

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ МИКРОПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ЭМАЛЕВЫХ ПОКРЫТИЙ

Ю. С. БОРИСОВ, С. Г. ВОЙНАРОВИЧ, А. Н. КИСЛИЦА, Е. К. КУЗЬМИЧ-ЯНЧУК,
О. П. МАСЮЧОК, С. Н. КАЛЮЖНЫЙ

ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины. 03680, г. Киев-150, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: borisov@paton.kiev.ua

Разработаны основы технологии микроплазменного напыления для восстановления локальных повреждений эмалевых покрытий резервуарного оборудования. Предложено двухслойное ремонтное покрытие, состоящее из слоя оксида циркония и подслоя из тантала. Определены оптимальные параметры режима микроплазменного напыления для получения слоя оксида циркония с плотной микроструктурой (пористость 1,2...1,9 %). Показано, что использование подслоя на основе тантала повышает прочность сцепления покрытия из оксида циркония на 25 % (до $8,14 \pm 2,16$ МПа). Проведена оценка сквозной пористости покрытий. Предложен способ повышения сплошности покрытий с использованием эпоксидно-смолистой пропитки. Проведена апробация технологии в условиях реального производства на предприятии ЗАО «Харьковреахим». Библиогр. 15, табл. 1, рис. 6.

Ключевые слова: микроплазменное напыление, эмалевые покрытия, восстановление, прочность сцепления, оксид циркония, тантал, проницаемость покрытий

Локальные повреждения эмалевых покрытий возникают под влиянием комплекса эксплуатационных условий и, зачастую, при наличии изначального производственного дефекта. В химической промышленности возникновение дефектов эмалевых покрытий связано с воздействием агрессивных химических сред (кислоты, щелочи, соли), высоких температур (а также резких перепадов температур) и с механическим повреждением движущимися частями оборудования. Таким образом, основными дефектами эмалированных химических приборов и резервуаров являются сколы, трещины и дефекты коррозионной природы [1].

Традиционные способы восстановления таких локальных повреждений, описанные в работе [2], включают дополнительное эмалирование, постановку специальных пломб из золота или тантала, использование полимерных замазок, а также повторное эмалирование. Однако перечисленные методы имеют ряд недостатков, таких как необходимость повторного отжига всего изделия или его части, дороговизна материалов, ускоренное старение полимеров в агрессивных средах и необходимость полного удаления имеющегося эмалевого покрытия для нанесения нового слоя.

В последнее время для ремонта поврежденных участков эмалевых покрытий все чаще находят применение методы газотермического напыления (ГТН), которые могут обеспечить локальный ремонт с высокой производительностью процесса при восстановлении поверхностей сложной формы [3–13]. Отмечается, что сочетание электроду-

говых, газопламенных и плазменных покрытий с поверхностными слоями эмали позволяет более чем в 5 раз продлить срок службы эмалированного оборудования.

Однако использование традиционных методов плазменного и газопламенного напыления накладывает ряд ограничений, не позволяющих осуществлять качественный и эффективный ремонт эмалированного оборудования в производственных условиях. Так, например, ремонт внутренних поверхностей резервуаров с применением традиционных установок плазменного напыления невозможен ввиду их больших габаритов.

В связи с этим было предложено использовать для ремонта эмалевых покрытий оборудования химических предприятий созданную в ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины технологию микроплазменного напыления (МПН), которая при решении поставленных задач имеет ряд существенных преимуществ по сравнению с традиционным плазменным напылением [14]:

– низкая мощность плазматрона (до 2 кВт) исключает вероятность перегрева изделия и разрушения эмалевого покрытия вокруг ремонтируемого участка;

– малый размер пятна напыления (1...5 мм) дает возможность проводить прецизионный ремонт небольших дефектов с минимальными потерями напыляемого материала;

– режим истечения плазменной струи микроплазматрона обеспечивает низкий уровень шума (менее 50 дБ), что позволяет проводить напыле-

ние без использования специализированных камер и с минимумом защитных средств оператора; – небольшие габаритные размеры оборудования микроплазменного напыления позволяют осуществлять локальный ремонт эмалевых покрытий на изделиях без их демонтажа, а также внутри крупногабаритных емкостей.

Удобство оборудования и геометрическая точность нанесения покрытий обеспечивают проведение оперативного ремонта эмалевых поверхностей на ранних стадиях образования дефектов, что, очевидно, является предпочтительным подходом.

