

УДК 621.9.047
DOI: 10.12727/18097

В.П. Смоленцев, д.т.н.,
(Воронежский государственный технический университет,
Воронеж, 394026, Московский пр., д. 14),
А.В. Норман, к.т.н.,
(ГБПОУ ВО «ВАТ имени В.П.Чкалова»,
Воронеж, 394004, Ленинградская ул., д. 33),
В.В. Золотарев, заместитель главного инженера,
(ВМЗ - филиал ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева»,
Воронеж, 394055, Ворошилова ул., д. 22)
E-mail: vsmolen@inbox.ru

Модификация поверхностного слоя алюминиевых сплавов электроэрозионным нанесением покрытий

Рассмотрен механизм нанесения на низкоплавкие сплавы (например, алюминиевые) чугуновых покрытий, имеющих высокую температуру плавления. Этим достигается придание легким деталям из алюминиевых сплавов повышенных эксплуатационных свойств, к которым относятся надежная защита деталей с покрытием от действия агрессивных, в том числе химически активных, сред. Кроме того улучшаются антифрикционные свойства деталей, работающих в узлах трения. Разработаны технологические режимы и спроектирован процесс нанесения покрытий. Приведен пример использования предложенного метода.

Ключевые слова: покрытия; алюминиевые сплавы; чугун; режимы обработки; технологический процесс.

V.P. Smolentsev, D.Eng.,
(Voronezh State Technical University,
14, Moscovsky Avenue, 394026, Voronezh),
A.V. Norman, Can.Eng.,
(SBPEI HE "VAT of Chkalov",
33, Leningradskaya Str., 394004, Voronezh),
V.V. Zolotaryov, Deputy Chief Engineer
(VMP –Branch FSP "GKNPC of Khrunichev",
22, Voroshilov Str., 394055, Voronezh)

Modification of surface layer in aluminum alloys by electroerosion coating

The mechanism of plating on low-melting alloys (for example, aluminum) cast-iron coatings having a high fusion temperature is considered. By means of this method one achieves in light aluminum alloy parts higher performance attributes to which belong reliable protection of parts with a coating against aggressive influence of chemically active substances. Besides, antifriction properties of parts operating in friction units are improved. The technological modes are developed and a coating process is designed. The example of the method offered is shown.

Keywords: coatings; aluminum alloys; cast iron; working modes; engineering process.

Алюминиевые сплавы обладают существенными технологическими достоинствами, к которым относятся высокая электро- и теплопроводность, невысокая удельная масса, хорошие механические показатели, что позволяет широко использовать такие материалы в авиакосмической отрасли, бытовой технике, а в последние годы – для изготовления автомобилей. Опыт эксплуатации изделий из алюминиевых сплавов выявил ряд ограничений, объясняющихся свойствами самого материала – это, прежде всего, недостаточная износостойкость в узлах трения, низкая твердость, слабые защитные свойства в агрессивных средах, особенно, в щелочах.

Традиционно такие недостатки устраняют путем модификации поверхностного слоя, в том числе покрытиями, наносимыми при малом нагреве, что ограничивает использование для покрытий металлов с повышенной температурой плавления, например, чугуна, имеющего хорошие антикоррозионные и антифрикционные свойства.

В работе приведен разработанный авторами способ и технология нанесения на поверхность алюминиевых сплавов чугунных покрытий с целью модификации поверхностного слоя для обеспечения требуемых эксплуатационных свойств изготовленных деталей.

Механизм нанесения чугуна электроэрозионным методом. Прошлые попытки получения чугунных покрытий путем электроэрозионного нанесения на сплавы с невысокой температурой плавления оказывались не удачными, так как расплавленные капли чугуна создавали разрушение поверхности под покрытием и вызывали брак деталей. Наибольшие трудности возникали при нанесении таких слоев на алюминиевые сплавы, где снаружи образуется тугоплавкая пленка с низкой теплопроводностью, что способствует увеличению длительности нахождения на ней капли расплавленного покрытия, вызывающего глубокое расплавление металла под пленкой и отсутствие возможности получения качественного покрытия. Попытки механически удалить пленку оказались не эффективными, так как она вновь быстро восстанавливалась.

