

УДК 621.791.035

**КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ МЕДЬСОДЕРЖАЩИХ МЕТАЛЛОПОКРЫТИЙ,  
НАПЛАВЛЕННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ***д-р техн. наук, проф. Н.В. СПИРИДОНОВ**(Белорусский национальный технический университет, Минск);**А.В. КУДИНА, канд. техн. наук, доц. В.В. КУРАШ**(Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск)*

*Исследуется коррозионная стойкость медьсодержащих металлопокрытий, наплавленных с применением ультразвуковых колебаний. Сформированные защитно-упрочняющие покрытия методом электродуговой наплавки в среде защитного газа электродной проволокой Св-08Г2С с присадочной композицией ПГ-СР3 и ПГ-СР4 + 10...30 % Си с наложением ультразвуковых колебаний обладают высокой коррозионной стойкостью. Представлен анализ результатов проведенных исследований. Показаны общие закономерности коррозионного поведения сплавов. Ведущая роль в начальной стадии зарождения и развития коррозионных процессов принадлежит биологическим факторам – микроорганизмам. Коррозионного разрушения наплавленных поверхностей с включением медной композиции не наблюдается, причем образование на поверхности покрытий оксидов меди придает поверхности биоцидные и инсектицидные свойства. Наплавленные поверхности с включением медной композиции обладают биокоррозионно-стойкими свойствами и могут применяться для восстановления деталей, работающих в контакте с техногенными средами, содержащими биологические факторы.*

**Введение.** Повышение долговечности деталей технических систем машин и технологического оборудования, работающих в условиях коррозионно-механического изнашивания, требует совершенствования технологии ремонта, разработки и внедрения в производство новых материалов, методов восстановления и упрочнения рабочих поверхностей деталей. В настоящее время среди методов упрочнения поверхностей трения наибольшее распространение получили методы нанесения защитно-упрочняющих покрытий из твердых износостойких материалов. Особое место среди них занимают методы и способы, при которых покрытия формируются в процессе кристаллизации ванны жидкого металла, а необходимые их свойства обеспечиваются за счет присадочного материала или физического воздействия на процессы кристаллизации металла. Весьма перспективным методом повышения долговечности трибоповерхностей деталей в таких технологиях представляется наплавка поверхностей с введением в расплав металла порошковой присадки в поле ультразвуковых колебаний.

**Основная часть.** При работе триботехнических систем в условиях интенсивного коррозионно-механического изнашивания долговечность деталей узлов и механизмов в значительной степени зависит от свойств поверхностных слоев, которые помимо высоких физико-механических характеристик должны обладать высокой степенью коррозионной стойкости. При коррозионных процессах ведущая роль в начальной стадии их зарождения и развития принадлежит биологическим факторам – микроорганизмам [1, 2]. Поэтому для исследования коррозионной стойкости были выбраны медьсодержащие покрытия, наплавленные с применением ультразвука.

При электродуговой наплавке поверхностей применялась сварочная электродная проволока Св-08Г2С ГОСТ 2246-70 и порошковая присадочная композиция из самофлюсующихся сплавов: ПГ-СР3 и ПГ-СР4 ГОСТ 21448-75 с медным порошком марки М2 ГОСТ 859-78. В состав композиции вводили 0,2 % алюминия, который связывает азот, кислород и серу в тугоплавкие соединения. Наплавка осуществлялась с подачей ультразвуковых колебаний на электродную проволоку.

Исследования наплавленных покрытий проводились по методикам в соответствии с ГОСТ 9.803-88 «Методы испытаний на стойкость к воздействию биологических факторов» и ГОСТ 9.903-85 «Методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости».

Тип коррозии и формы коррозионного поражения в металле и сплавах определялись путем сравнения с соответствующими типовыми формами и измерениями глубины коррозионного поражения на металлографическом шлифе по ГОСТ 9.903-85. Использовался гравиметрический метод оценки коррозионных поражений. Результаты измерений и наблюдений показывают, что образцы без медной композиции более сильно подвержены коррозионному воздействию, которое проявляется преимущественно в виде коррозионных пятен и питтингов.