Определение требований к ремонтным микроплазменным покрытиям и выбор материалов. На основе анализа существующего опыта восстановления локальных дефектов методами ГТН были определены основные требования к ремонтным микроплазменным покрытиям:

материал покрытия должен обеспечивать стойкость к воздействию внешней среды на уровне, не уступающем стойкости рабочего эмалевого покрытия;

покрытие должно иметь плотность слоя, не допускающую контакт внешней среды с поверхностью металла основы (изделия, конструкции);

прочность покрытия должна быть достаточной для сцепления с основой и сохранения на ее поверхности в условиях эксплуатации изделия или конструкции.

На основании рассмотренных требований с учетом имеющегося опыта МПН различных материалов были выбраны следующие материалы, пригодные для получения ремонтных покрытий – оксидные (ZrO_2 , Al_2O_3 , TiO_2), металлические (Zr, Ta, Ti).

Анализ работ, посвященных нанесению ремонтных газотермических покрытий, позволяет предположить, что наиболее эффективным подходом к восстановлению локальных повреждений эмалевых покрытий будет использование двухслойных покрытий металл-керамика.

Исходя из сказанного выше, были сформулированы цели работы:

- определение параметров порошкового микроплазменного напыления покрытий из ZrO_2 с минимальной пористостью для восстановления локальных повреждений эмалевых покрытий;
- определение влияния подслоя из тантала на прочность сцепления керамического покрытия с основой;
- оценка сквозной пористости (оценка сплошности) покрытий.

Методики эксперимента и исследований.
Материалы. В качестве напыляемого материала использовался порошок оксида циркония

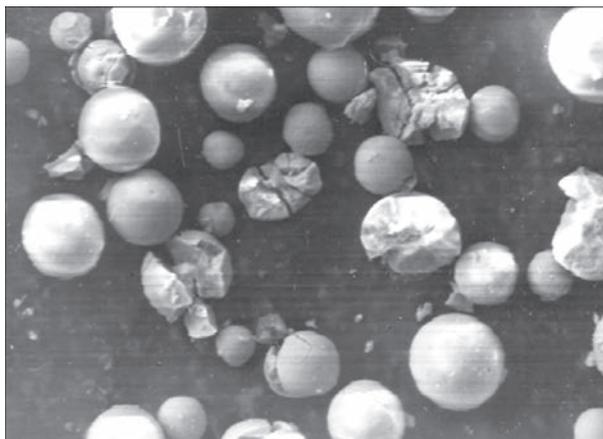


Рис. 1. Внешний вид порошка оксида циркония ($ZrO_2 + 7\% Y_2O_3$, размер ≈ 40 мкм)

($ZrO_2 + 7\% Y_2O_3$) грануляции 40 мкм. Внешний вид порошка оксида циркония приведен на рис. 1. Покрытия наносили на образцы из стали 40 размером $10 \times 20 \times 3$ мм, подвергнутые газоабразивной обработке (корундом).

Оборудование. Для получения покрытий использовали установку микроплазменного напыления МПН-004 с плазмотроном МП-04 в режиме порошкового напыления [14].

Методика планирования эксперимента. При планировании был выбран метод многофакторного эксперимента с полурепликой 2^{4-1} . В качестве независимых переменных (факторов) были выбраны ток (I , А), расход плазмообразующего газа ($V_{пр}$, л/ч), дистанция напыления (h , мм) и расход порошка ($G_{п}$, г/мин). Функцией отклика избрано значение пористости покрытий в %.

Исходя из результатов предварительных экспериментов и накопленного практического опыта плазменного напыления оксида циркония на установке МПН-004 выбраны значения параметров режима (таблица).

Методики исследований. Подготовку образцов для металлографических исследований проводили согласно стандартным методикам, применяемым в металлографии. Шлифы изготавливали сначала на водостойкой шлифовальной бумаге SiC с зер-

Параметры режима микроплазменного напыления порошка оксида циркония

Номер режима	I , А	$V_{пр}$, л/мин	h , мм	$G_{п}$, г/мин
1	45	2,0	160	2,0
2	45	2,0	80	1,0
3	45	1,0	160	1,0
4	45	1,0	80	2,0
5	35	2,0	160	1,0
6	35	2,0	80	2,0
7	35	1,0	160	2,0
8	35	1,0	80	1,0
9	40	1,5	120	0

нистостью P800, P1200, после чего — на эластичных дисках, содержащих алмазные включения различной дисперсности (A28/14, A14/10 и A5/3). Окончательную полировку шлифов осуществляли на сукне с добавлением алмазной суспензии с лубрикантом DiaDuo с размером алмазных частиц 3 мкм. Микроструктуру покрытий исследовали на микроскопе Neofot-32, оснащенный приставкой для цифрового фотографирования. Система регистрации изображений осуществлялась компьютерной программой «QuickPhoto».

