гідроциліндрів захищають від корозії та абразивного зношування переважно шляхом нанесення на неї шару твердого гальванічного хрому. Сьогодні в індустріально розвинутих країнах прийняті директиви, направлені на зменшення допустимих рівнів концентрації шестивалентного хрому та поступову заборону гальванічного хромування. Тому йде пошук альтернативних технологій для заміни цього екологічно небезпечного процесу [2–4]. Наплавлення захисного шару порошковими дротами (ПД) під шаром флюсу (рис. 1а) дешевше [5], ніж нанесення гальванічного хрому, та забезпечує кращі санітарно-екологічні умови праці проти методу нанесення шарів у середовищі захисних газів. Але наплавленим шарам із ПД з вмістом хрому більше 13 mass.% властива локальна корозія в нейтральних середовищах, що не дає можливості широко впроваджувати цей процес у виробництво. Мета праці – встановити причини виникнення локальної корозії та запропонувати склад ПД для наплавлення корозійнотривких шарів з мінімальною схильністю до локальної корозії.

Матеріали та методи досліджень. Зносотривкі шари товщиною 4 mm наплавляли ПД серії ВЕЛТЕК-Н425 діаметром 2,0 mm різного хімічного складу (табл. 1) валками шириною 3 mm на товстостінну циліндричну трубу діаметром 80 mm зі сталі 30ХГСА у два проходи під шаром флюсу АН-26 з коефіцієнтом перекриття 30%, щоб забезпечити подібні до виробничих умови наплавлення (рис. 1b, c). Наплавляли за таких режимів: напруга 28 V, струм 200 А, швидкість наплавлення 46...50 mm/h. Після наплавлення двох шарів поверхню шліфували.

Контактна особа: Г. В. ПОХМУРСЬКА, e-mail: pokhmurska@lp.edu.ua

Корозійні процеси досліджували у 3%-му водному розчині NaCl у потенціодинамічному режимі, використовуючи потенціостати ПИ-50-1 та IPC-Pro [6]. Для останнього застосовували програму IPC 2000, яка обслуговує апаратний комплекс “Потенціостат IPC-Pro + ПК IBM PC”. Електродні потенціали зразків вимірювали відносно насиченого хлоридсрібного електрода порівняння, допоміжним служила платинова сітка. Швидкість розгортки потенціалу 2 mV/s. Густина струмів корозії визначали графоаналітичним методом, екстраполюючи лінійні ділянки поляризаційних кривих на потенціал корозії. До досліджуваних поверхонь зразків приклеювали комірки, які заповнювали корозивним середовищем. Металографічний аналіз здійснювали за стандартними методиками з допомогою оптичного мікроскопа МЕТАМ-РВ (Ломо) та сканівного електронного EVO-40XVP (Zeiss) зі системою рентгеноспектрального мікроаналізу INCA Energy 350.

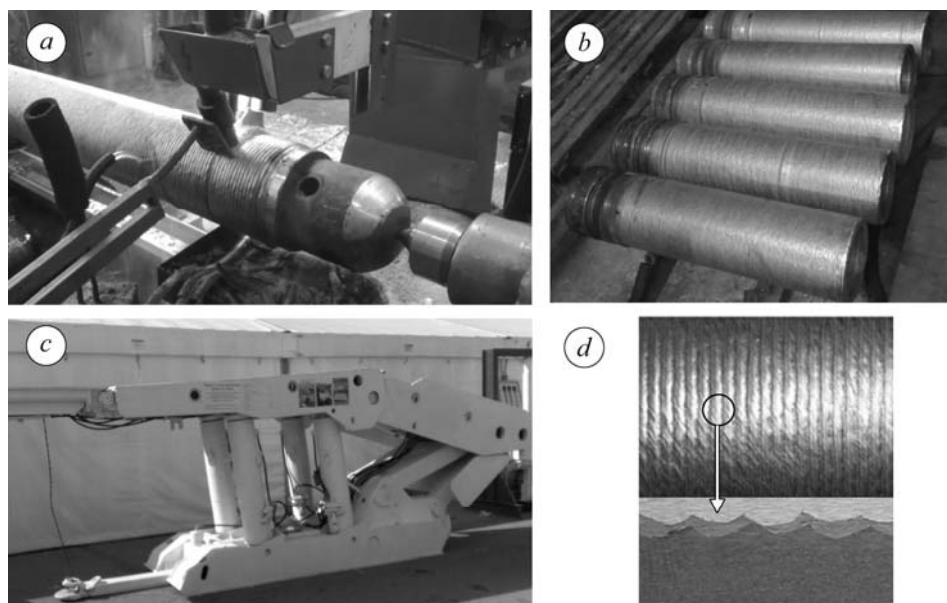


Рис. 1. Шахтне кріплення МКЮ 4У-22/42 після ремонту з наплавленими штоками гідроциліндрів: *a* – процес наплавлення; *b* – наплавлені штоки; *c, d* – фрагмент поверхні штока з наплавленим шаром у два проходи та його мікроструктура.

