

Ж. Е. ЯХИЯЕВА, С. К. КИЛИБАЕВА, Л. Я. АГАПОВА*,
З. С. АБИШЕВА, А. Н. АЛТЕНОВА

АО «Центр наук о Земле, металлургии и обогащения,
Алматы, *rm.303.imo@mail.ru

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ МАТЕРИАЛА ПОДЛОЖКИ И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ РЕНИЙ-НИКЕЛЕВЫХ ПОКРЫТИЙ

В статье представлены результаты исследований влияния природы материала подложки (нержавеющая сталь и медь) и термической обработки на коррозионную стойкость рений-никелевых покрытий. Электролитические покрытия на основе рений-никелевых сплавов осаждали из аммонийно-сернокислых растворов с добавками глицерина в условиях мембранного электролиза. Полученные покрытия подвергали термической обработке в токе инертного газа аргона при температуре 400 °С в течение 1 ч. Испытания коррозионной стойкости исследуемых рений-никелевых покрытий проводили стандартным весовым методом с выдержкой в 0,5 М растворе серной кислоты и оценивали по 10-балльной шкале. Установлено, что покрытия без отжига (независимо от материала подложки) в обычной атмосфере совершенно стойкие (1 балл), а в 0,5 М растворе серной кислоты – весьма стойкие к коррозии (2-3 балла). Рассчитанные средние глубинные показатели коррозии для образцов покрытий до отжига составляют: на медных подложках 0,00226; 0,00615 мм/год, на подложках из нержавеющей стали 0,00150; 0,00534 мм/год. После отжига средние глубинные показатели коррозии для образцов покрытий составляют: на медных подложках 0,00153; 0,00158 мм/год, на подложках из нержавеющей стали 0,00201; 0,00176 мм/год. После отжига покрытия имеют по таблице стойкости 2 балла и по группе относятся к весьма стойким к коррозии. Коррозионная стойкость покрытий на медных подложках, по сравнению с покрытиями на стальных подложках, после их термической обработки повысилась как в обычной атмосфере, так и в кислой среде.

Ключевые слова: электролитические Re-Ni покрытия, мембранный электролиз, материал подложки, коррозионная стойкость, отжиг.

Введение. В настоящее время одной из важнейших научно-технических проблем для многих отраслей производства является продление срока службы и повышение устойчивости металлических материалов и конструкций к процессам коррозионного разрушения. Актуальность этой проблемы возрастает, поскольку темп роста коррозионных потерь в последние годы значительно превышает темпы роста производства металлов. Поэтому изучение процессов коррозии и разработка методов защиты металлов является значительной научно-технической задачей [1].

В борьбе с коррозией могут быть использованы методы нанесения специальных покрытий, в частности на основе сплавов редких, тугоплавких и цветных металлов на поверхность для особо предназначенных деталей и контактов. Среди тугоплавких металлов можно выделить ре-

ний и его сплавы с никелем, вольфрамом и молибденом, которые обладают ценными физико-химическими свойствами: сочетанием высокой жаропрочности и низкотемпературной пластичности с высокой коррозионной стойкостью в любых средах, кроме окислительных. Благодаря таким уникальным свойствам сплавы рения широко используются в ракетно-космической технике, авиации, атомной энергетике, радиоэлектронике, приборостроении, химической промышленности [2-3].

В основном коррозионностойкие сплавы рения изготавливают методами порошковой металлургии (прессованием порошков металлов) или литьем сплавов. Однако такими способами не всегда удается получить однородные сплавы с заданными свойствами. Известны работы по электроосаждению сплавов на основе рения и никеля из водных растворов электролитов [4-9].

Электрохимические процессы в водных растворах отличаются высокой эффективностью, экологической чистотой, позволяют получать при низких температурах однородные сплавы высокой чистоты с заданными свойствами, что не всегда возможно достичь пирометаллургическими методами [10-12]. В электрохимическом методе основной проблемой является стойкость анодов. В процессе электролиза все материалы, кроме платины, разрушаются. Дороговизна нерастворимых платиновых анодов сдерживает широкое внедрение этого метода в промышленности. Использование мембранного электролиза дает возможность заменить дорогие платиновые аноды более дешевыми анодными материалами, например, графитом, не загрязняя при этом получаемый конечный продукт [13].