Определение пористости. Наибольшее распространение для качественного и количественного анализа геометрии пор нашли оптические методики определения пористости (метод анализа изображения), заключающиеся в определении площади, приходящейся на обнаруженные поры, относительно всей площади шлифа покрытия.

Анализ шлифов проводился с использованием приборов Neophot-32, Jenavert. Цифровое изображение обрабатывалось программой «Atlas», которая позволяет измерять пористость (выделяя включения, отличающиеся по цвету или яркости) по стандарту ASTM B-276, определять размеры максимальной и минимальной поры, количество и процентное отношение пор по площади.

Измерение прочности сцепления покрытий с основой при отрыве проводили по клеевой методике согласно ГОСТ-14760–69 и ASTM C 633-79 на универсальной сервогидравлической машине «MTS-318.25» (производства США) с максимальным усилием 250 кН в нормальных условиях ($t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$). Скорость перемещения захвата 0,17 мм/с. Покрытие наносили на торцевую поверхность цилиндрических образцов диаметром 25 мм и высотой 24 мм, образец с покрытием склеивали с контрольным и сжимали с усилием 0,5 кг/см². Для склеивания образцов использовали эпоксиполиуретановый клей ЭПУ-ТЕХКО — 65 % эпоксидной смолы и 35 % отвердителя.

Оценку сквозной пористости (оценка сплошности) ремонтных покрытий проводили путем оценки их проницаемости для модельной среды (водопроводная вода). Для изготовления образцов вырезали сегменты эмалированных труб из низкоуглеродистой стали с внутренним диаметром два дюйма. На лицевой стороне методом газоабразивной обработки формировали сквозной дефект эмалевого покрытия диаметром 10 мм. Затем дефект устраняли микроплазменным напылением покрытия из оксида циркония толщиной 150 мкм. Торцы и тыльные стороны

