

7. Morsdorf L., Jeannin O., Barbier D., Mitsuhashi M., Raabe D. and Tazan C. Multiple mechanisms of lath martensite plasticity. *Acta Materialia*, 2016, vol. 121, pp. 202–214.
8. Morito S., Yoshida H., Maki T. and Huang X. Effect of block size on the strength of lath martensite in low carbon steels. *Materials of Science and Engineering, A* (2006), pp. 438–440.

Поступила в редакцию 25.07.2018.
Принята к печати 19.08.2018.

УДК 620.193:621.93.3

DOI: 10.30838/J.PMNTM.2413.250918.47.398

ОЦЕНКА КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ХИМИЧЕСКИ ОСАЖДЕННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ МЕДИ И ОЛОВА ДЛЯ ЗАЩИТЫ СВАРОЧНОЙ ПРОВОЛОКИ

КУШНИР Ю. А.¹, *ассист.*,
ВНУКОВ А. А.^{2*}, *к. т. н., доц.*,
ГОЛОВАЧЕВ А. Н.³, *к. т. н., доц.*,
КОВЗИК А. Н.⁴, *к. т. н., доц.*

¹ Кафедра покрытий, композиционных материалов и защиты металлов, Национальная металлургическая академия Украины, 49600, пр. Гагарина, 4, Днепро, Украина, тел. +38 (050) 900-05-81, e-mail: yuliakushnir79@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-3659-4501

^{2*} Кафедра покрытий, композиционных материалов и защиты металлов, Национальная металлургическая академия Украины, 49600, пр. Гагарина, 4, Днепро, Украина, тел. +38 (050) 138-33-59, e-mail: alvnukov74@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-1888-1200

³ Кафедра электрометаллургии, Национальная металлургическая академия Украины, 49600, пр. Гагарина, 4, Днепро, Украина, тел. +38 (095) 201-44-40, e-mail: golartem@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-4813-6586

⁴ Кафедра покрытий, композиционных материалов и защиты металлов, Национальная металлургическая академия Украины, 49600, пр. Гагарина, 4, Днепро, Украина, тел. +38 (050) 481-00-10, e-mail: anatoliykovzik@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-5361-6381

Аннотация. *Цель.* Обеспечение высокой коррозионной стойкости при сохранении требуемых эксплуатационных и функциональных свойств сварочной проволоки путем нанесения химически осажденных металлических покрытий. **Методика.** Исследовали коррозионную стойкость различных типов металлических покрытий, нанесенных методом контактного химического осаждения на стальную сварочную проволоку марки Св-08Г2С: медное покрытие толщиной 0,6 мкм, два вида оловянных покрытий, отличающихся по толщине (0,3 и 0,6 мкм), и комплексное оловянно-медное покрытие толщиной 0,8 мкм. Назначение данных покрытий – повышение электропроводности сварочной проволоки и ее защита от коррозии. Коррозионные испытания проводили в соляном тумане, при повышенной влажности и температуре, а также в естественных атмосферных условиях. В качестве показателей для оценки коррозионной стойкости покрытий использовали массовый показатель коррозии и степень коррозионного поражения поверхности. Для оценки степени коррозионного поражения использовали средства оптической микроскопии. **Результаты.** Наибольшей коррозионной стойкостью среди всех рассмотренных покрытий обладает медное. Это связано, во-первых, с его достаточно большей толщиной, а во-вторых, с характером поведения гальванопары медь – железо в условиях воздействия сред, приводящих к электрохимической коррозии. Достаточно высокая коррозионная стойкость комплексных медь-оловянных покрытий может быть объяснена только большой толщиной и удовлетворительными плотностью и сплошностью покрытия. Однако их защитная способность значительно ниже, чем у чисто медных покрытий. Антикоррозионные свойства оловянных покрытий очень низкие. Некоторый рост защитной способности луженой проволоки наблюдается только в случае значительного повышения толщины покрытия, что должно обеспечивать его сплошность. При невысоких значениях толщины покрытия оловом его коррозионная стойкость ниже, чем у проволоки без покрытия. Таким образом, наиболее эффективным покрытием сварочной проволоки, обеспечивающим не только ее коррозионную стойкость, но и повышенную электропроводность, является медное покрытие, толщиной 0,5...1 мкм. **Научная новизна.** Впервые определены закономерности поведения химически осажденных покрытий на основе меди и олова на поверхности сварочной проволоки в различных коррозионных средах. **Практическая значимость.** Практическое значение полученных результатов состоит в том, что определены наиболее эффективные виды металлических покрытий, нанесенных методом химического осаждения из растворов для защиты сварочной проволоки от коррозии. Антикоррозионная защита с применением таких видов покрытий позволяет не только повысить срок хранения и транспортировки сварочной проволоки, но улучшить ее функциональные и эксплуатационные характеристики.