Электролитические сплавы, в отличие от литейных обладают качественно новыми техническими характеристиками: у них может быть повышена в несколько раз микротвердость, пластичность, жаропрочность, коррозионностойкость. Это вызвано тем, что, как правило, формирование электролитических осадков проходит в условиях, далеких от равновесия. В результате на катоде образуются метастабильные кристаллические или даже аморфные фазы [11-12]. Полученные таким методом сплавы рения применяются не только в качестве коррозионно-стойких покрытий, но все шире используются как материалы, обладающие ценными для современной техники свойствами: магнитными, полупроводниковыми, сверхпроводящими и др.

Вопрос получения электролитических сплавов, особенно в виде покрытий на других металлах, представляет значительный интерес. Этот вопрос определяется возможностью придать изделиям из более доступных, дешевых или легкоформируемых материалов свойства, необходимые для условий работы данной детали [11-12].

На коррозионную стойкость гальванопокрытий, наносимых для защиты различных изделий от разрушения, а также для придания товарного вида в соответствии с требованиями технической эстетики, влияет значительное число факторов. Это – природа и состояние покрытия и основного металла, сцепление между ними, равномерность распределения покрытия на поверхности и его пористость, неметаллические включения, внутренние напряжения, существующие в осадке [14].

В связи с этим исследование коррозионной стойкости электролитических покрытий на основе рений-никелевых сплавов на различных подложках представляет значительный интерес с точки зрения практического использования таких покрытий.

Экспериментальная часть. В процессе исследований использовали рентгенофазовый (D8 ADVANCE, ДРОН 4-07), химический (Optima 8300DV), кристаллооптический (OLYMPUS BX-51), электронно-микроскопический (JEOL JXA-8230) методы анализа.

В качестве объекта исследования использовали электролитические покрытия на основе рений-никелевых сплавов на медных и стальных подложках. Покрытия осаждали в мембранном четырехкамерном электролизере (анод – графит, катод – пластина из меди или нержавеющей стали) из аммонийно-сернокислых растворов с добавками глицерина при катодной плотности тока 500 А/м^2 , продолжительности процесса 4 ч. Поверхность медных и стальных подложек перед нанесением покрытий обрабатывали в растворе серной кислоты (10 г/дм^3). Полученные образцы с покрытием сушили при комнатной температуре, взвешивали и определяли их коррозионную стойкость до и после отжига покрытий в инертной среде. С точки зрения эксплуатационных характеристик покрытий все изменения, происходящие при термической обработке, могут быть и положительными и отрицательными, поэтому каждый конкретный случай требует отдельного рассмотрения.

Термическая обработка. Отжиг электролитических покрытий выполняли в трубчатой печи в токе аргона при температуре 400°C в течение 1 ч. Остывание образцов покрытий проводили в той же печи в токе аргона до 50°C .

Испытания коррозионной стойкости. Коррозионная стойкость металла – это его способность противостоять химическому или электрохимическому разрушению при воздействии среды, в которой он эксплуатируется. Срок службы покрытия или долговечность – это продолжительность его разрушения до обнажения основы. Коррозионное разрушение определяют как потерю массы покрытия на единицу площади, скорость коррозии – г/м^2 в сутки или мкм/год . На скорость коррозии оказывают большое влияние состав среды, ее электропроводность, а также электродные потенциалы металлов или каких-либо частиц, находящихся в контакте с

металлами. Электродный потенциал возникает на металле каждый раз, как только металл попадает в жидкую электропроводную среду, т. е. в воду, в которой растворены какие-либо вещества (соли, кислоты, щелочи).

Коррозионную стойкость оценивают по изменениям внешнего вида, по измерениям массы образца или его физических свойств, а также по времени, через которое на поверхности возникают очаги коррозии [14].

Испытания на коррозию рений-никелевых покрытий проводились стандартным весовым методом (ГОСТ 9.905-2007 и 9.909-86), т. е. образцы погружали в химические среды при комнатной температуре [15, 16]. Если коррозия является общей и равномерной, то глубина коррозии прямо пропорциональна изменению веса испытуемого образца. Эта зависимость лежит в основе весового метода.

Для исследования на коррозионную стойкость нами были подготовлены 8 образцов покрытий на медных и стальных подложках: 4 образца без отжига и 4 образца после отжига. Площадь подложки равна 22 см². Площадь покрытий 6,4 см². При этом нанесение покрытий осуществлялось на одной стороне подложки. Перед проведением испытаний непокрытую часть подложек покрывали эпоксидной смолой. Поверхность образцов покрытий предварительно очищали спиртом.