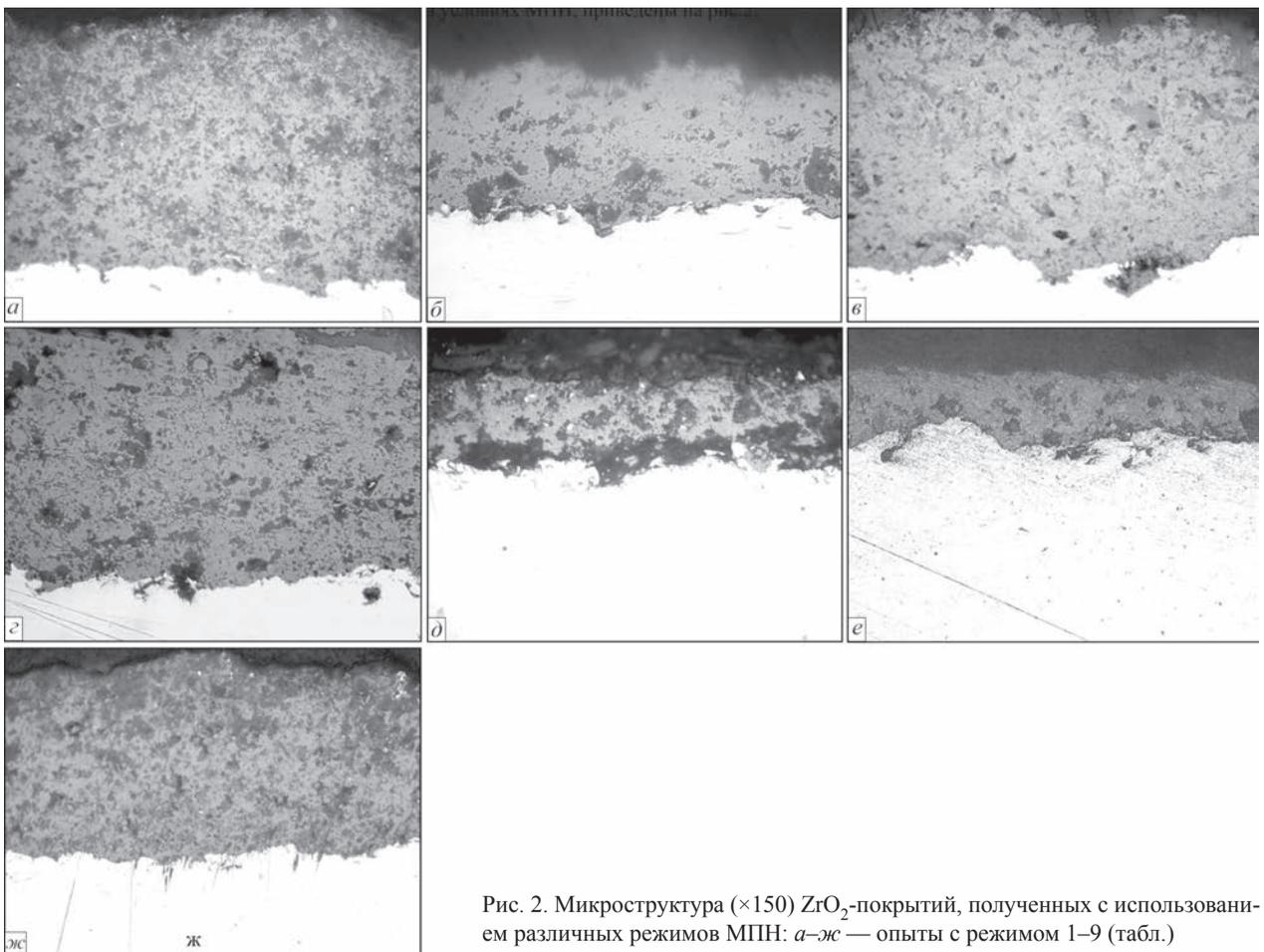


Рис. 2. Микроструктура ($\times 150$) ZrO_2 -покрытий, полученных с использованием различных режимов МПН: а–ж — опыты с режимом 1–9 (табл.)

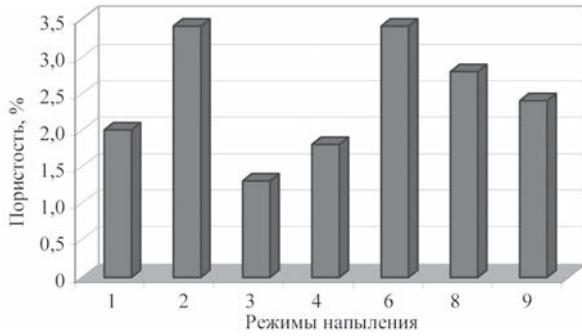


Рис. 3. Пористость микроплазменных покрытий из ZrO₂

образца изолировали многослойным нанесением лака. В ходе испытаний велось визуальное наблюдение появления точечных выходов коррозионного материала через каналы сквозных пор.

Результаты и обсуждение. Микроструктуры ZrO₂-покрытий, полученных в условиях МПН, приведены на рис. 2. Результаты измерения пористости ZrO₂-покрытий — на рис. 3.

Покрытия с наиболее плотной микроструктурой и плотным прилеганием к основе формируются при значениях $I = 40...45$ А (опыты 1, 3, 4). Снижение тока до значения 35 А приводит к уменьшению толщины покрытия и росту пористости.

Пористость в эксперименте возрастает в таком направлении: опыт 3 → 4 → 1 → 9 → 8 → 2 → 6.

Таким образом, в результате проведенного анализа структур покрытий было установлено, что для получения покрытий из ZrO₂ с минимальной пористостью следует использовать режим № 3 (табл.): $I = 45$ А, $V_{III} = 1$ л/мин, $h = 160$ мм, $G_{II} = 1$ г/мин.

Прочность сцепления покрытий с основой. Исследование прочности сцепления данных покрытий с основой показало, что в случае нанесения покрытия из оксида циркония непосредственно на подвергнутые газоабразивной обработке образцы из стали 40, средняя прочность сцепления при испытаниях на отрыв при толщине покрытия 150...200 мкм составляет $6,11 \pm 1,32$ МПа. При нанесении ZrO₂-покрытия на подложку из тантала (рис. 4), прочность сцепления при толщине покрытия 150...200 мкм возрастает до $8,14 \pm 2,16$ МПа, т. е., прирост прочности сцепления составляет 25 %.

