

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОДУГОВЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ШТОКОВ ГИДРОЦИЛИНДРОВ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОРОШКОВЫХ ПРОВОЛОК*

Т. Р. СТУПНИЦКИЙ, М. М. СТУДЕНТ, В. И. ПОХМУРСКИЙ, М. Б. ТЫМУСЬ

Физико-механический институт им. Г. В. Карпенко НАН Украины. 79060, г. Львов, ул. Научная, 5.

E-mail: student-m-m@ipm.lviv.ua.

В работе сформулированы основные требования к порошковым проволокам на основе ферросплавов систем Fe–Cr–C и Fe–Cr–W с содержанием хрома свыше 12 мас. % для электродугового напыления износ- и коррозионностойких покрытий. Обнаружено, что наличие 12 мас. % хрома в шихте порошковой проволоки, в отличие от стали, не обеспечивает коррозионной стойкости покрытий в нейтральных водных растворах. Причины этого были исследованы. Экспериментально установлено, что коррозионная стойкость покрытий, содержащих сверх 12 мас. % хрома, обратно пропорциональна их химической микрогетерогенности. Показана высокая эффективность использования пропитки покрытия ингибированным 3%-м раствором Hydroway 1060 для предотвращения проникновения агрессивной среды через поры покрытия к подложке. Разработаны синергичные композиции ингибиторов натрия бензоат + бензилбензоат, обеспечивающие степень защиты от коррозии стали подложки покрытий до 99,14 %. Библиогр. 12, табл. 1, рис. 8.

Ключевые слова: дуговые покрытия, порошковые проволоки, ферросплавы, химическая неоднородность, коррозионная стойкость, оксид, карбид, борид, ингибитор

Значительная часть элементов конструкций ответственных машин и механизмов, в частности, гидроцилиндров шахтного, горнодобывающего и коммунального оборудования, подвергаются коррозионно-абразивному изнашиванию во время длительной эксплуатации в жестких условиях нагрузки в нейтральных водных средах (рис. 1).

Для защиты от коррозионно-абразивного износа в большинстве случаев используют метод электролитического хромирования, однако из-за его канцерогенных отходов в промышленно развитых странах мира ищут альтернативные технологии. Ведущие фирмы мира (Metco, Castolin, TAFA, Deloro, Nanosteel) применяют для этой цели технологии нанесения геотермических покрытий [1–3]. Среди этих технологий электродуговое напыление покрытий характеризуется высокой производительностью при малейших расходах, что вызывает особый интерес [4–6]. Для формирования коррозионностойких электродуговых покрытий (ЭДП) как электродные материалы часто используют сплошные нержавеющие проволоки типа 40X13 или 08X18H10T, однако покрытиям из них присуща низкая твердость и износостойкость и достаточно высокая стоимость [7, 8].

Методические аспекты исследований. Порошковые проволоки (ПП) систем Fe–Cr–C и

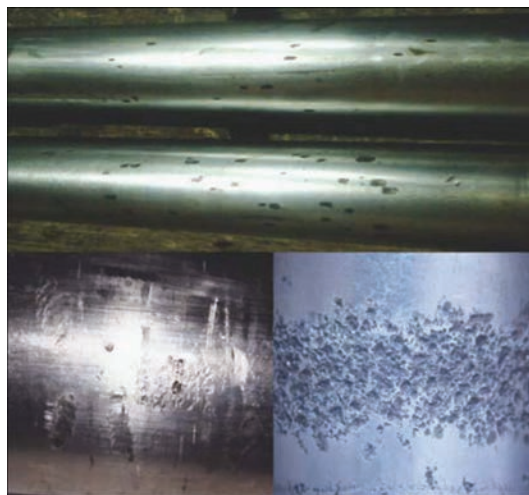


Рис. 1. Повреждения поверхности штока: локальная коррозия, ушибы, задиры, абразивный износ

Fe–Cr–W изготовляли в оболочке из низкоуглеродистой стали 08 кп. В качестве шихтовых материалов использовали порошки высокоуглеродистого феррохрома, феррохромбора, хрома, ферросилиция, феррофосфора и самофлюсующегося сплава ПГ-10Н-01. Коэффициент заполнения ПП составлял 25...27 %. Электродуговые покрытия толщиной 1,2...1,5 мм наносили металлатором ФМИ-2 из стали 08X18H10T и ПП оптимизиро-

* Работа выполнена в рамках программы НАН Украины «Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин» в 2013–2015 гг.