Ключевые слова: сварочная проволока; химическое осаждение; омеднение; лужение; коррозионная стойкость; электрохимическая коррозия

ОЦІНКА КОРОЗІЙНОЇ СТІЙКІСТІ ХІМІЧНОГО ОСАДЖЕННЯ ПОКРИТТІВ НА ОСНОВІ МІДІ ТА ОЛОВА ДЛЯ ЗАХИСТУ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ДРОТУ

КУШНІР Ю. О.¹, асист.,
ВНУКОВ О. О.^{2*}, к. т. н., доц.,
ГОЛОВАЧОВ А. М.³, к. т. н., доц.,
КОВЗІК А. М.⁴, к. т. н., доц.

¹ Кафедра покриттів, композиційних матеріалів та захисту металів, Національна металургійна академія України, 49600, пр. Гагаріна, 4, м. Дніпро, Україна, тел. +38 (050) 452-54-18, e-mail: yuliakushnir79@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-3659-4501

^{2*} Кафедра покриттів, композиційних матеріалів та захисту металів, Національна металургійна академія України, 49600, пр. Гагаріна, 4, м. Дніпро, Україна, тел. +38 (050) 138-33-59, e-mail: alvnukov74@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-1888-1200

³ Кафедра електрометалургії, Національна металургійна академія України, 49600, пр. Гагаріна, 4, м. Дніпро, Україна, тел. +38 (095) 201-44-40, e-mail: golartem@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-4813-6586

⁴ Кафедра покриттів, композиційних матеріалів та захисту металів, Національна металургійна академія України, 49600, пр. Гагаріна, 4, м. Дніпро, Україна, тел. +38 (050) 481-00-10, e-mail: anatoliykovzik@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-5361-6381

Анотація. *Ціль.* Забезпечення високої корозійної стійкості при збереженні потрібних експлуатаційних та функціональних властивостей зварювального дроту шляхом нанесення хімічно осаджених металевих покриттів. *Методика.* Досліджували корозійну стійкість різних типів металевих покриттів, нанесених методом контактного хімічного осадження на сталевий зварювальний дріт марки Св-08Г2С: мідне покриття товщиною 0,6 мкм, два види олов'яних покриттів, що відрізняються по товщині (0,3 і 0,6 мкм), і комплексне олов'яно-мідне товщиною 0,8 мкм. Призначення даних покриттів – підвищення електропровідності зварювального дроту і їх захист від корозії. Корозійні випробування проводили в соляному тумані, при підвищеній вологості і температурі, а також в природних атмосферних умовах. Як показники для оцінки корозійної стійкості покриттів використовували масовий показник корозії і ступінь корозійного ураження поверхні. Для оцінки ступеня корозійного ураження використовували засоби оптичної мікроскопії. *Результати.* Найбільшу корозійну стійкість серед всіх розглянутих покриттів має мідне покриття. Це пов'язано, по-перше, з його досить більшою товщиною, а по-друге, з характером поведінки гальванічної пари мідь-залізо в умовах впливу середовищ, що призводять до електрохімічної корозії. Досить висока корозійна стійкість комплексних мідь-олов'яних покриттів може бути пояснена тільки великою товщиною і задовільними щільністю і суцільністю. Однак їх захисна здатність значно нижче, ніж у чисто мідних покриттів. Антикоровізійні властивості олов'яних покриттів дуже низькі. Деяке зростання захисної здатності лудженого дроту спостерігається тільки в разі значного підвищення товщини покриття, що має забезпечувати його суцільність. При невисоких значеннях товщини покриття оловом його корозійна стійкість нижче, ніж у дроту без покриття. Таким чином, найбільш ефективним покриттям зварювального дроту, що забезпечує не тільки її корозійну стійкість, але і підвищену електропровідність, є мідне покриття, товщиною 0,5...1 мкм. *Наукова новизна.* Вперше визначені закономірності поведінки хімічно осаджених покриттів на основі міді та олова на поверхні зварювального дроту в різних корозійних середовищах. *Практична значимість.* Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що визначені найбільш ефективні види металевих покриттів, нанесених методом хімічного осадження з розчинів для захисту зварювального дроту від корозії. Антикоровізійний захист із застосуванням таких видів покриттів дозволяє не тільки підвищити термін зберігання і транспортування зварювального дроту, але поліпшити її функціональні і експлуатаційні характеристики.