Условия снижения волнистости покрытий. В процессе нанесения покрытия на площадь, которая заведомо больше пятна напыления, производится линейное перемещение плазмотрона в сочетании с вращением детали или поперечным смещением детали или плазмотрона [15]. При неподвижном положении плазмотрона и детали напыляемый материал формирует на поверхности покрытие в виде валика, поперечное сечение которого описывается гауссовской кривой:

$$y = y_0 e^{-\frac{r^2}{r_0^2}}, \quad (1)$$

где y_0 — толщина покрытия на оси валика; r_0 — радиус рассеивания; r — расстояние от оси валика.

Из уравнения (1) наилучшая равномерность толщины покрытия при микроплазменном напылении достигается при условии поперечного смещения s плазмотрона при таких условиях:

$$s = 1,2r_0. \quad (2)$$

Напыление образца для измерения пятна напыления проведено с использованием оптимального режима нанесения ремонтного покрытия из ZrO₂ (режим № 3). Радиус рассеивания для данного образца составил 2,75 мм по большой оси и 2,15 мм по малой оси.

На основе анализа расчетных данных и условия равномерности покрытия ($s/r_0 = 1,2$) было установлено, что при напылении ZrO₂-покрытия поперечное смещение плазмотрона при перемещении вдоль большей диагонали не должно превышать 4 мм, а при смещении вдоль меньшей диагонали — 3 мм. При таких размерах шага поперечного смещения плазмотрона достигается волнистость менее 1 %.

Оценка проницаемости покрытий для внешних сред. Уплотнительная пропитка покрытий. Проведенные металлографические исследования образца показали, что покрытие плотно прилегает к основе, в том числе и к эмалевому покрытию (рис. 4).

В исследуемых образцах с ZrO₂-покрытием было отмечено появление отдельных точечных выходов ржавчины. В связи с этим с целью герметизации

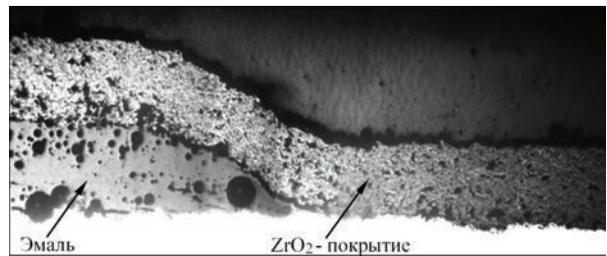


Рис. 4. Микроструктура ($\times 150$) ZrO₂-покрытия, полученного методом МПН на образце, имитирующем дефект эмалевого покрытия



Рис. 5. Образец с дефектом эмалевого покрытия после восстановления способом МПН и испытаний на сплошность



Рис. 6. Процесс восстановления локальных повреждений эмалевого покрытия реактора V-630 способом микроплазменного напыления в условиях производства

микродефектов покрытия проведена его пропитка специальным составом. В качестве состава для пропитки был использован «Дихтол» (Германия) — однокомпонентный жидкотекучий материал на эпоксидно-смолистой основе, характеризующийся способностью проникать в полости микродефектов литья и покрытий. После напыления покрытия ZrO_2 на образцы для испытаний проводилась трехкратная пропитка покрытия «Дихтолом» с промежуточной сушкой. В полученных после пропитки образцах при аналогичных условиях испытаний появления точечной коррозии не наблюдалось (рис. 5).

На основе полученных результатов были определены параметры процесса и разработаны следующие технологические рекомендации по восстановлению локальных повреждений эмалевых покрытий методом микроплазменного напыления:

подготовка поверхности изделия включает газоабразивную обработку (корунд) и обезжиривание с использованием органических растворителей;

параметры режима напыления: $I = 45$ А, $V_{\text{пр}} = 1$ л/мин, $h = 160$ мм, $G_{\text{п}} = 1$ г/мин;

поперечное смещение плазматрона при перемещении вдоль большей диагонали не должно превышать 4 мм, а при смещении вдоль меньшей диагонали — 3 мм;

после напыления покрытия трехкратно пропитываются однокомпонентным жидкотекучим материалом на эпоксидно-смолистой основе «Дихтол» (Германия) с промежуточной сушкой в течение 1,5 ч.