ванных составов диаметром 1,8 мм на образцы из стали 12Х1МФ. Режимы нанесения покрытий: ток 150 А, напряжение горения дуги 32...34 В. Распыление производили струей воздуха под давлением 0,4...0,8 МПа с дистанции 150 мм.

Полноту сплавления шихты и оболочки покрытий (химическую микрогетерогенность) оценивали по введенному нами коэффициенту микрогетерогенности ($K_{\text{МГ}}$) [9], и по электрохимической методике движущегося капилляра [10]. Коэффициент $K_{\text{МГ}}$ характеризует отклонение содержания каждого из элементов легирования в пределах отдельной ламели от его среднего содержания в покрытии. Для определения коэффициента $K_{\text{МГ}}$ сравнивали интегральное содержание конкретного элемента легирования на участке площадью 100 мм² с его локальным содержанием на прямоугольных участках площадью $35 \cdot 10^{-4}$ мм², которые по величине соизмеримы со средней площадью ламелей в покрытиях. Определение $K_{\text{МГ}}$ покрытия проводили не менее, чем на десяти участках, расположенных друг от друга на расстоянии минимум 5 мм по ширине пятна пучка напыления, которая составляет 25...30 мм. Значение $K_{\text{МГ}}$ из этих участков усреднялось.

Коррозионные свойства определяли в потенциодинамическом режиме на установке СВА-1БМ по триэлектродной схеме: рабочий электрод (образец) — электрод сравнения (хлорсеребряный типа ЭВЛ-1М1) — вспомогательный электрод (платиновый). Скорость изменения потенциала 2 мВ/с. Токи коррозии определяли, экстраполируя линейные участки поляризационных кривых на потенциал коррозии.

Результаты исследований и их обсуждение. При получении ЭДП способом напыления ПП систем Fe–Cr–C и Fe–Cr–B вследствие быстротечности процессов плавления проволок не образуется общая ванна, хромсодержащая шихта полностью не растворяется в расплаве стальной оболочки, в результате чего возникает сильная химическая микрогетерогенность покрытий, которая существенно влияет на их коррозионную стойкость.

Установлено, что, в отличие от сплошных материалов, наличие в шихте ПП 12 мас. % хрома не

обеспечивает коррозионную стойкость ЭДП в нейтральных водных средах. Это вызвано:

- неравномерным распределением хрома в ламелях покрытий из-за их высокой химической микрогетерогенности. Капли, образующиеся из расплава ПП (в отличие от капель, полученных из сплошной проволоки), имеют сильно разнящийся химический состав, который определяется полнотой сплавления шихтовых компонентов между собой и стальной оболочкой;

- переходом некоторой части хрома в карбиды (для системы легирования Fe–Cr–C) и в бориды (для системы легирования Fe–Cr–B), что существенно уменьшает его содержание в твердом растворе покрытия;

- обеднением содержания хрома в твердом растворе покрытия вследствие формирования из некоторой его части оксидов.

Экспериментально установлено, что во время напыления ЭДП с ПП систем Fe–Cr–C и Fe–Cr–B в зависимости от полноты сплавления шихты ПП и его стальной оболочки могут формироваться покрытия следующих трех типов (рис. 2). Шихта ПП не сплавляется с расплавом стальной оболочки и образуется химически микрогетерогенное покрытие, которое состоит из ламелей, сформированных отдельно из стальной оболочки с включениями частиц тугоплавкой шихты (рис. 2, а). При этом ламели сильно отличаются по химическому составу и концентрации хрома в них. Практически $K_{\text{МГ}}$ для такого рода покрытий находится в пределах 0,3...0,99. Это I тип. Шихта ПП частично сплавляется с оболочкой. В этом случае ламели покрытия в меньшей степени отличаются по содержанию химических элементов, в частности и по концентрации хрома. Для этого покрытия $K_{\text{МГ}}$ может быть в пределах 0,1...0,3 (рис. 2, б). Это II тип. Компоненты шихты полностью сплавляются между собой и его оболочкой, образуя химически гомогенный расплав (рис. 2, в). Это III тип. В этом случае расчетный химический состав ПП соответствует более чем на 90 % фактическому составу каждой образовавшейся ламели покрытия. В этом случае $K_{\text{МГ}}$ будет менее 0,1.