Решение было найдено за счет использования химически активных веществ, наносимых на поверхность перед созданием покрытия. Способ защищен патентами [1, 2] и раскрыт в работе [3].

На рис. 1 показан механизм нанесения чугунного покрытия на алюминиевый сплав.

В установках для электроэрозионного легирования и получения покрытий используются, в основном, генераторы RC-схемы. Расчет режимов технологического процесса нанесения покрытий на таких генераторах производят на основе требований к качеству покрытия. Одним из таких требований является толщина покрытия, которая обеспечивает требуемые защитные и другие эксплуатационные свойства, а также сплошность сформированного слоя.

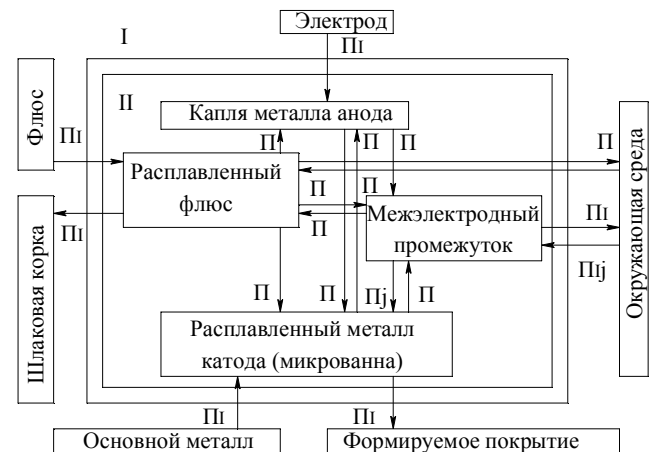


Рис. 1. Механизм образования покрытий на алюминиевых сплавах под слоем флюса:

1 – 4 – поступление компонентов из внешней среды в зону плавления; 5, 6 – связи структурных составляющих внутри зоны плавления; 7, 8 – векторы удаления компонентов из зоны плавления.

Выбор оптимальной толщины единичного слоя наносимого покрытия осуществляется в зависимости от назначения детали. Результаты исследований характеристик нанесенного покрытия от его толщины и условий формирования показывают, что слои с толщиной 50...150 мкм, сформированные при незначительной энергии импульса, являются наиболее качественными. Из проведенных авторами исследований [3] видно, что увеличение толщины слоя чугунного покрытия вызывает появление трещин, которые по мере утолщения слоя еще больше увеличиваются, образуют сетку, проявляющуюся на поверхности при увеличении энергии импульса. Наличие таких трещин делает покрытие хрупким, дефектным, нарушает его защитные и эксплуатационные свойства.

Толщина покрытия определяется объемом металла электрода, расплавленным под действием энергии единичного импульса $A_{и}$, перенесенным на поверхность заготовки и за счет адгезии прочно закрепившимся на ней в виде

капли. Долю энергии импульса, затрачиваемую на образование капли расплавленного металла, без учета потерь на теплопередачу, можно определить из уравнения теплового баланса.

Масса расплавленного металла электрода определяется через объем капли, осажденной на поверхности заготовки. Согласно теории электроэрозионной обработки [4], высота капли после соприкосновения с поверхностью заготовки определяет предельную толщину сформированной части покрытия и составляет около $1/3$ диаметра капли d , а получение качественного, сплошного слоя покрытия достигается при перекрытии соседних капель на $(1/3...1/4) d$. Объем капли V , мм³ и ее масса m_k , г определяют по формуле [3]

$$V = \frac{31}{24} \pi H^3; \quad (1)$$

$$m_k = \rho V = \frac{31}{24} \pi \rho H^3, \quad (2)$$

где ρ – плотность материала анода – чугуна, г/мм³; H – толщина одного слоя качественного защитного покрытия, мм.