Апробация разработанной технологии восстановления покрытий методом микроплазменного напыления была проведена в производственных условиях для ремонта локальных повреждений эмалевого покрытия на внутренней поверхности реактора V-630, который используется в процессе производства лекарственных препаратов на предприятии ЗАО «Харьковрезахим» (г. Харьков) (рис. 6).

В настоящее время восстановленный методом МПН реактор находится в стадии испытаний.

Дальнейшая реализация разработанной технологии будет проводиться в сотрудничестве с ООО «Эмаль-сервис» — ведущим предприятием в Украине по ремонту и реконструкции эмалированного оборудования.

Выводы

1. Установлены требования к плазменным покрытиям, предназначенным для ремонта поврежденного слоя эмали, и проведен выбор материалов для напыления таких покрытий. В качестве материала подслоя выбран тантал, в качестве материала основного слоя — оксид циркония.

2. Установлено, что ZrO_2 -покрытие с наиболее плотной микроструктурой (пористость 1,2...1,9 %) образуется при повышенных значениях тока $I = 40...45$ А. Наименьшая пористость, равная 1,2 %, наблюдается в покрытии, полученном с использованием режима $I = 45$ А, $V_{\text{пр}} = 1$ л/мин, $h = 160$ мм, $G_{\text{п}} = 1$ г/мин.

3. Показано, что использование подслоя на основе тантала позволяет повысить прочность сцепления покрытия из оксида циркония на 25 % (в абсолютных значениях с $6,11 \pm 1,32$ МПа до $8,14 \pm 2,16$ МПа).

4. Проведена оценка сквозной пористости покрытий путем испытаний на проницаемость для внешних сред (в качестве модельной среды использована вода). Предложен способ повышения сплошности покрытий эпоксидно-смолистой пропиткой. Полученные образцы показали непроницаемость в воде.

5. Проведенная апробация разработанной технологии в условиях производства показала возможность применения технологии микроплазменного напыления для восстановления локальных повреждений эмалевого покрытия, в том числе и на внутренних поверхностях резервуаров.

Список литературы

1. В. В. Варгина (ред.) (1972) *Эмалирование металлических изделий*. Ленинград, Машиностроение.
 2. Петцольд А. (1990) *Эмаль и эмалирование*: Справ. изд. пер. с нем. Г. Пешманн. Москва, Metallurgiya.
 3. Лобанов Л. М., Максимович Б. И., Неиса И. В. (1991) Материалы, оборудование и технология нанесения антикоррозионных покрытий на стальные металлоконструкции. *Сб. Упрочнение и защита поверхностей газотермическим и вакуумным напылением*. Киев, сс. 104–107.
 4. Люблинский Е. Я. (1991) Газотермические покрытия в судостроении. Упрочнение и защита поверхностей газотермическим и вакуумным напылением: *Материалы 3 Междунар. науч.-техн. конф.* Киев, сс. 154–159.
 5. Морозов В. Н., Наркевич Н. К., Третьякова И. А., Фиговский О. Л., Коровин Л. Н., Лобанов Н. Ф., Александровский Э. Г. (1993) *Способ ремонта поврежденных стеклоэмалевых покрытий*. А. с. СССР 1813796, кл. С 23 D 13/02.
 6. Кудинов В. В., Иванов В. М. (1981) *Нанесение плазмой тугоплавких покрытий*. Москва, Машиностроение.
 7. Берзыньш И. А., Зеленкевич О. А., Зозуля А. И. и др. (1980) Применение плазменного напыления при ремонте эмалированного оборудования на НПО «Биохимреактив». *Теория и практика газотермического нанесения покрытий*, 2, 118–120.
 8. Куприянов И. Л., Короткина М. Г., Верстак А. А. (1983) Изучение защитных свойств композиционных покрытий для деталей сельскохозяйственных машин. *Тезисы докладов науч.-техн. конф. Новые коррозионностойкие металлические сплавы, неметаллические и композиционные материалы и покрытия*, Киев, сс. 45–46.
 9. Byoungchul Hwang, Ahn Jeehoon, Lee Sunghak (2002) Correlation of microstructure and wear resistance of ferrous coatings fabricated by atmospheric plasma spraying. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 9, 33, 2933–2945.
 10. Колотыркин, В. И., Князева, В. М. (1991) Возможности высокоэнергетических методов обработки поверхности металлов для защиты от коррозии. *Защита металлов*, 27, 2, 179–196.
 11. Сафонова А. А., Крамаренко Д. М., Еселева Л. И. (1985) *Применение металлизационно-полимерных покрытий для защиты от коррозии металлоконструкций оборудования в отечественной и зарубежной практике*. Москва, Минцветмет СССР.
 12. Веренкова Э. М., Трофимов М. Г., Фролов А. С., Шахтактинский, Т. И. (1966) Жаростойкие электроизоляционные керамические материалы и покрытия. *Тр. 3-го семинара Температурустойчивые защитные покрытия*, Ленинград, сс. 215–222.
 13. Реутович С. С., Шилова О. А., Хамова Т. В. и др. (2001) Получение защитного жаростойкого материала методом электродугового плазменного напыления с использованием стеклокерамических порошковых материалов. В кн. *Температурустойчивые функциональные покрытия*, сс. 219–222.
 14. Borisov Yu., Borisova A., Pereverzev Yu. et al. (1997) Microplasma spraying. *Proceedings of the 5th European Conference on Advanced Material and Processes*. Netherlands.
 15. Борисов Ю. С., Борисова А. Л. (1986) *Плазменные порошковые покрытия*. Киев, Техника.
- Ю. С. Борисов, С. Г. Войнарович, О. М. Кислиця,
С. К. Кузьмич-Янчук, О. П. Масючок, С. М. Калюжный
- ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України.
03680, м. Київ-150, вул. Казимира Малевича, 11.
E-mail: borisov@paton.kiev.ua
- РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ МІКРОПЛАЗМОВОГО
НАПИЛЕННЯ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ
ЛОКАЛЬНИХ УШКОДЖЕНЬ ЕМАЛЕВИХ ПОКРИТТІВ