Fig. 1. Mine fastening MKIO 4U-22/42 after repair with deposited rods of hydraulic cylinders: *a* – the process of deposition; *b* – deposited rods of hydraulic cylinders; *c, d* – piece of the rod cylinder surface of the deposited layer in two steps and its microstructure.

Експериментальні результати та їх обговорення. Структура наплавлених шарів. Наплавляли протикорозійний шар у два проходи, оскільки після першого проходу у наплавленому матеріалі інтенсивно розчиняється метал основи, внаслідок чого у ньому бракує достатньої кількості хрому, щоб забезпечити високі протикорозійні характеристики шару. Після наплавлення другого шару вміст легувальних елементів приблизно такий самий, як у ПД. Верхній шар має типову дендритну структуру литого матеріалу (рис. 2*a*).

Наплавлені шари містять велику кількість неметалевих включень, які спектральний аналіз ідентифікує як оксиди на основі заліза, марганцю, кремнію та хрому (рис. 2*b*). При цьому частина хрому із твердого розчину переходить в оксидні включення. Цей процес негативний, так як матрична фаза збіднюється хромом. Твердість шарів знаходиться в діапазоні 27...59 HRC (табл. 1).

Корозійна тривкість наплавлених шарів у 3%-му розчині NaCl за кімнатної температури. Досліджували шари із різним вмістом хрому, вуглецю та

нікелю, щоб визначити вплив їх хімічного та фазового складу на корозійну тривкість. Таке легування мало б забезпечити високу корозійну тривкість шарів у нейтральних водних середовищах. Для запобігання виділень карбідів хрому межами зерен шари додатково легували молібденом, ванадієм та ніобієм (табл. 1). Для порівняння також вивчали електрохімічні характеристики листової нержавної сталі Х18Н9Т. За поляризаційними кривими визначали густину струмів корозії. Електрохімічні випробовування виконували після витримки у 3%-му розчині NaCl упродовж 1 h.

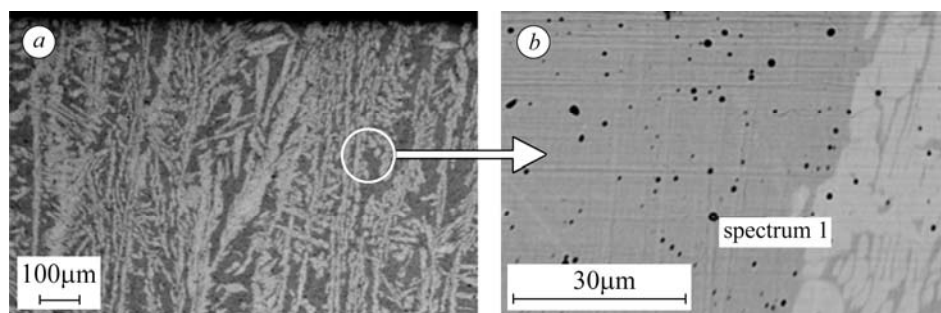


Рис. 2. Типова структура наплавленого шару із ПД (а) і спектральний аналіз оксидних включень у ньому (b).

Fig. 2. Typical structure of the deposited layer of cored wire (a) and spectral analysis of oxide inclusions in it (b).