Ключові слова: зварювальний дріт; хімічне осадження; обміднення; лудіння; корозійна стійкість; електрохімічна корозія

ESTIMATION OF CORROSION STABILITY OF CHEMICALLY DEPOSITED COATINGS ON THE BASIS OF COPPER AND TIN FOR PROTECTION OF WELDING WIRE

KUSHNIR Yu.O.¹, Assist.,
VNUKOV O.O.^{2*}, CAND. SC. (TECH.), Ass. Prof.,
HOLOVACHOV A.M.³, CAND. SC. (TECH.), Ass. Prof.,
KOVZIK A.M.⁴, CAND. SC. (TECH.), Ass. Prof.

¹ Coatings, composite materials and metal protection department, National metallurgical academy of Ukraine, 49600, Gagarina ave., Dnipro, Ukraine, tel. +38(050)452-54-18, e-mail: yuliakushnir79@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-3659-4501

^{2*} Coatings, composite materials and metal protection department, National metallurgical academy of Ukraine, 49600, Gagarina ave., Dnipro, Ukraine, tel. +38(050)138-33-59, e-mail: alvnukov74@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-1888-1200

³ Department of electrometallurgy, National metallurgical academy of Ukraine, 49600, Gagarin ave., Dnipro, Ukraine, tel. +38(095)201-44-40, e-mail: golartem@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-4813-6586

⁴ Coatings, composite materials and metal protection department, National metallurgical academy of Ukraine, 49600, Gagarina ave., Dnipro, Ukraine, tel. +38(050)481-00-10, e-mail: anatologykovzik@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-5361-6381

Abstract. Purpose. Provides high corrosion resistance while maintaining the required operational and functional properties of the welding wire by applying chemically deposited metal coatings. **Methodology.** The corrosion resistance of various types of metallic coatings deposited by the method of contact chemical deposition on a steel welding wire of the mark Sv-08G2S was studied: a copper covering with a thickness of 0.6 microns, two types of tin coatings, differing in thickness (0.3 and 0.6 microns), and a complex tin-copper thickness of 0.8 microns. Purpose of the data of coatings - increase the electrical conductivity of the welding wire and their protection against corrosion. Corrosive tests were carried out in salt fog, with high humidity and temperature, as well as in natural atmospheric conditions. As indicators for assessing the corrosion resistance of coatings, the mass index of corrosion and the degree of corrosive damage to the surface were used. Optical microscopy was used to assess the degree of corrosion damage. **Findings.** The most corrosion resistance among all the coatings covered is copper coating. This is due, firstly, to its rather large thickness, and secondly to the nature of the behavior of galvanic pair copper-iron under conditions of influence of environments leading to electrochemical corrosion. Sufficiently high corrosion resistance of complex copper-tin coatings can be explained only by a large thickness and a satisfactory density and integrity. However, their protective ability is much lower than that of pure copper coatings. Anticorrosion properties of tin coatings are very low. Some increase in the protective ability of the lusted wire is observed only in the case of a significant increase in the thickness of the coating, which should ensure its continuity. At low values of the thickness of the coating of tin, its corrosion resistance is lower than that of a wire without coating. Thus, the most effective coating of welding wire, which provides not only its corrosion resistance, but also increased electrical conductivity, is a copper coating, thickness 0,5...1 microns. **Originality.** For the first time the laws of behavior of chemically deposited coatings based on copper and tin on the surface of welding wire in various corrosive environments have been determined. **Practical value.** The practical value of the results obtained is that the most effective types of metal coatings deposited by the chemical precipitation method from solutions to protect the welding wire from corrosion have been identified. Anticorrosion protection with the use of such types of coatings allows not only to increase the storage and transportation time of the welding wire but to improve its functional and performance characteristics.