Розроблено основи технології мікроплазмового напилення для відновлення локальних ушкоджень емалевих покриттів резервуарного обладнання. Запропоновано двошарове ремонтне покриття, що складається з шару оксиду цирконію і підшару з танталу. Визначено оптимальні параметри режиму мікроплазмового напилення для отримання шару оксиду цирконію з щільною мікроструктурою (пористість 1,2...1,9 %). Показано, що використання підшару на основі танталу підвищує міцність зчеплення покриття з оксиду цирконію на 25 % (до $8,14 \pm 2,16$ МПа). Проведено оцінку наскрізної пористості покриттів. Запропоновано спосіб підвищення суцільності покриттів з використанням епоксидно-смолистої просочення. Проведено апробацію технології в умовах реального виробництва на підприємстві ЗАТ «Харьковреахим». Бібліогр. 15, табл. 1, рис. 6.

Ключові слова: мікроплазмове напилення, емалеві покриття, відновлення, міцність зчеплення, оксид цирконію, тантал, проникність покриттів

References

1. (1972) *Enameling of metallic products*. Ed. by V.V. Vargina. Leningrad, Mashinostroenie.
2. Petzold, A. (1990) *Enamel and enameling*. In: Refer. book. Moscow, Metallurgiya.
3. Lobanov, L.M., Maksimovich, B.I., Neies, I.V. (1991) Materials, equipment and technology of deposition of corrosive-resistant coatings on steel metallic structures. In: *Strengthening and protection of surfaces by thermal and vacuum deposition*: Transact. Kiev, 104-107.
4. Lyublinsky, E.Ya. (1991) Thermal coatings in shipbuilding. Strengthening and protection of surfaces by thermal and vacuum spraying. In: *Proc. of 3rd Int. Scient.-Techn. Conf.* Kiev, 154-159.
5. Morozov, V.N., Narkevich, N.K., Tretyakova, I.A. et al. (1993) *Method of repair of damaged glass-enamel coatings*. USSR author's cert. 1813796, Int. Cl. C 23 D 13/02.
6. Kudinov, V.V., Ivanov, V.M. (1981) *Plasma deposition of refractory coatings*. Moscow, Mashinostroenie.
7. Berzynsh, I.A., Zelenkevich, O.A., Zozulya, A.I. et al. (1980) Application of plasma spraying in repair of enameled equipment at SPA Biokhimreaktiv. *Teoriya i Praktika Gazotermicheskogo Naneseniya Pokrytij*, 2, 118–120.
8. Kupriyanov, I.L., Kороткина, M.G., Verstak, A.A. (1983) Study of protective properties of composite coatings for agricultural machine parts. In: *Abstr. of Papers of Scient.-Techn. Conf. on New Corrosion-Resistant Metallic Alloys, Nonmetallic and Composite Materials and Coatings*. Kiev, 45–46.
9. Byoungchul Hwang, Ahn Jeehoon, Lee Sunghak (2002) Correlation of microstructure and wear resistance of ferrous coatings fabricated by atmospheric plasma spraying. *Metall. and Mater. Transact. A*, 9(33), 2933-2945.
10. Kolotyркиn, V.I., Knyazheva, V.M. (1991) Possibilities of high-energy treatment methods of metals surface for corrosion protection. *Zashchita Metallov*, 27(2), 179–196.
11. Safonova, A.A., Kramarenko, D.M., Eseleva, L.I. (1985) *Application of metallized-polymer coatings for corrosion protection of metallic structures of equipment in domestic and foreign practice*. Moscow, Mintsvetmet SSSR.
12. Verenkova, E.M., Trofimov, M.G., Frolov, A.S. et al. (1966) Heat-resistant electrically insulating ceramic materials and coatings. In: *Proc. of 3rd Sem. on Temperature-Resistant Protective Coatings*, Leningrad, 215–222.
13. Reutovich, S.S., Shilova, O.A., Khamova, T.V. et al. (2001) Producing of protective heat-resistant material by method of electric arc plasma spraying using glass-ceramic powder materials. In: *Temperature-resistant functional coatings*, Book, 219–222.