Element	mass. %
O	23,72
Al	2,89
Si	11,66
S	0,79
Cr	12,07
Mn	18,30
Fe	30,14
Ni	0,43

Хімічний та фазовий склад, а також корозійна тривкість наплавлених шарів у 3%-му водному розчині NaCl за кімнатної температури

№ шару	Хімічний склад	Фазовий склад	Електрохімічні характеристики		Твердість, HRC
			$E_{\text{соп}}$, mV	$i_{\text{соп}}$, mA/cm ²	
1	10X18H8Г	A	-0,18	$7,113 \cdot 10^{-4}$	27
2	30X16H6MГC	A	-0,18	$1,883 \cdot 10^{-3}$	33
3	60X19H6M2ГC	A	-0,063	$1,1 \cdot 10^{-2}$	35
4	45X18H4M2ГC	A + 10% Ф	-0,13	$1,76 \cdot 10^{-3}$	35
5	35X19H3M2ГC	A + 30% Ф	+0,003	$5,123 \cdot 10^{-4}$	35
6	25X20H3M2ФГC	A + 70% Ф	-0,14	$3,526 \cdot 10^{-4}$	32
7	60X19HM2ФГC	A + 70% Ф	-0,1	$1,367 \cdot 10^{-3}$	37
8	20X19HM2ФГC	Ф	-0,28	$1,365 \cdot 10^{-4}$	25
9	20X14H5M2ФГC	A + 85% М	-0,09	$1,53 \cdot 10^{-3}$	41
10	15X18H2БГC	Ф + 50% М	-0,18	$6,37 \cdot 10^{-3}$	45
11	20X17H3M2ГC	30% Ф + 70% М	-0,16	$6,266 \cdot 10^{-4}$	36
12	60X14Г3C3	М	-0,22	$1,53 \cdot 10^{-3}$	59

Примітка: А – аустеніт; М – мартенсит; Ф – ферит.

Встановили (табл. 1), що найменшу густину струму корозії після витримки 1 h має наплавлений шар зразка № 8. Струм корозії нержавної сталі Х18Н9Т становить $1,0 \cdot 10^{-4}$ mA/cm². Побудували (рис. 3a) поляризаційні криві для наплавленого шару із ПД 20Х19НМ2ФГС та нержавної сталі Х18Н9Т.

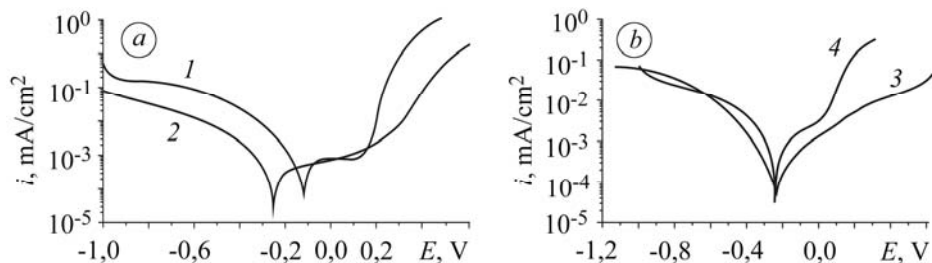


Рис. 3. Потенціодинамічні поляризаційні криві, зняті у 3%-му розчині NaCl: *a* – листовая сталь Х18Н9Т (крива 1) і 30ХГСА з наплавленим шаром із ПД 20Х19НМ2ФГС (№ 8) (крива 2); *b* – зразки № 5 і 9 (табл. 1) із ямковими (3) та стрічковими (4) корозійними пошкодами.

Fig. 3. Potentiodynamic polarization curves in 3% NaCl solution: *a* – X18H9T steel (curve 1) and 30XGSA steel with deposited layer of cored wire 20X19NM2FGS (№ 8) (curve 2); *b* – № 5 and 9 specimens (Table 1) with pit (3) and strip-like (4) corrosion damages.

На відміну від корозійнотривкої сталі на поляризаційній кривій наплавленого шару відсутня яскраво виражена пасивна ділянка, що зумовлено його підвищеною хімічною мікрогетерогенністю. Після поляризаційних випробовувань корозійні ушкодження виявлено на поверхні всіх шарів, а також на поверхні листової сталі Х18Н9Т. Найменшу кількість корозійних виразок (пітингів) з мінімальною глибиною зафіксовано у зразках № 1 і 8 та з нержавної сталі. Найінтенсивніше вони розвиваються у зразках № 3 та 9. Пітинги на зразках № 5; 6; 8 і 11 мають ямковий характер і глибину до 0,5 mm (рис. 4a). Корозійним пошкодам зразків № 2; 3; 4; 7; 9; 10 і 12 притаманний типовий стрічковий характер із глибиною виразок більше 0,5 mm (рис. 4b). Стрічки розташовані між гребенями наплавлених шарів у зоні повторного розігріву. Корозійні ушкодження листової сталі Х18Н9Т глибиною до 0,2 mm розташовані рівномірно по поверхні у вигляді пелюсток (рис. 4c).