Для экспериментальной оценки коррозионной стойкости рений-никелевые покрытия на различных подложках до и после термической обработки согласно стандартному весовому методу погружали в коррозионную среду. Объем коррозионной среды – 60 мл с концентрацией серной кислоты 0,5 моль/дм³. Во время испытаний все образцы взвешивали на аналитических весах в определенные промежутки времени (через 24 ч) и наблюдали состояние поверхности покрытий. Отслеживание коррозионной стойкости прекращается, когда происходит изменение внешнего вида покрытий, массы (убыль металла) и физических свойств во времени. В случае изменения массы образца показатель коррозии определяется как разность между массой образца до испытания и его массой после испытания со снятием продуктов коррозии (убыль металла). Определение весового показателя коррозии [16]:

$$K_{\text{вес}} = m_0 - m_1 / S \tau. \quad (1)$$

Оценка среднего глубинного показателя осуществляется по формуле [17]

$$П = (K_{\text{масс}} / d_{\text{Ме}}) * 8,76 \text{ мм/г}, \quad (2)$$

где $d_{\text{Ме}}$ – плотность металла;

K – весовой показатель коррозии.

Далее проводится сравнение данных по десятибалльной шкале коррозии металлов, предусмотренной согласно ГОСТ 13819-68 (таблица 1) [17].

Таблица 1 – Десятибалльная шкала коррозионной стойкости металлов

Группа стойкости	Глубинный показатель коррозии, мм/год	Балл
Совершенно стойкие	Менее 0,001	1
Весьма стойкие	0,001-0,005	2
	0,005-0,010	3
Стойкие	0,010-0,050	4
	0,050-0,100	5
Пониженно-стойкие	0,100-0,500	6
	0,500-1,000	7
Малостойкие	1,000-5,000	8
	5,000-10,000	9
Нестойкие	Более 10,000	10

Результаты и их обсуждение. При исследовании коррозионной стойкости покрытий на основе рений-никелевых сплавов отслеживали изменение массы неотожженных (№ 90 и № 94 на подложках из нержавеющей стали, № 89 и № 96 на медных подложках) и отожженных (№ 104 и № 106 на подложках из нержавеющей стали, № 105 и № 109 на медных подложках) образцов после выдержки их в растворе кислоты. В результате построены зависимости относительного изменения массы покрытий от времени выдержки в кислой среде, которые представлены на рисунке 1.

Из зависимостей на рисунке 1а следует, что за проведенное время испытаний во всех неотожженных образцах покрытий наблюдается изменение массы. Особенно интенсивно во времени изменяется масса образца № 89 на медной подложке. Масса второго образца покрытия на медной подложке № 96 во времени изменяется значительно меньше. Вероятно, это связано с разным качеством осажденных покрытий, например с различной адгезией их к подложке. Изменение массы у образцов покрытий на подложках из нержавеющей стали (№ 90 и

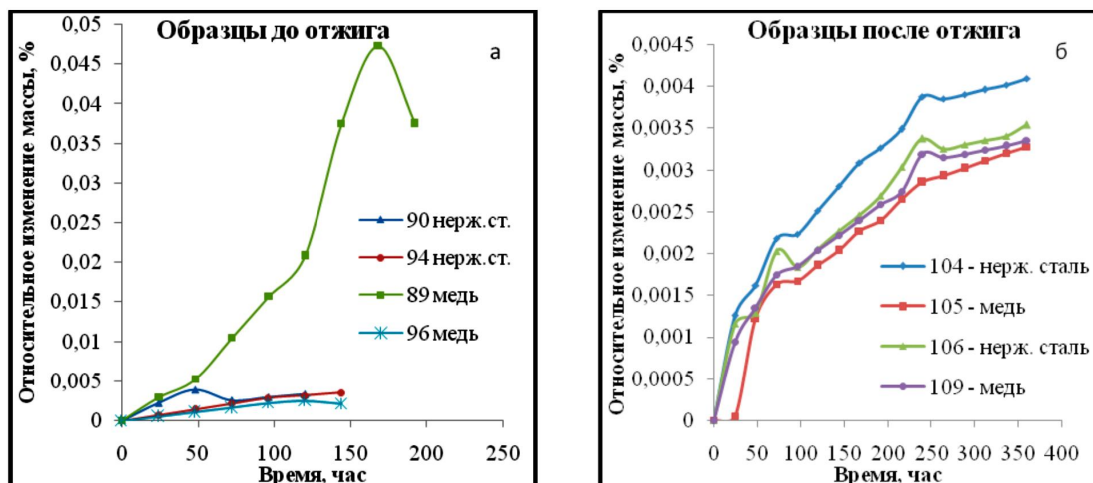


Рисунок 1 – Зависимость относительного изменения массы покрытий на основе сплавов Re-Ni, полученных на разных подложках, до (а) и после отжига (б) от времени выдержки в кислой среде

№ 94) несколько различается в течение первых 72 ч, а затем протекает практически одинаково.