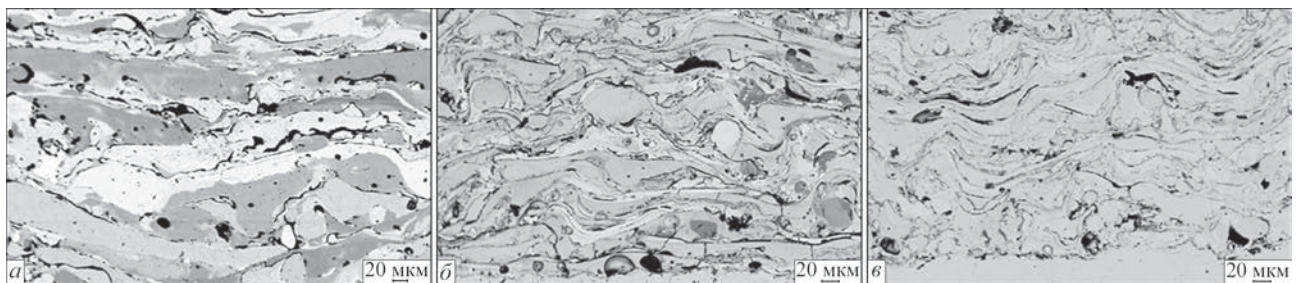


Рис. 2. Типовые структуры ЭДП в зависимости от степени сплавления компонентов шихты ПП с его оболочкой: а — только высокохромистая шихта; б — высокохромистая шихта с добавлением ПГ-10Н-01; в — высокохромистая шихта с добавлением ферросилиция и феррофосфора

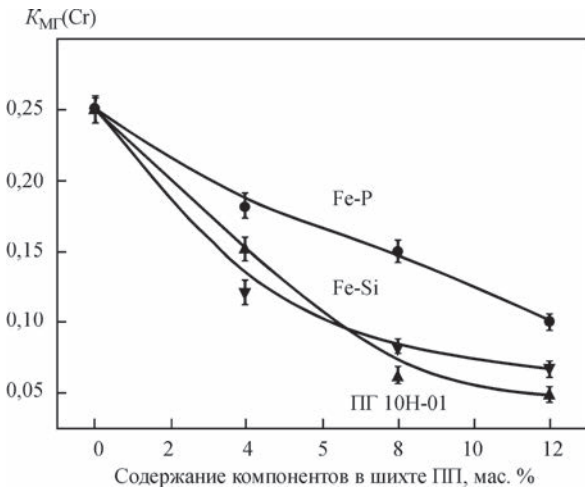


Рис. 3. Влияние содержания компонентов шихты ПП на коэффициент $K_{Mg}(Cr)$

Установлено, что для обеспечения покрытиям с ПП коррозионной стойкости в нейтральных водных средах необходимо, чтобы их микроструктура соответствовала третьему типу покрытий (рис. 2, в) и K_{Mg} по хрому был менее 0,1.

Как показывают экспериментальные данные, наличие в шихте только высокоуглеродистого феррохрома (ПП 140Х14) не обеспечивает полноценного сплавления шихты ПП и оболочки (рис. 2, а). Установлено, что для улучшения сплавления и достижения равномерного распределения хрома в ламелях покрытий к шихте ПП (кроме феррохрома или феррохромбора, которые обеспечивают покрытию необходимое содержание хрома и твердость) необходимо добавлять порошки ферросилиция (Fe-Si), феррофосфора (Fe-P) или самофлюсующегося сплава (ПГ-10Н-01), которые могут образовывать низкотемпературные эвтектики между компонентами шихты ПП и его оболочкой. Выяснено, что этим путем можно снизить химическую гетерогенность покрытий до уровня $K_{Mg}(Cr) = 0,05$ (рис. 3).