Keywords: welding wire; chemical deposition; copper tinning; corrosion resistance; electrochemical corrosion

Постановка проблемы

Состояние поверхности электродной проволоки для механизированной дуговой сварки в защитных газах оказывает существенное влияние на устойчивость горения дуги, уровень разбрызгивания, качество швов и надежность эксплуатации сварочных полуавтоматов и автоматов. На поверхности сварочной проволоки могут находиться разнообразные металлические и неметаллические покрытия [1–3], технологическая смазка и подсмачочные вещества, используемые при ее волочении, оксиды и продукты химического травления, образующиеся при промежуточных операциях термической и химической обработки, ржавчина, которая может образоваться при длительном хранении или хранении в негерметичной упаковке [4; 5].

Основным способом защиты сварочной проволоки от окисления, а также повышения ее эксплуатационных характеристик является нанесение на ее поверхность защитных металлических покрытий. Покрытия могут наноситься различными способами, но наиболее эффективным является метод контактного химического осаждения из растворов.

Наиболее распространенным видом покрытий на сварочной проволоке является медное, однако в последнее время интенсивно ведутся исследования по нанесению других видов покрытий и, в частности, оловянного.

В условиях расширения потребности в профилированных металлических изделиях, нуждающихся в покрытии, особое внимание уделяется химическому омеднению стали и сплавов, алюминия и некоторых других металлов. Кроме того, медь эластичнее полученного химическим путем никеля и химическое омеднение может осуществляться на холоду. Химическое омеднение используется в гальванопластике, а также для защиты отдельных участков стальных деталей при цементации.

Для нанесения медного покрытия на поверхность стальной сварочной проволоки в промышленных условиях обычно используют достаточно экономичную технологию контактного омеднения, основанную на различии электродных потенциалов железа ($-0,44$ В) и меди ($+0,34$ В) [6–8]. При погружении стали в раствор медного купороса (CuSO_4) под действием разности электрохимических потенциалов железо переходит в раствор, а медь, выделяясь из раствора, осаждается на поверхности стальной проволоки. После этого поверхность проволоки приобретает блестящий вид с розовым цветом, характерным для полированной меди.

Химическое омеднение металлов пока не имеет широкого распространения, так как механические свойства химически полученной меди хуже, чем электрохимической, и потому химическое омеднение металлов ограничено специальными случаями.

Недостатком химического способа оловянирования является малая скорость процесса, вследствие чего он используется лишь в тех случаях,

когда необходима небольшая толщина покрытия (до 1 мкм).

В связи с этим исследования, направленные на улучшение эксплуатационных свойств существующих химически осажденных покрытий, а также связанные с расширением их ассортимента, являются достаточно актуальными.

Цель и задача исследования

Цель исследования – синтез покрытий методом контактного химического осаждения с целью повышения эксплуатационных характеристик стальной сварочной проволоки, в частности, с целью значительного повышения ее коррозионной стойкости.

Задача исследований – определение коррозионной стойкости различных типов химически осажденных покрытий в различных условиях хранения и эксплуатации.

Методика исследований

Объектом исследований данной работы являются различные типы покрытий, нанесенных методом контактного химического осаждения на стальную сварочную проволоку марки Св–08Г2С. Среди них – медное покрытие толщиной 0,6 мкм, два вида оловянных покрытий, отличающихся по толщине (0,3 и 0,6 мкм), и комплексное оловянно-медное покрытие толщиной 0,8 мкм. Назначение данных покрытий – повышение электропроводности сварочной проволоки и ее защита от коррозии.

Покрытия нанесены из слабо кислых электролитов, основными компонентами которых являются медный купорос и хлористое олово с добавлением серной и соляной кислот соответственно.