Определение оптимального состава медной композиции в сплаве определялось по наименьшей скорости коррозии.

Графическая зависимость скорости коррозии композиционного покрытия от содержания меди представлена на рисунке 1.

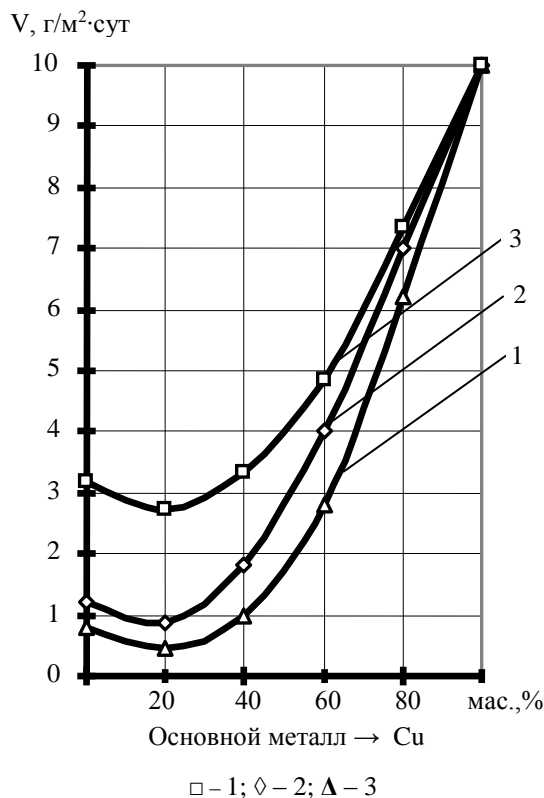


Рис. 1. Скорость коррозии наплавленных сплавов в 3 %-ном растворе NaCl:  
1 – Св-08Г2С + Cu; 2 – ПГ-СР3 + Cu; 3 – ПГ-СР4 + Cu

Из анализа результатов коррозионных поражений следует, что в начальный период времени скорость коррозии сплавов несколько снижается. Это свидетельствует о возникновении на поверхности сплавов пассивирующих пленок, тормозящих коррозионный процесс. С течением времени происходит формирование коррозионно-защитной структуры на поверхности сплава за счет растворения менее стойких компонентов сплава – твердого раствора на основе Ni и боридной эвтектики.

Никель в сплаве с медью (переходным металлом), не имеющей электронных вакансий, сообщает сплаву склонность к пассивации при атомном содержании никеля 3...40 %. Этот критический состав определяется по склонности к питтингу в растворе NaOH (рис. 2).

Питтингообразование в растворе NaOH на сплавах Ni–Cu наблюдается главным образом при содержании компонентов в основе до 50 %, так как росту питтингов способствует наличие активно-пассивных элементов, а эти элементы функционируют, только если сплав пассивен, т.е. при высокой концентрации никеля. Непассивные медно-никелевые поверхности мало подвержены коррозии, так как сплав равномерно корродирует, причем выделяется достаточно ионов  $\text{Cu}^{2+}$ , подавляющих процессы биокоррозии [3]. В растворах NaOH коррозионная стойкость сплавов выше, чем в растворах  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , что объясняется более высокой коррозионной стойкостью в них основных упрочняющих фаз. В растворах NaOH стойкость сплавов обусловлена в основном защитными окисными пленками NiO,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , образующимися на поверхности сплавов.

Из установленных зависимостей (см. рис. 2) следует:

- действие NaOH существенно не изменяет скорость коррозии, так как при этом не происходит заметного изменения активности ионов  $\text{H}^+$ ;

- увеличение концентрации  $\text{CH}_3\text{COOH}$  значительно увеличивает скорость коррозии сплавов. Это связано с уменьшением pH растворов и соответственно увеличением активности ионов  $\text{H}^+$ , что приводит к возрастанию скорости коррозии, так как при этом потенциалы водородного и кислородного

электродов делаются более положительными и катодные процессы водородной и кислородной поляризации облегчаются.