Анализ зависимостей на рисунке 1б показал, что изменение во времени массы отожженных образцов покрытий на медных подложках протекает значительно медленнее, чем у образцов покрытий на стальных подложках. В целом операция отжига позволила уменьшить массу прокорродировавшего металлического покрытия на один порядок. Термическая обработка Re-Ni покрытий повышает их устойчивость в коррозионной среде, за счет чего свойства покрытий сохраняются в течение более длительного времени.

После отжига наблюдалась убыль массы покрытий в пределах 0,73-1,98 %. Причем наименьшая убыль массы отмечена у самых качественных покрытий.

Анализ осадков покрытий до отжига, выполненный с помощью электронно-зондового микроанализатора, показал среднее содержание в сплаве рения (на медных подложках – 55,94 %, на стальных – 38,34 %) и никеля (на медных подложках – 38,32 %, на стальных – 60,37 %). После отжига среднее содержание в сплаве рения (на медных подложках – 56,78 %, на стальных – 38,96 %) и никеля (на медных подложках – 38,94 %, на стальных – 61,01 %).

По результатам испытаний рассчитаны средние глубинные показатели коррозии для исследуемых образцов и проведено их сравнение с данными десятибалльной шкалы (таблица 1) коррозии металлов. Рассчитанные средние глубинные показатели коррозии для исследуемых образцов представлены в таблице 2. Из приве-

денных значений показателей коррозии видно, что неотожженные образцы покрытий в соответствии с таблицей 1 независимо от материала подложки имеют 2-3 балла стойкости и по группе относятся к весьма стойким к коррозии материалам. В целом значения среднего глубинного показателя коррозии у неотожженных образцов покрытий на нержавеющей стали несколько ниже, чем у образцов покрытий на медных подложках.

Таблица 2 – Средние глубинные показатели коррозии исследуемых образцов до и после термической обработки

№ пробы	Средний глубинный показатель коррозии образцов до отжига, мм/год	№ пробы	Средний глубинный показатель коррозии образцов после отжига, мм/год
90 нерж. сталь	0,00150	104 нерж.сталь	0,00201
94 нерж.сталь	0,00534	106 нерж.сталь	0,00176
89 медь	0,00226	105 медь	0,00153
96 медь	0,00615	109 медь	0,00158

Образцы покрытий после термической обработки также относятся к группе весьма стойких к коррозии материалов, но являются более устойчивыми в кислой среде по сравнению с неотожженными образцами, так как имеют 2 балла стойкости. Несколько более высокую коррозионную устойчивость в кислой среде показывают покрытия на медных подложках.

Следует отметить, что даже неотожженные рений-никелевые покрытия в нормальной атмосфере очень стойкие. Было отмечено, что в течение года и более рений-никелевые покрытия не изменяли своих свойств. Однако в кислых электролитах некоторые покрытия, особенно на подложках из нержавеющей стали, уже после 144 ч начинают темнеть и местами отслаиваться от подложки.

На рисунке 2 представлены фотографии (полученные с помощью цифрового фотоаппарата с разрешением 640×640) поверхности неотожженных образцов рений-никелевых покрытий на подложках из меди и нержавеющей стали после выдержки в кислой среде. На образцах покрытий, осажденных на медных подложках (рис. 2а), повреждений поверхности не замечено, а на поверхности покрытия на стальной подложке (рис. 2б) наблюдаются очаги коррозии.