Коррозионные испытания проводили в соляном тумане, при повышенной влажности и температуре (ГОСТ 9.308–85 «Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Методы ускоренных испытаний») [9], а также в естественных атмосферных условиях [10].

В качестве показателей для оценки коррозионной стойкости покрытий использовали массовый показатель коррозии и степень коррозионного поражения поверхности (Приложение 2 к ГОСТ 9.308–85).

Результаты исследований

Результаты определения коррозионной стойкости исследуемых покрытий в различных условиях приведены в таблицах 1–3.

На рисунках 1–3 представлены микрофотографии поверхности проволоки с различными видами защитных покрытий после проведения коррозионных испытаний

Таблица 1

Результаты определения коррозионной стойкости покрытий в соляном тумане (время экспозиции 96 часов) / The results of determining the corrosion resistance of coatings in salt fog (exposure time 96 hours)

Тип покрытия на проволоке	Показатели коррозии	
	массовый показатель, K_m^+ , г/м ² ·ч	степень поражения X_A , %
Cu	0,87	5
Sn-Cu	1,11	10
Sn1	3,56	90
Sn2	1,89	20
Без покрытия	2,15	40

Таблица 2

Результаты определения коррозионной стойкости покрытий в гидрокамере (время экспозиции 96 часов) / The results of determining the corrosion resistance of coatings in the hydrochamber (exposure time 96 hours)

Тип покрытия на проволоке	Показатели коррозии	
	массовый показатель, K_m^+ , г/м ² ·ч	степень поражения X_A , %
Cu	1,65	25
Sn-Cu	2,06	30
Sn1	3,84	80
Sn2	3,11	80
Без покрытия	3,68	50

Таблица 3

Результаты определения коррозионной стойкости покрытий в атмосферных условиях (время экспозиции 576 часов) / The results of determining the corrosion resistance of coatings in atmospheric conditions (exposure time 576 hours)

Тип покрытия на проволоке	Показатели коррозии	
	массовый показатель, K_m^+ , г/м ² ·ч	степень поражения X_A , %
Cu	1,25	15
Sn-Cu	1,35	15
Sn1	2,82	70
Sn2	2,13	50
Без покрытия	2,25	100



a(a)



б(б)

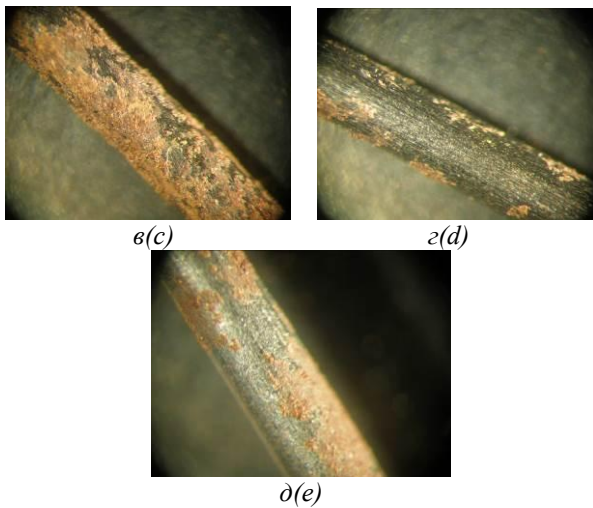


Рис. 1. Общий вид образцов сварочной проволоки с различными типами покрытий после испытаний в соляном тумане: а – Cu-покрытие; б – Cu-Sn-покрытие; в – Sn-покрытие толщиной 0,3 мкм; г – Sn-покрытие толщиной 0,6 мкм; д – образец без покрытия ($\times 12$) / Fig. 1. General view of welding wire samples with different types of coatings after salt fog tests: a – Cu coating; b – Cu-Sn coating; c – Sn-coating with a thickness of 0.3 microns; d – Sn-coating with a thickness of 0.6 μm ; e – sample without coating ($\times 12$)

Результаты определения коррозионной стойкости исследованных покрытий на основе меди и олова, нанесенных методом контактного химического осаждения с применением различных способов натуральных и ускоренных испытаний, полностью коррелируют.