Экспериментально установлено, что эвтектическое плавление шихтовых компонентов способствует образованию внутри ПП значительного количества легкоплавкого расплава, в котором растворяются тугоплавкие компоненты феррохро-

ма (рис. 4). Также, это обеспечивает то, что еще на расстоянии 2...3 мм от активных пятен дуги происходит сплавление расплава с внутренней поверхностью оболочки ПП. Вследствие этого химическая гетерогенность покрытий сильно снижается, поскольку возрастает время нахождения металла в жидкой фазе (рис. 5).

Для предотвращения перехода хрома в оксиды во время образования капель в процессе напыления покрытий предложено вводить в состав шихты ПП такие элементы, как Al, Ti, Si, B, свободная энергия оксидоформирования которых меньше, чем для оксидов хрома, и поэтому оксиды этих элементов формируются быстрее. Итак, введение в шихту ПП до 2 мас. % Al или Si частично предотвращает образование хромсодержащих оксидов и приводит к протеканию алюмо- и силикотермических реакций восстановления хрома из его оксидов. В целом это способствует переходу почти всего количества хрома из состава шихты ПП в твердый раствор покрытия.

Вместе с тем предотвратить формирование карбидов и боридов на основе хрома во время кристаллизации на поверхности напыления капля покрытия невозможно, поэтому это количество хрома, которое примет участие в их образовании, следует учитывать и компенсировать. Для ПП систем Fe-Cr-C и Fe-Cr-B предложены расчетные формулы по определению в них количества хрома (с учетом количества, которое пойдет на образование карбидов и боридов), достаточного для обеспечения коррозионной стойкости ЭДП в нейтральных водных средах [11]. При выполнении расчетов по предложенным формулам было обнаружено, что для покрытий с ПП системы Fe-Cr-B необходимо обеспечить большее содержание хрома, чем для покрытий с ПП системы Fe-Cr-C. Ведь хромсодержащие карбиды формируются только в ферритной фазе покрытий, количество которой в структуре покрытия можно легко ограничить компонентным составом шихты ПП, тогда как хромсодержащие бориды в покрытиях с ПП системы Fe-Cr-B формируются во всех присутствующих фазах. В ре-

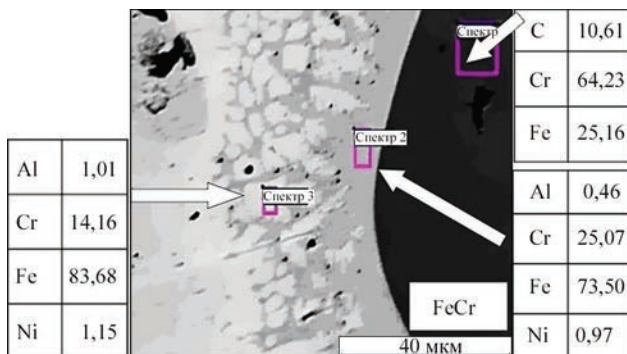


Рис. 4. Растворение феррохрома в расплаве ПП 140Х14Н2ТЮ

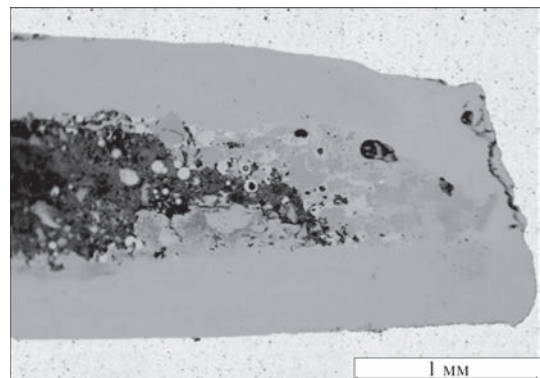


Рис. 5. Влияние содержания самофлюсующегося сплава ПГ-10Н-01 в шихте ПП на сплавление шихты и оболочки