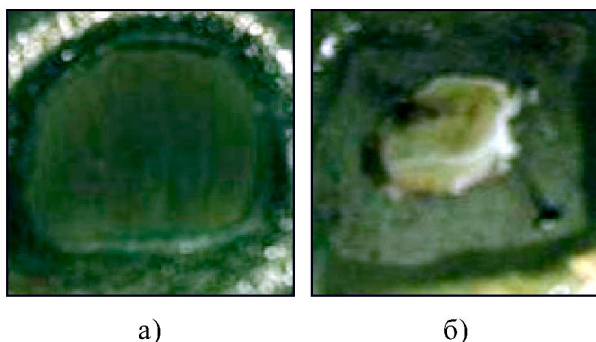


Рисунок 2 – Фотографии поверхности неотожженных образцов рений-никелевых покрытий на подложках из меди (а) и нержавеющей стали (б) в процессе испытания на коррозию через 144 ч выдержки

Как было показано выше, рассчитанные значения средних глубинных показателей коррозии (таблица 2) у отожженных образцов покрытий в целом заметно ниже, что свидетельствует о повышении коррозионной стойкости исследуемых покрытий в результате операции отжига.

На рисунке 3 представлены фотографии (полученные с помощью цифрового фотоаппарата с разрешением 640×640) поверхности отожженных образцов рений-никелевых покрытий на подложках из меди и нержавеющей стали после выдержки в кислой среде. На образцах покрытий, осажденных на медных подложках (рис. 3а), повреждений поверхности и очагов коррозии не отмечено. На поверхности покрытий, осажденных на подложках из нержавеющей стали (рис. 3б), после выдержки в кислой среде на-

блюдаются мелкие трещинки. Вероятно, такое поведение покрытий можно объяснить недостаточной хорошей адгезией их к подложке и наличием внутренних напряжений.

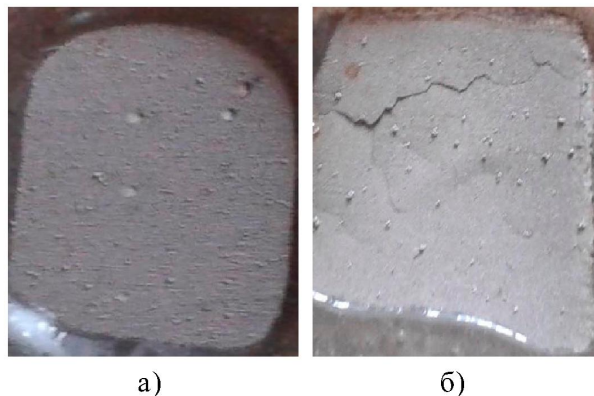


Рисунок 3 – Фотографии поверхности образцов рений-никелевых покрытий на подложках из меди (а) и нержавеющей стали (б) после отжига в процессе испытания на коррозию через 144 ч выдержки

В целом по результатам проведенных испытаний установлено, что коррозионная стойкость покрытий после отжига независимо от природы подложек заметно улучшается, что можно объяснить удалением неметаллических включений и упорядочиванием структуры Re-Ni сплавов.

По результатам рентгенофазового анализа [18] установлено, что сплавы до отжига представляют собой твердые растворы никеля в рении и рения в никеле [19], размер зерен 1,7-2,0 нм. После отжига покрытий сплавы Re-Ni также представляют собой твердые растворы никеля в рении и рения в никеле, но кристаллизация сплавов Re-Ni происходит с выделением мелкодисперсных фаз с размером зерен 20 нм.

Выводы. На основании проведенных исследований выявлено, что термическая обработка электролитических покрытий на основе рений-никелевых сплавов в целом оказывает более существенное влияние на их коррозионную стойкость, чем природа материала подложки покрытий (медная или стальная).

Исследуемые покрытия без отжига независимо от материала подложки в обычной атмосфере относятся к совершенно стойким (1 балл), а в 0,5 М растворе серной кислоты – к весьма стойким к коррозии (2-3 балла). Рассчитанные средние глубинные показатели коррозии для образцов покрытий до отжига составляют: на медных подложках 0,00226; 0,00615 мм/год, на подложках из нержавеющей стали 0,00150; 0,00534 мм/год.