Однозначно наибольшей коррозионной стойкостью среди всех рассмотренных покрытий обладает медное покрытие. Это связано, в первую очередь, с его достаточно большей толщиной и практически идеальной сплошностью, которая обусловлена активным протеканием обменной реакции на поверхности сварочной проволоки за счет достаточно большой разности потенциалов между железом и медью.

Достаточно высокая коррозионная стойкость комплексных медь-оловянных покрытий может быть объяснена только большой толщиной и удовлетворительными плотностью и сплошностью покрытия. Однако, их защитная способность несколько ниже, чем у чисто медных покрытий, что может быть связано с характером поведения двойной гальванопары медь – олово – железо в условиях воздействия сред, приводящих к электрохимической коррозии.

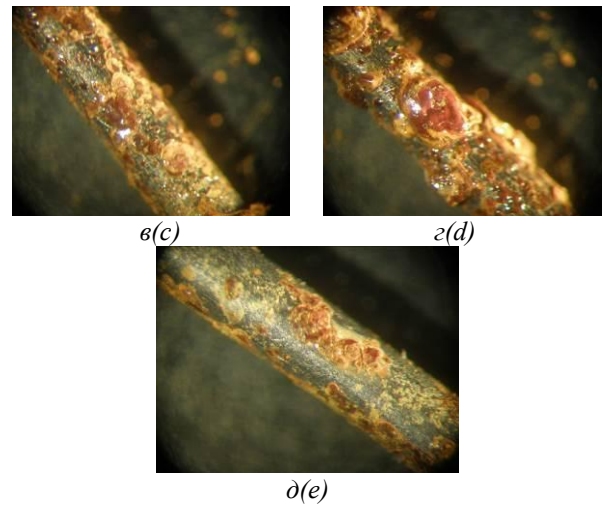
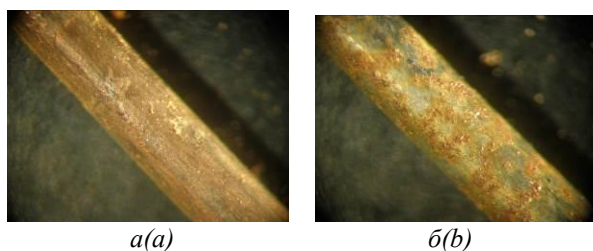
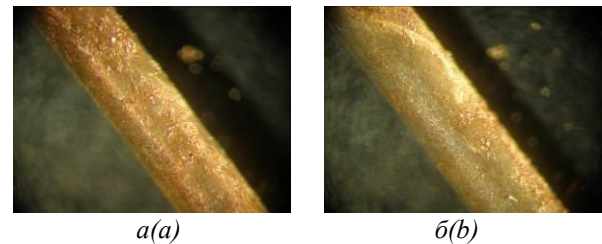


Рис. 2. Общий вид образцов сварочной проволоки с различными типами покрытий после испытаний в гидрокамере: а – Cu-покрытие; б – Cu-Sn-покрытие; в – Sn-покрытие толщиной 0,3 мкм; г – Sn-покрытие толщиной 0,6 мкм; д – образец без покрытия ($\times 12$) / Fig. 2. General view of welding wire samples with various types of coatings after testing in a hydrochamber: a – Cu coating; b – Cu-Sn coating; c – Sn-coating with a thickness of 0.3 μm ; d – Sn-coating with a thickness of 0.6 μm ; e – sample without coating ($\times 12$)

Антикоррозионные свойства оловянных покрытий очень низкие. Некоторый рост защитной способности оловянированных покрытий на сварочной проволоке наблюдается только в случае значительного повышения толщины покрытия, что должно обеспечивать его сплошность. При невысоких значениях толщины покрытия оловом его коррозионная стойкость ниже, чем у проволоки без покрытия.

Согласно полученным результатам можно предположить, что химическое лужение целесообразно применять для покрытия стальных изделий, покрытых медью и ее сплавами для придания необходимой электропроводности, тонким слоем олова (менее 1 мкм) и защиты их от окисления в условиях межоперационного хранения.