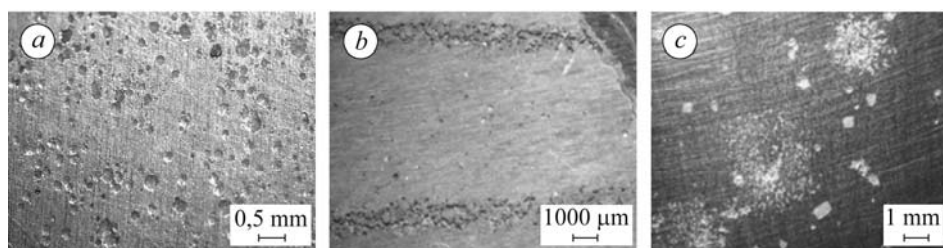


Рис. 4. Характер корозійних уражень наплавлених шарів після поляризаційних випробовувань в 3%-му розчині NaCl: *a* – ямки; *b* – стрічкові пошкоди; *c* – корозійні пошкоди на поверхні листової сталі Х18Н9Т.

Fig. 4. Character of corrosion damages of deposited layers after polarization tests in 3% NaCl solution: *a* – pits; *b* – strip-like corrosion damages; *c* – corrosion damages on X18H9T steel surface.

Металографічний аналіз наплавлених шарів із ПД № 2; 3; 4; 7; 9; 10 і 12 встановив, що у зонах перекриття валків наплавленого металу межами зерен виділяються дисперсні фази, збагачені хромом і молібденом, а тіло зерна збідню-

ється хромом (рис. 5 і 6). Це зумовлено тим, що шари на циліндричні деталі наплавляють по гвинтовій лінії. Внаслідок цього кожен новий виток наплавленого металу підігрівав попередній, який вже встиг охолонути. Тому через такий повторний нагрів у діапазоні температур 450...900°C межами зерен наплавленого шару виділяються хромовмісні карбіди.

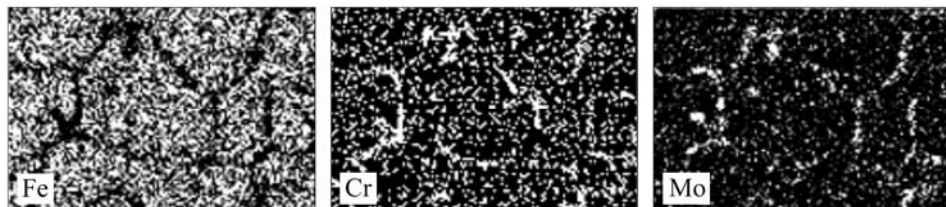
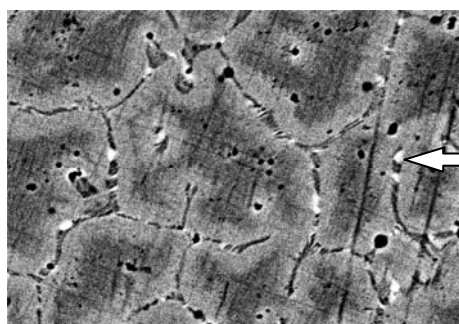


Рис. 5. Розподіл заліза, хрому та молібдену межами зерен наплавленого шару в зоні термічного впливу.

Fig. 5. Distribution of iron, chromium and molybdenum at the grain boundaries of deposited layer in the thermal affect region.



Element	mass.%	at.%
Si	0,80	1,59
Cr	30,73	33,20
Fe	56,22	56,56
Ni	3,97	3,80
Mo	8,28	4,85

Рис. 6. Виділення включень із підвищеним вмістом хрому та молібдену межами зерен у наплавленому шарі із ПД 60X19H6M2ГС у зоні термічного впливу.

Fig. 6. Spectral analysis of inclusions with increased content of chromium and molybdenum in the grain boundaries in the deposited layer with cored wire 60X19H6M2ГС in the thermal affect region.

Виявлено, що початкові корозійні процеси локалізуються на межах зерен наплавленого шару (рис. 7), де виникають сильні гальванічні пари між виділеннями карбідів хрому та молібдену, які є катодними включеннями, та збідненим на хром тілом зерна.