14. Borisov, Yu., Borisova, A., Pereverzev, Yu. et al. (1997) Microplasma spraying. In: *Proc. of the 5th Europ. Conf. on Advanced Materials and Processes*, Netherlands.
15. Borisov, Yu.S., Borisova, A.L. (1986) Plasma powder coatings. Kiev, Tekhnika.

Yu. S. Borisov, S. G. Voynarovich,
A. N. Kislitsa, I. K. Kuzmych-Ianchuk,
O. P. Masyuchok and S. N. Kalyuzhnyi

E. O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine.
11 Kazimir Malevich str., 03680, Kiev-150.
E-mail: borisov@paton.kiev.ua

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY
OF MICROPLASMA SPRAYING
FOR RESTORATION OF LOCAL DAMAGES
OF ENAMEL COATING

Fundamentals of microplasma spraying technology for restoration of local damages in enamel coatings of tank equipment were developed. A double-layer repair coating consisting of a layer of zirconium oxide and tantalum sublayer was proposed. The optimum parameters of microplasma spraying mode were determined in order to obtain a layer of zirconium oxide with dense microstructure (porosity 1.2-1.9%). It is shown that application of tantalum-based sublayer increases adhesion strength of zirconium oxide coating by 25% (up to 8.14 ± 2.16 MPa). Evaluation of coating through porosity was carried out. A method was proposed for increase of coating integrity using epoxy-gum treatment. The technology was approved under real production conditions at CJSC «Kharkovreakhim». 15 Ref., 1 Table, 6 Figures.

Keywords: microplasma spraying, enamel coatings, restoration, adhesion strength, zirconium oxide, tantalum, coating permeability

Поступила в редакцию 23.03.2017

ГП «Антонов» планирует поставку 50 самолетов Ан-178 в Китай



ГП «Антонов», ГП «Ивченко-Прогресс» и АО «Мотор Сич» на авиасалоне в парижском Ле Бурже обсудили с китайским заказчиком поставку 50 самолетов Ан-178. Об этом сообщает пресс-служба Мотор Сич.

«Состоялась ключевая встреча между компаниями ГП «Антонов», ГП «Ивченко-Прогресс», АО «Мотор Сич» и китайским заказчиком по проекту самолета Ан-178. Речь идет о поставке 50 самолетов в Китай: 12 самолетов в готовом виде и 40 самолетоккомплектов. Согласованы вопрос сроки передачи, финансовые поступления и отгрузка реальной и материальной части для производства этого самолета в Китае», — сказано в сообщении.

Планируется, что на Ан-178 будет установлен турбореактивный двигатель Д-436-148ФМ производства Мотор Сич.

Напомним, в 2015 г. ГП «Антонов» завершило строительство опытного образца среднего транспортника Ан-178 и провело его летные испытания. В мае 2015 г. азербайджанская компания Silk Way Airlines заказала десять самолетов Ан-178. Еще 12 купила китайская A-star (договор предусматривает последующую организацию производства в КНР). Также подписан договор с Hong Kong Leyuan Communication Technology Investments Group Limited (HK LCTI) о поставке 25 самолетов Ан-178.