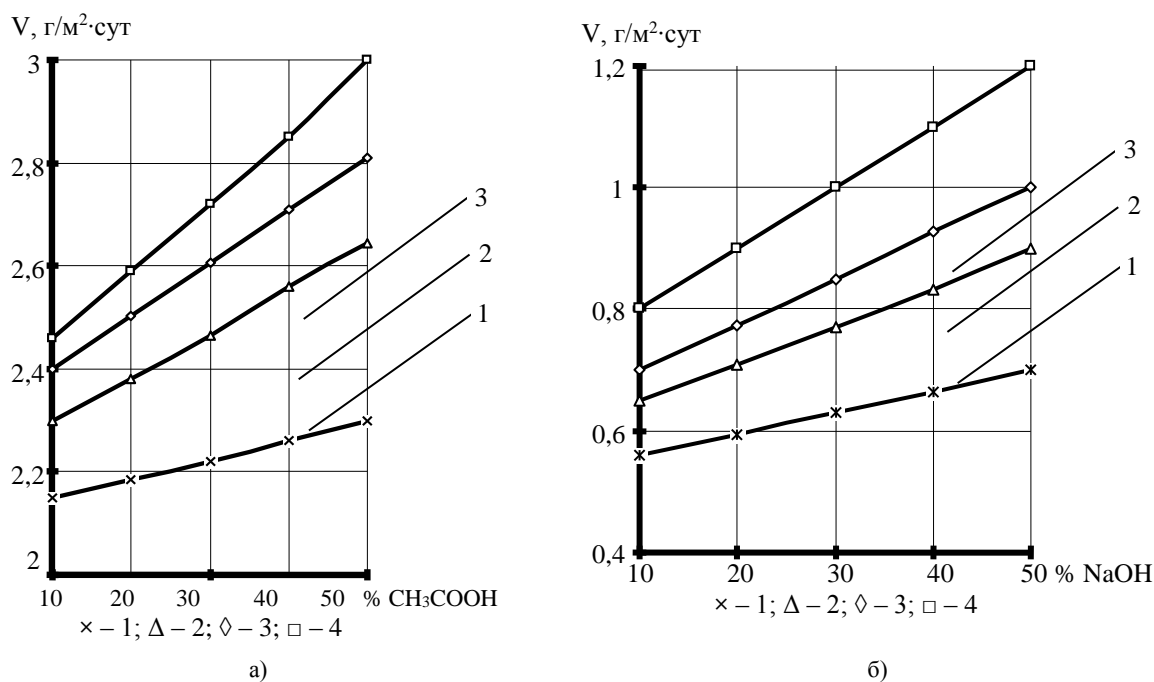


Рис. 2. Скорость коррозии поверхностей, наплавленных проволокой Св-08Г2С в растворах кислоты (а) и щелочи (б):  
1 – ПГ-СР4 + 20 % Cu; 2 – ПГ-СР4 + 40 % Cu; 3 – ПГ-СР3 + 20 %Cu; 4 – ПГ-СР3 + 40 % Cu

В результате исследований было также установлено, что на коррозионные поражения сплавов наиболее существенное влияние оказывают внутренние и внешние факторы. Из внутренних факторов (связанных с самим сплавом) увеличение содержания никеля способствует образованию однородной и более мелкодисперсной структуры, что повышает коррозионную стойкость покрытий за счет образования более прочной и однородной защитной пленки. С увеличением содержания хрома повышается пассивируемость сплавов.

Влияние бора – самого активного компонента сплава – на коррозионную стойкость покрытий проявляется через влияние его соединений, таких как бориды хрома и никеля. Кремний может, с одной стороны, образовывать коррозионно-стойкий силицид типа  $\text{Ni}_5\text{Si}_2$ , с другой – может несколько снизить прочность сцепления пассивирующего слоя [4]. Из внешних факторов оказывают наибольшее влияние температура среды и наличие биологических факторов, а при испытании в растворе – и концентрация среды.