После отжига средние глубинные показатели коррозии для образцов покрытий составляют: на медных подложках 0,00153; 0,00158 мм/год, на подложках из нержавеющей стали 0,00201; 0,00176 мм/год. Отожженные покрытия имеют по таблице стойкости 2 балла и по группе относятся к весьма стойким к коррозии. Коррозионная стойкость покрытий на медных подложках по сравнению с покрытиями на стальных подложках, после их термической обработки повысилась как в обычной атмосфере, так и в кислой среде.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Азаренков Н.А., Литовченко С.В., Неклюдов И.М., Стоев П.И. Коррозия и защита металлов. Ч. 1. Химическая коррозия металлов: учебное пособие. – Харьков: ХНУ, 2007. – 187 с.
- 2 Тылкина М.А., Савицкий Е.М. Сплавы рения в народном хозяйстве. Физико-химические свойства сплавов рения. – М.: Наука, 1979. – 215 с.
- 3 Lipmann A. Rhenium // *Mining Annu. Rev.* 2003. PXLIII/1-XLIII/ 11-1p.
- 4 Пишикин А.М., Поперека М.Я. Особенности катодного процесса при электроосаждении никель-ренийевых сплавов // *Журнал прикладной химии.* – 1974. – Т. 44, № 5. – С. 1015-1020.
- 5 Ваграмян А.Т., Жамагортянц М.А. Особенности электроосаждения рения и его сплавов – Электроосаждение металлов и ингибирующая адсорбция. – М.: Наука, 1969. – 199 с.
- 6 Соминская З.М., Никитина А.А., Тылкина М.А., Склярченко С.И., Савицкий Е.М. Гальванические покрытия сплавами рений-никель, рений-кобальт, рений-хром, рений-никель-хром. Сборник научных трудов. – М.: АН СССР, 1961. – С. 209-213.
- 7 Naora A., Eliaz N., Gileadib E. Electrodeposition of rhenium-nickel alloys from aqueous solutions // *Electrochimica Acta* – 2009. – 54. – P. 6028-6035.
- 8 Kopyto D., Kwarcinski M., Benke G., Leszczynska-Sejda K., Chmielarz A., Hanke M., Baranek W. // *Electrochemical method for rhenium-nickel alloys production: Abstracts of 3rd International Conference By-Product Metals in Non-Ferrous Metals Industry. Poland, Wroclaw, 15-17 June 2013.* P. 15.
- 9 Novak P., Mordarski G. // *Electrocrystallization of rhenium and its alloys from aqueous solutions: Abstracts of 3rd International Conference By-Product Metals in Non-Ferrous Metals Industry. Poland, Wroclaw, 15-17 June 2013.* P. 16.
- 10 Федотьев Н.П., Бибииков Н.Н., Вячеславов П.М., Грилихес С.Я. Электролитические сплавы. – М.: Машгиз. 1962. – 312 с.
- 11 Поветкин В.В., Ковенский И.М., Устиновиков Ю.И. Структура и свойства электролитических сплавов. – М.: Наука, 1992. – 255 с.
- 12 Гамбург Ю.Д. Гальванические покрытия: справочник по применению. – М.: Техносфера, 2006. – 206 с.
- 13 Agapova L.Ya., Abisheva Z.S., Ponomareva E.I., Kilibayeva S.K., Aytekeeva S.N. Deposition of Electrolytic Coatings Based on Rhenium-tungsten

Alloys from Aqueous Solutions // *Non-ferrous Metals.* 2011. – No. 1. – P. 12-16.

14 Ковенский И.М., Поветкин В.В. Испытания гальванических покрытий. Справ. изд. – М.: «Интермет Инжиниринг», 2001. – 136 с.

15 ГОСТ Р 9.905-2007 Единая система защиты от коррозии и старения. Методы коррозионных испытаний. Общие требования. М.: Стандартинформ, 2007.

16 ГОСТ 9.909-86 Единая система защиты от коррозии и старения. Металлы, сплавы, покрытия металлические и неметаллические неорганические. Методы испытаний на климатических испытательных станциях. – М.: Стандартинформ, 1986.

17 ГОСТ 13819-68 Коррозия металлов. Десятибалльная шкала коррозионной стойкости. – М.: Стандартинформ, 1968.

18 Картотека ASTM, карточки 4-0850; 5-702.

19 Корнилов И.И., Матвеева Н.М., Прякина Л.И., Полякова Р.С. Металлохимические свойства элементов Периодической системы. – М.: Наука, 1966. – 201. 223 с.