Для повышения качества исследованных химически осажденных покрытий можно рекомендовать введение в электролит различных типов поверхностно-активных веществ (в частности, трилона Б, диэтилендиамина) для интенсификации процесса взаимодействия металла покрытия с поверхностью сварочной проволоки и, как следствие, повышению сплошности покрытия.



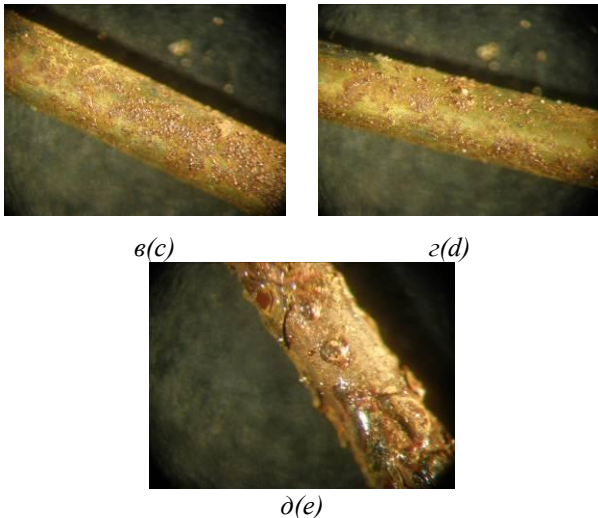


Рис. 3. Общий вид образцов сварочной проволоки с различными типами покрытий после испытаний в атмосферных условиях: а – Cu-покрытие; б – Cu-Sn-покрытие; в – Sn-покрытие толщиной 0,3 мкм; г – Sn-покрытие толщиной 0,6 мкм; д – образец без покрытия ($\times 12$) / Fig. 3. General view of welding wire

samples with different types of coatings in atmospheric conditions: a – Cu coating; b – Cu-Sn coating; c – Sn-coating with a thickness of 0.3 μm ; d – Sn-coating with a thickness of 0.6 μm ; e – sample without coating ($\times 12$)

Выводы

1. Однозначно наибольшей коррозионной стойкостью среди всех рассмотренных покрытий обладает медное.
2. Достаточно высокой коррозионной стойкостью обладают также комплексные медь-оловянные покрытия. Однако, их защитная способность ниже, чем у медных.
3. Антикоррозионные свойства оловянных покрытий очень низкие.
4. Наиболее эффективным покрытием сварочной проволоки, обеспечивающим не только ее коррозионную стойкость, но и высокую электропроводность, является медное покрытие, толщиной 0,5...1 мкм.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кудрявцев М. Т. Электролитические покрытия металлами : монография / [М. Т. Кудрявцев]. – Москва : Metallurgy, 1979 – 351 с.
2. Вячеславов П. М. Металлические покрытия, нанесенные химическим способом : монография / [П. М. Вячеславов]. – Ленинград : Машиностроение, 1985. – 103 с.
3. Астальюхина А. С. Характеристика современных методов нанесения защитных цинковых покрытий / А. С. Астальюхина, Е. С. Пикалов // Успехи современного природоведения. – 2015. – № 11–1. – С. 11–14.
4. Коррозия и борьба с ней. Введение в коррозионную науку и технику : монография / [Г. Г. Улиг, Р. У. Ревин]. – Ленинград : Химия, 1989. – 456 с.
5. Коррозия и защита металлов: монография / [М. А. Шлугер, Ф. Ф. Ажогин, Е. А. Ефимов]. – Москва : Metallurgy, 1981. – 216 с.
6. Защита от коррозии, старения и биоповреждений машин, оборудования и сооружений : справ. в 2-х т. / [А. А. Герасименко]. – Москва : Машиностроение, 1987. – 700 с.
7. Кетов В. М. Исследование влияния способа легирования медью на свойства порошковых шихт и характеристики спеченных материалов на основе железа / В. М. Кетов, А. А. Внуков, Е. И. Демченко, И. Г. Рослик // Инженерия поверхности. Новые порошковые композиционные материалы. Сварка : сб. докл. Междунар. симп. – 2011. – Минск, 23–25 марта. – С. 153–157.
8. Внуков А. А. Структура и свойства спеченных материалов на основе системы Fe-Cu-C, полученных с применением различных способов легирования / А. А. Внуков // Вісник національного технічного університету «ХПІ». – № 49. – Харків. – 2015. – С. 3–6. – Режим доступа : <http://www.vestnik.kpi.kharkov.ua>
9. ГОСТ 9.308-85 Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Методы ускоренных испытаний. – Москва : Изд-во стандартов, 1985. – 11 с.
10. Методы коррозионных испытаний металлов : монография / [М. Н. Фокин, К. А. Жигалова] – Москва : Metallurgy, 1986. – 80 с.