В результате анализа результатов проведенных исследований можно представить общие закономерности коррозионного поведения сплавов:

1) в начальный период взаимодействия сплавов с указанными электролитами происходит одновременный процесс ухода в раствор наиболее неблагородных компонентов сплава, в результате чего формируются коррозионно-защитная структура и пассивация сплавов за счет образования хемосорбционных связей, а затем и фазовых окислов, преимущественно  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{NiO}$ ,  $\text{NiCr}_2\text{O}_4$ . В дальнейшем образуются гидраты окиси хрома и никеля. Защитные свойства образующихся вторичных структур в первую очередь определяются гетерогенностью и дисперсностью сплава;

2) в покрытиях, полученных электродуговой наплавкой, никель не текстурирован и растворяется по всем кристаллографическим плоскостям равномерно. Этот процесс сопровождается растворением легирующих никель элементов, что подтверждается уменьшением периода его кристаллической решетки в начальной фазе. Уменьшение размеров кристаллитов никеля свидетельствует о растворении его в сплавах;

3) в сплаве ПГ-СР4 влияние текстуры на растворимость никелевой фазы проявляется слабее. Наблюдается более равномерное изменение интенсивности линий никеля, причем он в данном случае растворяется сильнее, чем в сплаве ПГ-СР3.

Испытания наплавленных металлопокрытий на биокоррозионную стойкость проводились в производственных техногенных средах микробиологических производств:

- амилоцитазы (микроорганизмы *Aspergillus awamori*);
- целлюлазы (микроорганизмы *Trichoderma viride*);
- амилосубтилина (микроорганизм *Bac. subtilis*).

Испытания позволили убедиться, что образцы, полученные дуговой наплавкой электродной проволокой Св08Г2С с порошковой присадкой из сплавов ПГ-СР, под воздействием биосреды слабо подвергаются коррозионному поражению со средней скоростью  $V = (1,5 \dots 2,0) \cdot 10 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$ , что ниже предельной скорости разрушения коррозионно-стойких сталей ( $3,24 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$ ), в то время как на остальных поверхностях покрытий с включением медной композиции обнаружены едва заметные локальные потускнения без поверхностного разрушения самих покрытий. Химический анализ состава пленок показал, что они являются оксидами меди, которые могут оказывать действие инсектицидов.

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что для данных биологических сред устойчивы к биокоррозии сплавы с медной композицией. Объясняется это биоцидными свойствами покрытий и их высокой биокоррозионной стойкостью.

**Заключение.** Проведенные исследования показали следующее:

- сформированные защитно-упрочняющие покрытия методом электродуговой наплавки в среде защитного газа электродной проволокой Св-08Г2С с присадочной композицией ПГ-СР3 и ПГ-СР4 + 10...30 % Cu с наложением ультразвуковых колебаний обладают высокой коррозионной стойкостью (0,1...0,13 мм/год), что ниже сплавов с высокой коррозионной стойкостью (0,15 мм/год);
- коррозионное разрушение наплавленных поверхностей с включением медной композиции не наблюдается, причем образование на поверхности покрытий оксидов меди придает поверхности биоцидные и инсектицидные свойства;
- наплавленные поверхности с включением медной композиции обладают биокоррозионно-стойкими свойствами и могут применяться для восстановления деталей, работающих в контакте с техногенными средами, содержащими биологические факторы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ивашко, В.С. Разрушение микроорганизмами материалов деталей и механизмов по производству и переработке сельхозпродукции / В.С. Ивашко, В.В. Кураш, А.В. Кудина // Агропанорама. – 2007. – № 2. – С. 36 – 40.
2. Ивашко, В.С. Теоретические аспекты кинетики изнашивания поверхностей деталей машин и механизмов / В.С. Ивашко, В.В. Кураш, А.В. Кудина // Вестник БНТУ. – 2005. – № 5. – С. 59 – 64.
3. Улиг, Г.Г. Коррозия и борьба с ней. Введение в коррозионную науку / Г.Г. Улиг, Р.У. Ревиз; пер. с англ. под ред. А.Н. Сухотина. – Л.: Химия, 1989. – 456 с.
4. Спиридонов, Н.В. Исследование коррозии Ni–Cr–B–Si плазменных покрытий, оплавленных лазерным лучом / Н.В. Спиридонов // Теория и практика машиностроения. – 2003. – № 2. – С. 65 – 67.

Поступила 30.11.2007