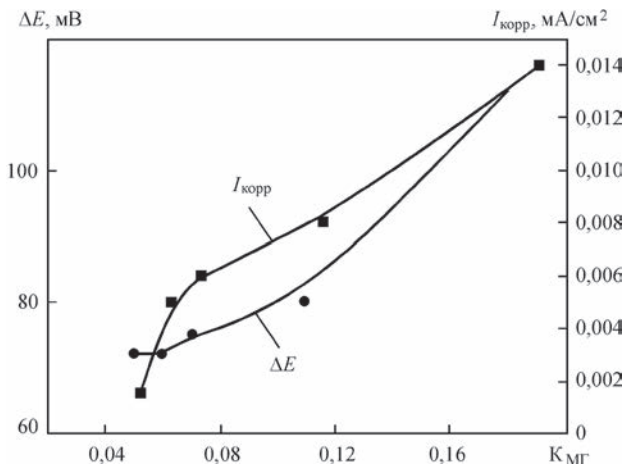


Рис. 6. Зависимости плотности тока коррозии $I_{\text{корр.}}$ и электрохимической микрогетерогенности покрытия ΔE от коэффициента $K_{\text{МГ}}$ в 3%-м водном растворе NaCl

зультате выполнения расчетов были оптимизированы составы ПП 140X14H2TЮ системы Fe–Cr–C и ПП 70X20P3ГC2Ю системы Fe–Cr–В по количеству хрома в них.

Коррозионные свойства покрытий. Электрохимические исследования показали, что коррозионная стойкость ($I_{\text{корр.}}$) покрытий системы Fe–Cr–C в 3 %-м водном растворе NaCl обратна пропорциональна их химической микрогетерогенности по содержанию хрома, определенному по коэффициенту $K_{\text{МГ}}$, а также электрохимической микрогетерогенности, определенной по методике движущегося капилляра, которые, как оказалось, коррелируют между собой (рис. 6). С уменьшением коэффициента $K_{\text{МГ}}$ (Cr) от 0,2 до 0,05 плотность тока коррозии снижается практически на порядок от 0,014 до 0,0015 мА/см², и приходит к уровню токов коррозии 0,0008 мА/см², которые были зафиксированы для покрытия, сформированного из нержавеющей проволоки 08X18H10T. Вместе с тем обнаружено, что повышением коррозионной стойкости самих покрытий не удается обеспечить надежную защиту металлических оснований, на которых формировали покрытия, от воздействия коррозионной среды в результате их естественной пористости.

С целью предотвращения проникновения рабочей среды через поры внутрь покрытия (до металлического основания) было предложено предварительно пропитывать покрытия минеральным маслом И-20, или 3%-м водным раствором эмульсола марки Hydroway-1060, которые используют в качестве рабочих жидкостей в гидроцилиндрах различного назначения.

Предварительные исследования указали на необходимость разработки эффективных ингибированных композиций на основании натрия бензоата, натрия силиката и бензилбензоата, которые являются экологически безопасными.

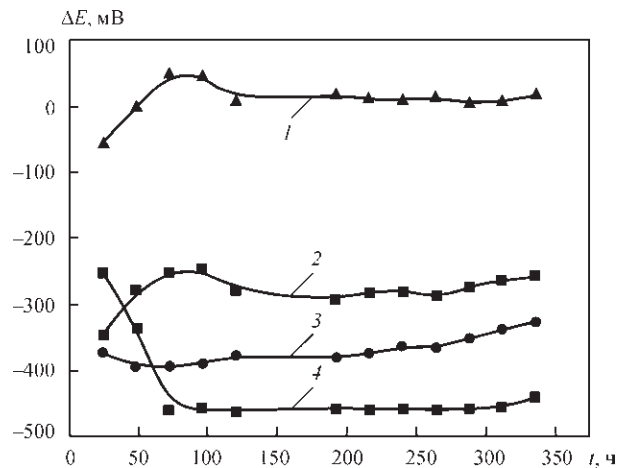


Рис. 7. Изменение электродного потенциала ΔE покрытия с ПП 140X14H2TЮ со временем его выдержки в среде «кислого дождя», пропитанного различными жидкостями: 1 — эмульсол 3% + НБ + ББ; 2 — эмульсол 3%; 3 — масло И20; 4 — без пропитки