REFERENCES

- 1 Azarenkov N.A., Litovchenko S.V., Neklyudov I.M., Stoev P.I. *Korroziya i zashchita metallov. Chast' 1. Khimicheskaya korroziya metallov. Uchebnoe posobie* (Corrosion and protection of metals. Part 1. Chemical corrosion of metals. Tutorial). Kharkov: KhNU, 2007, 187 (in Russ.).
- 2 Tylkina M.A., Savitskiy E.M. *Splavy reniya v narodnom khozyaistve. Fiziko-khimicheskie svoystva splavov reniya.* (Rhenium alloys in national economy. Physical and chemical properties of rhenium alloys.). Moscow: Nauka, 1979. 215 (in Russ.).
- 3 Lipmann A. *Rhenium. Mining Annu. Rev.* 2003. PXLIII/1-XLIII/ 11-1 (in Eng.).
- 4 Pishikin A.M., Popereka M.Ya. *Osobennosti katonodnogo protsessa pri ehlektroosazhdenii nikel'-renievyykh splavov* (The features of cathodic process at nickel-rhenium alloys electrodeposition). *Zhurnal prikladnoy khimii* = Journal of applied chemistry. 1974. 44, 5. 1015-1020 (in Russ.).
- 5 Vagramyan A.T., Zhamagortsyants M.A. *Osobennosti ehlektroosazhdeniya reniya i ego splavov. Ehlektroosazhdenie metallov i ingibiruyushchaya adsorbtsiya* (The features of electrodeposition of rhenium and its alloys. Electrodeposition of metals and inhibiting adsorption). Moscow: Nauka, 1969, 199 (in Russ.).
- 6 Sominskaya Z.M., Nikitina A.A., Tylkina M.A., Sklyarenko S.I., Savitskiy E.M. *Gal'vanicheskie pokrytiya splavami renij-nikel', renij-kobal't, renij-khrom, renij-nikel'-khrom. Sbornik nauchnykh trudov* (Galvanic coatings by the alloys of rhenium-nickel, rhenium-cobalt, rhenium-chromium, rhenium-nickel-chromium. Collected papers) – Moscow: USSR AS, 1961. 209-213 (in Russ.).
- 7 Naora A., Eliaz N., Gileadib E. *Electrodeposition of rhenium-nickel alloys from aqueous solutions. Electrochimica Acta.* 2009, 54. 6028-6035 (in Eng.).
- 8 Kopyto D., Kwarcinski M., Benke G., Leszczynska-Sejda K., Chmielarz A., Hanke M., Baranek W. *Electrochemical method for rhenium-nickel alloys*

production. Abstracts of 3rd International Conference By-Product Metals in Non-Ferrous Metals Industry. Poland, Wroclaw, 15-17 June **2013**. 15 (in Eng.).

9 Novak P., Mordarski G. *Electrocrystallization of rhenium and its alloys from aqueous solutions*. Abstracts of 3rd International Conference By-Product Metals in Non-Ferrous Metals Industry. Poland, Wroclaw, 15-17 June **2013**. 16 (in Eng.).

10 Fedot'ev N.P., Bibikov N.N., Vyacheslavov P.M., Grilikhes S.Ya. *Ehlektroliticheskie splavy* (Electrolytic alloys). Moscow: Mashgiz. **1962**. 312 (in Russ.).

11 Povetkin V.V., Kovenskii I.M., Ustinovshchikov Yu.I. *Struktura i svoistva ehlektroliticheskikh splavov* (Structure and properties of electrolytic alloys). Moscow: Nauka, **1992**. 255 (in Russ.).

12 Gamburg Yu.D. *Gal'vanicheskie pokrytiya: spravochnik po primeneniyu* (Galvanic coatings: a handbook on the application). Moscow: Techno-sphere, **2006**. 206 (in Russ.).

13 Agapova L.Ya., Abisheva Z.S., Ponomareva E.I., Kilibayeva S.K., Aytekeeva S.N. *Deposition of electrolytic coatings based on rhenium-tungsten alloys from aqueous solutions. Non-ferrous metals*. **2011**. 1. 12-16 (in Eng.).

14 Kovenskii I.M., Povetkin V.V. *Ispytaniya gal'vanicheskikh pokrytij. Spravochnoe izdanie*. (The Testing of galvanic coatings. Reference book). Moscow: Inter-met Engineering, **2001**. 136 (in Russ.).

15 GOST R 9.905-2007 Unified system of corrosion and ageing protection. Corrosion test methods. General requirements. Moscow: Standartinform, 2007. (in Russ.).

16 GOST 9.909-86 Unified system of corrosion and ageing protection. Metals, alloys, metal and non-metal inorganic coating. Test methods at climatic test stations. Moscow: Standartinform, 1986 (in Russ.).