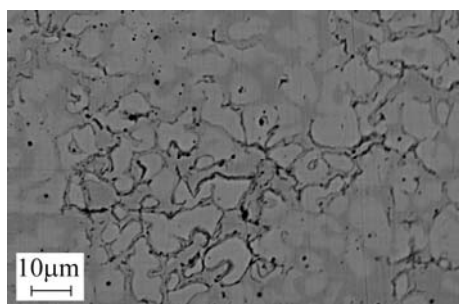


Рис. 7. Початкові корозійні процеси на межах зерен наплавленого шару після експозиції 96 h у 3%-му розчині NaCl.

Fig. 7. Initial corrosion processes localized in the grain boundaries of the deposited layer after 96 h exposure to 3% NaCl solution.

Металографічний аналіз наплавленого шару із дроту № 1; 5; 6; 8 та 11 не виявив виділень межами зерен (рис. 8). Крім цього, спектральним аналізом зафіксовано рівномірний розподіл хрому, молібдену та інших елементів у структурі покриву.

Аналізуючи корозійні пошкодження зразків, встановили, що зі збільшенням вмісту молібдену у шихті ПД із 1 до 2 mass.% (ПД № 2, 3 та 9) корозійна тривкість суттєво не підвищується. Хоча глибина корозійних виразок зменшується, проте пошкоди мають слабо виражену стрічковість (рис. 9).

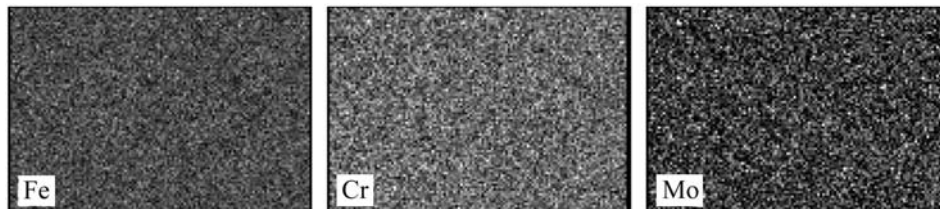


Рис. 8. Рівномірний розподіл заліза, хрому та молібдену межами зерен наплавленого шару.

Fig. 8. Uniform distribution of the elements of iron, chromium and molybdenum in grain boundaries of the deposited layer.

Додаток у шихту ванадію за малої кількості хрому (зразок № 9) не зменшує ні глибини корозійних виразок, ні вираженого стрічкового характеру пошкод. А після його додавання за підвищеної кількості хрому 19 mass.% (ПД № 8) стрічковий характер корозійних пошкод зникає і зменшуються їх кількість та глибина. Додаток у шихту ПД № 10 ніобію тільки збільшує глибину та посилює стрічковість корозійних ушкоджень. З підвищенням вмісту нікелю в ПД зростає глибина корозійних пошкод та їх стрічковість. Зокрема, найінтенсивніше – в наплавлених шарах із ПД № 9 та 3 з максимальною кількістю цього елемента.

Вплив фазового складу наплавлених шарів на характер корозійних пошкод.

Фазовий склад наплавлених шарів визначали за діаграмою Сагалевича–Потака із точністю до 5%, розраховуючи хромовий та нікелевий еквівалент. Всі наплавлені шари мали одно- або двофазну структуру (див. таблицю). Максимальну кількість мартенситу має наплавлений шар № 12, що може викликати у ньому появу гарячих тріщин. А через невелику кількість фериту, навпаки, практично унеможлиблюється їх виникнення.

Корозійні ушкодження у наплавлених шарах з тільки аустенітною структурою (наприклад, № 2 і 3) за розмірами значні і мають стрічковий характер, проте доволі розмиті. Зі збільшенням вмісту вуглецю від 0,1 до 0,6 mass.% зменшується корозійна тривкість шару, а струми корозії зростають більш ніж на два порядки. Під час утворення в шарі феритно-мартенситної структури (зразки № 10 і 12) стрічковість корозійних ушкоджень чітко виражена і їх глибина значна.

У наплавлених шарах з аустенітно-феритною структурою (зразки № 4; 5; 6 та 8) корозійна тривкість шару зростає, корозійні ушкодження не мають стрічкового характеру, а їх кількість та глибина зменшуються з ростом вмісту фериту у його структурі.