При длительных испытаниях покрытий в среде «кислого дождя» их электродный потенциал оставался на уровне -450 мВ (рис. 7), что означает — жидкость прошла через напыленное покрытие к стальной почве. Но после пропитки покрытия 3%-м раствором эмульсола Hydroway-1060 его потенциал эффективно смещается к положительным значениям и устанавливается на уровне -265 мВ, в то время как пропитка 3%-м раствором эмульсола Hydroway-1060, ингибированного синергической композицией из смеси 1 г/л натрия бензоата (НБ) и 1 г/л бензилбензоата (ББ), смещает его потенциал в положительную область и устанавливает на уровне 20 мВ. А это значит, что эта ингибированная рабочая жидкость для гидроцилиндров не только предотвращает доступ жидкости во внутрь покрытий к стальной подложке, но и эффективно ингибирует его поверхность, а также и образующие поверхности — межламельное пространство покрытий.

После экспозиции 168 ч происходит смещение электродного потенциала в анодную зону, что характеризует образование на поверхности специфических соединений, в состав которых входят катионы железа и анионы бензоата. Характерным свойством бензоатсодержащих соединений является то, что они адсорбируются на поверхности стали, создавая довольно плотную пассивную пленку, которая препятствует взаимодействию коррозионно-активной среды и стальной поверхности. Вследствие этого токи коррозии материала подложки покрытий существенно уменьшаются по сравнению с током в неингибированной среде (рис. 8).

В результате проведенных электрохимических исследований в хлоридсодержащей среде наблюдается явление синергизма при сочетании 3%-й

Плотность тока коррозии стали 12Х1МФ при использовании различных ингибиторов

Плотность тока коррозии	Сталь 12Х1МФ в хлорсодержащей среде с различными ингибиторами				
	12Х1МФ + 3%-й NaCl	*12Х1МФ	*НБ	*НБ+НС	*НБ+ББ
<i>T</i> = 24 ч					
$I_{корр.} \cdot 10^{-4}$, МА/см ²	8,94	5,9	2,72	0,86	0,72
<i>T</i> = 168 ч					
$I_{корр.} \cdot 10^{-4}$, МА/см ²	14,4	22,2	2,13	3,96	0,35

* 3%-я эмульсия эмульсола в хлоридсодержащей среде.

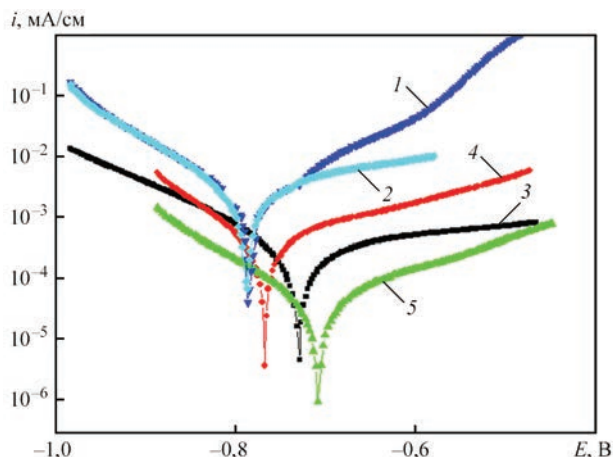


Рис. 8. Коррозионная стойкость подложки покрытий — стали 12Х1МФ, в растворе 3%-го NaCl и 3%-й эмульсии эмульсола Hydroway-1060, ингибированного синергичной композицией, выдержка 168 ч. Состав среды 1:1. 1 — 12Х1МФ в 3%-м NaCl; 2 — 12Х1МФ в 3%-й водной эмульсии эмульсола; 3 — 1 г/л натрия бензоата; 4 — 1 г/л натрия бензоата + 1 г/л натрия силиката; 5 — 1 г/л натрия бензоата + 1 г/л бензилбензоата

эмульсии эмульсола с 1 г/л натрия бензоата и 1 г/л бензилбензоата, поскольку происходит уменьшение $I_{корр.}$ до 6 раз по сравнению с тем, когда использовались отдельные ингибиторы (таблица).