17 GOST 13819-68 Corrosion of metals. Ten-point scale of corrosion resistance. Moscow: Standartinform, 1968 (in Russ.).

18 ASTM file cabinet, the cards 4-0850; 5-702. (in Eng.)

19 Kornilov I.I., Matveeva N.M., Priyakhina L.I., Poliyakova R.S. *Metallokhimicheskiye svoistva elementov periodicheskoi sistemy*. (The metalchemical properties of elements periodic system. Monograph-reference book), Moscow: Nauka, **1966**. 201-223 (in Russ.).

ТҮЙІНДЕМЕ

Мақалада рений-никельді қаптамаларының коррозияға төзімділігіне төсеніш материалының (татталмайтын болат және мыс) табиғаты мен термиялық өңдеудің әсерін зерттеу нәтижелері көрсетілген. Мембранды электролиз жағдайында глицерин қосылған аммонийлі-күкірт қышқылды ертіндіден, рений-никельді қорытпа негізіндегі электролиттік қаптамалар отырғызылды. Алынған қаптамалар 1 сағат бойында 400 °C температурада инертті газ аргон ағымында термиялық өңдеуге жіберілді. Зерттемелі рений-никельді қаптамалардың коррозияға төзімділігін сынау, стандартты өлшенбелі әдіспен, яғни 0,5 М күкірт қышқылы ерітіндісінде ұстаумен жүргізілді және 10 балдық шкаламен бағаланды. Күйдірілген алынған қаптамалар (төсеніш материалынан тәуелсіз) жай атмосферада әбден төзімді (1 балл), ал 0,5 М күкірт қышқылы ерітіндісінде – коррозияға өте төзімді (2-3 балл) екені анықталды. Күйдірілмеген қаптама сынамалары үшін есептелген орта тереңдік көрсеткіштер келесідей: мыс төсеніштері үшін – 0,00226; 0,00615 мм/жыл, татталмайтын болат төсеніштері үшін – 0,00201; 0,00176 мм/жыл. Күйдіруден кейін алынған қаптама үлгілерінің орта тереңдік көрсеткіштері: мыс төсеніштері үшін – 0,00153; 0,00158 мм/жыл, татталмайтын болат төсеніштерінде – 0,00201; 0,00176 мм/жыл. Күйдіргеннен кейінгі қаптамалар төзімділік кестесі бойынша 2 балға ие және коррозияға өте төзімді тобына жатқызылады. Термиялық өңдеуден кейін мыс төсеніштерінде отырғызылған қаптамалардың, болат төсеніштерінде алынған қаптамалармен салыстырғанда коррозияға төзімділігі жай атмосферада да, және қышқыл ортада да жоғарылайды.

Түйінді сөздер: электролиттік Re-Ni қаптамалар, мембранды электролиз, төсеніш материалдар, коррозияға төзімділік, күйдіру.

SUMMARY

The results of research of the substrate's material nature (stainless steel and copper) and heat treatment impact on corrosion resistance of rhenium-nickel coatings are presented in the article. The electrolytic coatings based on rhenium-nickel alloys were precipitated by method of membrane electrolysis from ammonium sulfurous solutions with addition of glycerol. The obtained coatings were subjected to thermal treatment in a stream of inert gas argon at a temperature of 400 °C during one hour. The corrosion-resistance of rhenium-nickel coatings was tested by standard weight method with an exposure in a 0.5 M solution of sulfuric acid and was assessed according to the 10-point scale. It is established that a coatings without annealing (regardless of the substrate material) in a normal atmosphere are totally resistant (1 point), and in a 0.5 M solution of sulfuric acid is highly resistant to corrosion (2-3 points). The calculated average depth of corrosion for samples of coatings before annealing are: on copper substrates – 0.00226; 0.00615 mm/year, on stainless steel substrates – 0.00150; 0.00534 mm/year. The average depth of corrosion for samples of coatings after annealing are: on copper substrates – 0.00153; 0.00158 mm/year, on stainless steel substrates-0.00201; 0.00176 mm/year. The coatings after annealing have 2 points in accordance with the table of corrosion resistance and in accordance with the group they are very resistant to corrosion. The corrosion resistance of coatings on copper substrates compared with coatings on steel substrates after thermal treatment increased both in normal atmosphere, and in an acidic environment.

Key words: electrolytic Re-Ni coatings, membrane electrolysis, material of substrate, corrosion resistance, annealing.

Поступила 10.04.2015