Це, очевидно, викликано тим, що карбіди виділяються межами зерен наплавлених шарів з феритною структурою за значно вищої температури повторного пі-

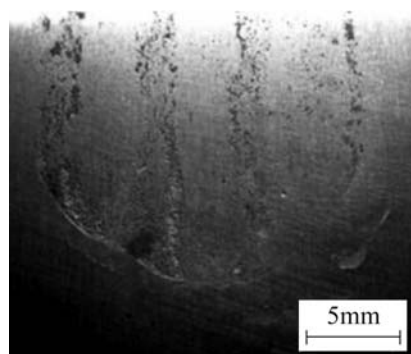


Рис. 9. Корозійні ушкодження поверхні наплавленого шару із ПД № 2.

Fig. 9. Corrosion damages of the surface of deposited layer with cored wire № 2.

дігріву (вище 900°C), у той час як з аустенітної – за суттєво нижчої температури (вище 450°C). Найменшу кількість корозійних пошкод мінімальної глибини мають наплавлені шари із ПД № 8 феритної структури. Зі збільшенням у структурі фериту (зразки ПД № 4; 5 і 6) корозійна тривкість наплавленого шару зростає. За однакового вмісту фериту і з підвищенням концентрації вуглецю від 0,25 (ПД № 6) до 0,60 mass.% (ПД № 7) струми корозії в наплавленому шарі збільшуються більш ніж на порядок.

ВИСНОВКИ

Наплавленим шарам із порошкових дрітків із вмістом хрому 14...20 mass.% властива сильна локальна стрічкова корозія, інтенсивність якої залежить від фазового складу шару. Встановлено, що в шарі з аустенітною структурою за підвищеного вмісту вуглецю між валками шару (у зонах повторного підігріву) межами зерен виділяються дисперсні карбіди хрому, леговані молібденом, що призводить до сильної локальної стрічкової корозії. Виявлено, що зі збільшенням у структурі шару фериту підвищується корозійна тривкість аустенітної матриці. При цьому на межах шару (у зонах повторного підігріву) дисперсні карбіди хрому не виділяються. Наплавлені шари із ПД № 8 із матричною фазою фериту мають найвищі протикорозійні характеристики і не схильні до стрічкової корозії. Металографічним аналізом не зафіксовано виділень карбідів хрому межами зерен наплавленого шару.

РЕЗЮМЕ. Установлено влияние фазового состава наплавленных из порошковых проволок штоков гидроцилиндров на их локальную коррозию. Изучено коррозионную стойкость наплавленных слоев в 3%-ом растворе NaCl при комнатной температуре, а также влияние фазового состава слоев на характер коррозионных повреждений. Выявлено, что слоям из порошковых проволок с содержанием 14...20 mass.% хрома свойственна сильная локальная ленточная коррозия, интенсивность которой зависит от фазового состава слоя. Зафиксировано, что с увеличением в структуре наплавленного слоя феррита повышается коррозионная стойкость аустенитной матрицы.

SUMMARY. Corrosion resistance of the deposited layers obtained by fusing automatic flux of cored wire in 3% NaCl aqueous solution is investigated. To select the optimal composition of the cored wire for deposition of the rods of hydraulic cylinders for mining equipment the cored wires with a chromium content of 14...20 mass.% and with addition of nickel, molybdenum, vanadium, niobium, manganese and silicon are used. It is shown that localized corrosion is typical for deposited layers and corrosion damages are arranged with typically line-like orientation. It is also shown that with the increase of the deposited layer of ferrite in structure the corrosion resistance of austenite matrix increases.

1. Голякевич А., Орлов Л., Похмурська Г. Відновлення штоків гідроциліндрів шахтного обладнання // Тези 11-го міжнар. симп. укр. інженерів-механіків у Львові, 2013. – С. 185.
2. Flitney B. Alternatives to chrome for hydraulic actuators // Sealing Technology. – 2007. – № 10. – Р. 8–12.
3. Papatheodorou T. Influence of hard chrome plated rod surface treatments on sealing behaviour of hydraulic rod seals // Ibid. – 2005. – № 4. – Р. 21–27.
4. Robertson M. F. Wear characteristics of electrolytic hard chrome and thermal sprayed WC–10 Co–4 Cr coatings sliding against Al–Ni–bronze in air at 21°C and at –40°C // Wear. – 2002. – № 252. – Р. 880–893.
5. Коперсак В. М. Теорія процесів зварювання. Фізико-хімічні та металургійні процеси при зварюванні. Текст лекцій. – К.: КПІ, 2011. – 252 с.
6. Методы измерения в электрохимии: в 2-х т. – М.: Мир, 1977. – Т. 1. – 585 с.; Т. 2. – 725 с.

Одержано 04.08.2014