Расчет эффективности действия ингибиторов, проведенный по формуле для определения степени защиты [12], показал, что ингибирование в 3%-й эмульсии эмульсола Hydroway-1060 в хлоридсодержащей среде натрия бензоата обеспечивает степень защиты $Z(НБ) = 90,41$, а натрия силиката $Z(НБ+НС) = 82,16$, в то время как раствор 1 г/л натрия бензоата + 1 г/л бензилбензоата обеспечивает наилучшую степень защиты от коррозии стали 12Х1МФ ($Z(НБ+ББ) = 99,14$). В процессе эксплуатации покрытий в среде ингибированного эмульсола происходит ингибирование металла вследствие образования на поверхности адсорбционных пассивных пленок, что есть результатом взаимодействия катионов ионизированного металла с ионными остатками ингибиторов.

Выводы

1. Разработаны порошковые проволоки 140Х14Н2ТЮ, 70Х20Р3ГС2Ю систем Fe–Cr–C и Fe–Cr–B, позволяющие формировать электроду-

говые покрытия с низким коэффициентом химической микрогетерогенности $K_{МГ}(Cr) = 0,05...0,07$ и с коррозионной стойкостью на уровне покрытия, напыленного нержавеющей проволокой из стали 08Х18Н10Т, а также износостойкостью на уровне гальванического хромового покрытия.

2. Созданы синергические композиции ингибиторов, которые добавляются к 3%-й эмульсии эмульсола Hydroway-1060 и эффективно защищают как электродуговое покрытие, так и металлический материал его подложки от коррозии в хлоридсодержащей среде со степенью защиты $Z(НБ+ББ) = 99,14 \%$.

Список литературы

- Picas J. A. Forn A., Matthäus G. HVOF coatings as an alternative to hard chrome for pistons and valves // Wear. – 2006. – № 261. – P. 477–488.
- HVOF-Deposited WCCoCr as replacement for hard Cr in landing gear actuators / A. Aguero et al. // Journal of Thermal Spray Technology. – 2011. – № 20(6). – P. 1292–1309.
- Flitney B. Alternatives to chrome for hydraulic actuators // Sealing technology. – October 2007. – № 10. – P. 8–12.
- Маркович С. І. Підвищення зносостійкості деталей машин електродуговим напиленням композиційних покриттів з застосуванням різномірних дротів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.02.04 «Тертя та зношування в машинах» / С. І. Маркович. – Київ, 2007. – 20 с.
- Полетаев В. А., Третьякова Н. В., Карамов И. А. Исследование деталей электронасосов, упрочненных металлизацией, на износостойкость // Вестник ИГЭУ. – 2007. – № 3. – С. 1–4.
- Эффективность применения современных газотермических методов напыления для защиты оборудования химической промышленности от коррозии и изнашивания / Л. Х. Балдаев и др. // Химическая техника. – 2007. – № 11. – С. 32–33.
- Janpin K., Jiansirisomboon S. Characterization and Microstructure of Thermal Sprayed Stainless Steel/Magnesium Oxide Nanocomposite Coatings // Journal of the Microscopy Society of Thailand. – 2011. – № 4(1). – P. 56–59.
- Dallaire S., Legoux J.-G., Levert H. Abrasion Wear Resistance of Arc-Sprayed Stainless Steel and Composite Stainless Steel Coatings // Journal of Thermal Spray Technology. – 1995. – № 4(2). – P. 163–168.
- Iron-based coatings arc-sprayed with cored wires for applications at elevated temperatures / B. Wielage et al. // Surface and Coating Technology. – 2013. – № 220. – P. 27–35.
- Хома М. С., Сисин Г. М. Вплив корозії у середовищах з різним рН на локальні електродні потенціали сталей // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2010. – № 3. – С. 92–97.
- Optimization of the chromium content of powder wires of Fe–Cr–C and Fe–Cr–B systems according to the corrosion resistance of electric-arc coating / T. R. Stupnytskyi et al. // Materials Science. – 2016. – Vol. 52, № 2. – P. 165–172.
- Справочник по электрохимии: под ред. А. М. Сухотина. – Л.: Химия, 1981. – 488 с.