REFERENCES

1. Kudryavtsev M.T. *Elektroliticheskie pokrytiya metallami* [Electrolytic metal coatings]. Moscow : Metallurgy, 1979, 351 p. (in Russian).
2. Vyacheslavov P.M. *Metallicheskie pokrytiya, nanesennyye himicheskim sposobom* [Metal coatings applied by chemical means]. Leningrad : Engineering, 1985, 103 p. (in Russian).
3. Astalyuhina A.S. and Pikalov E.S. *Harakteristika sovremennykh metodov naneseniya zaschitnykh tsynkovykh pokrytiy* [Characteristics of modern methods of applying protective zinc coatings]. *Uspehi sovremennogo prirodovedeniya*. [Successes of modern natural history]. 2015, no. 11–1, p.p. 11–14. (in Russian).
4. Ulig G.G. and Revi R.U. *Korroziya i bor'ba s nej. Vvedenie v korrozionnyuyu nauku i tehniku* [Corrosion and fight with it. Introduction to Corrosion Science and Technology]. Leningrad : Chemistry, 1989, 456 p. (in Russian).
5. Shluger M.A., Azhogin F.F. and Yefimov E.A. *Korroziya i zaschita metallov* [Corrosion and protection of metals]. Moscow : Metallurgy, 1981, 216 p. (in Russian).

6. Gerasimenko A.A. *Zaschita ot korrozii, stareniya i biopovrezhdenij mashin, oborudovaniya i sooruzhenij. Spravochnik v 2-h tomah* [Protection against corrosion, aging and biodeterioration of machinery, equipment and structures. Handbook in 2 volumes]. Moscow : Engineering, 1987, 700 p. (in Russian).

7. Ketov V.M., Vnukov A.A., Demchenko E.I. and Roslik I.G. *Issledovanie vliyaniya sposoba legirovaniya medyu na svoystva poroshkovyh shiht i harakteristiki spechennykh materialov na osnove zheleza* [Study of the copper alloying methods influence on the properties of powder blends and sintered iron-based materials characteristics]. *Sbornik dokladov Mezhdunarodnogo simpoziuma Inzheneriya poverhnosti. Novyye poroshkovyye kompozitsionnyye materialy. Svarka*. [Collection of reports of the International Symposium Surface Engineering. New powder composite materials. Welding]. 2011, Minsk, 23–25 of March, pp. 153–157. (in Russian).

8. Vnukov A.A. *Struktura i svoystva spechennykh materialov na osnove sistemy Fe–Cu–C, poluchennykh s primeneniem razlichnykh sposobov legirovaniya* [Structure and properties of sintered materials based on the system Fe–Cu–C, obtained using various methods of alloying]. *Vistnik NTU «HPI»* [Herald of STU «KhPI»]. 2015, no. 49, p.p. 3–6. (in Russian).

9. GOST 9.308-85 *Pokrytiya metallicheskie i nemetallicheskie neorganicheskie. Metody uskorenykh ispytaniy* [Metallic and non-metallic inorganic coatings. Accelerated test methods]. Moscow : Standards publishing house, 1985, 11 p. (in Russian).

10. Fokin M.N. and Zhigalova K.A. *Metody korroziionnykh ispytaniy metallov* [Methods of metals corrosion testing]. Moscow : Metallurgy, 1986, 80 p. (in Russian).

Статья рекомендована к публикации доктором техн. наук, проф. Ю. С. Пройдаком (Украина), доктором техн. наук, проф. В. А. Гладких (Украина).

Поступила в редколлегию 03.07.2018

Принята к печати 20.07.2018