Т. Р. Ступницький, М. М. Студент,
В. І. Похмурський, М. Б. Тимусь

Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка
НАН України. 79060, м. Львів, вул. Наукова, 5.
E-mail: student-m-m@ipm.lviv.ua.

РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОДУГОВИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ШТОКІВ ГІДРОЦИЛІНДРІВ ГІРНИЧОДОБУВНОГО ОБЛАДНАННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПОРОШКОВИХ ДРОТІВ

У статті сформульовано основні вимоги до порошкових дротів базових систем Fe–Cr–C та Fe–Cr–B на основі феросплавів для електродугового напильня зносостійких покриттів з підвищеною корозійною стійкістю в нейтральних водних середовищах. Встановлено, що на відміну від суцільних ма-

теріалів для електродугових покриттів наявність 12 мас. % хрому в шихті порошкових дротів не забезпечує їх корозійної стійкості, та з'ясовані основні причини цього. Експериментально зафіксовано, що корозійна стійкість електродугових покриттів з порошкових дротів, що містять понад 12 мас. % хрому, обернено пропорційна їх хімічній мікрогетерогенності. Показана висока ефективність і доцільність використання просочування покриттів інгібованим 3%-м розчином емульсолу марки Hydroway 1060 для запобігання проникнення водних робочих середовищ через пори покриття до металевої основи. Створено синергічні композиції інгібіторів натрій бензоату та бензилбензоату для захисту покриттів та їх підложки від корозії зі ступенем захисту до 99,14 %.

Ключові слова: феросплави, порошковий дріт, електродугові покриття, корозійна стійкість, оксиди, карбіди, бориди, хімічна мікрогетерогенність, інгібітор

Поступила в редакцію 20.03.2017

КИЕВСКАЯ ТЕХНИЧЕСКАЯ ЯРМАРКА – 2017

С 28 по 30 марта 2017 г. на территории Международного выставочного центра состоялась IX Киевская техническая ярмарка, в рамках которой были проведены специализированные выставки PLAST EXPO и ADDIT EXPO 3D. Тематика выставок объединила технологии и оборудование для переработки пластмасс, технологии, оборудование и материалы для аддитивного производства и 3D печати, а также машиностроение, металлообработку, инструмент и обработку поверхности. Организатор выставки — Международный выставочный центр.

В выставках приняли участие 98 предприятий из 7 стран мира, в том числе из Австрии, Беларуси, Германии, Италии, Польши, Турции, Китая. Общая площадь экспозиции составила 5000 кв. м., за три дня работы выставки посетило 2485 специалистов.

В целом участники выставок отмечали, что после нескольких лет затишья на промышленном рынке потребители в этом году активизировались и проявили повышенный интерес к новому оборудованию и материалам, и как прямое следствие, «отложенный спрос» позволил участникам прямо с выставки совершить ряд продаж. Многие высказали мнение, что мероприятие прошло значительно эффективнее, чем в прошлые годы. Комментарии экспертов на выставке были позитивными и обнадеживающими. Несмотря на сложное положение в Украине, выставка была очень интересна для посетителя.

В рамках ярмарки были проведены круглые столы по актуальным вопросам 3D печати для современной промышленности, которые вызвали заметный интерес у посетителей и участников ярмарки:

- ♦ «Комплексная технология САПР PTC Creo Parametric для проектирования, виртуального моделирования и подготовки к производству изделий, изготавливаемых методами 3D печати и литья пластмасс» (Инженерная компания «Технополис»);
- ♦ «3D печать для промышленных предприятий» (ООО «Иматек-Эско»);
- ♦ «Трехмерная печать для эффективного производства. Оборудование и материалы для 3D печати. Использование печати в производстве» (Компания Prostir 3D);
- ♦ «3D технологии в промышленности. Области применения аддитивных технологий в промышленности Украины. Практическое применение. Риски и перспективы. Тренды технологии в 2017 г.» (ООО «Смарт-Принт»).

Постоянным участником ярмарки является научно-техническое издательство Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, на стенде которого посетители могли познакомиться с научно-техническими журналами, издаваемыми ИЭС: «Автоматическая сварка», «Техническая диагностика и неразрушающий контроль» и «Современная электрометаллургия».

По материалам пострелиза