Определив массу капли (2), рассчитывают количество тепла Q_1 , затрачиваемое на нагрев и плавление металла:

$$Q_1 = \frac{31\pi H^3 c \rho (t_2 - t_1)}{24}. \quad (3)$$

$$Q_2 = \frac{C U_0^2 f \Psi a}{2}, \quad (4)$$

где $t_1 = 300$ К – температура окружающей среды (температура флюса); $t_2 = 1600$ К – температура капли (принятая на $50...100$ К выше температуры плавления материала электрода – чугуна); C – удельная теплоемкость материала анода, Дж/г·К; Q_2 – количество тепла, полученное электродом в результате действия единичного импульса, кал.; a – объем металла, расплавленного одним или несколькими импульсами с энергией 1 Дж; f – частота следования импульсов, вызывающих расплавление металла детали; Ψ – коэффициент эффективности, где $\Psi = \frac{f}{f_{ги}}$ ($f_{ги}$ – частота импульсов, вырабатываемых генератором, Гц).

Потери тепла при разрядах учитываются коэффициентом Ψ . В первом приближении коэффициент Ψ адекватен коэффициенту полезного действия электроэрозионного процесса. По [4] коэффициент Ψ может быть принят равным 0,41.

Принимая $Q_1 = Q_2$, находим основной режимный параметр процесса покрытия – емкость конденсаторов RC-генератора:

$$C = \frac{31\pi H^3 c \rho (t_2 - t_1)}{12U_0^2 f \Psi a}. \quad (5)$$

Зная, что приращение температуры электрода определяется в зависимости от энергии импульса, рассчитаем значения этого параметра. По [4] предельная энергия импульса, обеспечивающая получение качественного покрытия составляет $2...2,5$ Дж. В данном случае расчет энергии импульса $A_{и}$, дал значения $A_{и} = 0,01...0,5$ Дж.

По энергии импульса можно рассчитать и назначить остальные режимы нанесения покрытия и оценить технологические возможности применяемой установки (генератора импульсов).

Согласно рекомендациям [4], напряжение генератора принимают в диапазоне $U_0 = 80...120$ В, а напряжение пробоя определяют из соотношения $U_{ср} \approx (0,5...0,75) U_0$.

Для расчетной энергии импульса и рекомендуемой величины напряжения, диапазон емкостей составил – $2,5...16,25$ мкФ.

При выборе рабочего диапазона емкостей необходимо учитывать, что повышение емкости свыше 20 мкФ способствует заметному снижению твердости сформированного слоя покрытия [5]. Если проанализировать роль этого параметра с точки зрения обеспечения максимальной толщины слоя, емкость конденсаторов, применяемых для нанесения чугунного покрытия на алюминиевые сплавы при $A_{и} = 0,1...0,5$ Дж и напряжении пробоя $U_{ср} = 50$ В, должна изменяться в диапазоне $5...10$ мкФ.

На следующем этапе, по данным, приведенным в паспорте установки, выбирается сила рабочего тока и тока короткого замыкания, связанных соотношением $I_{ср} = 0,5 I_{кз}$ [4]. Тогда $I_{ср} = 0,5...7,8$ А; $I_{кз} = 1,0...15,6$ А. При повышении значения тока $I_{ср} > 5,0$ А на поверхности катода формируются более толстые слои ($100...300$ мкм), но при этом их качественные характеристики (сплошность, равномерность, плотность и т.п.) резко снижаются, появляются растрескивания, прижоги. Поэтому $I_{ср}$ ограничивают 5,0 А.

Значение сопротивления токоограничивающего резистора R находится по формуле

$$R = \frac{U_0}{I_{кз}}. \quad (6)$$

Расчетная величина сопротивления резистора составила: $R_{\min} = 2,13 \text{ Ом}$; $R_{\max} = 12 \text{ Ом}$. Для условий электроэрозионного нанесения чугунного покрытия на алюминиевую поверхность эффективное значение сопротивления токоограничивающего резистора при $I_{\text{кз}} = 4 \text{ А}$, $U_0 = 100 \text{ В}$ ($U_{\text{ср}} = 50 \text{ В}$) составляет $R = 2,5 \text{ Ом}$.

Частота следования импульсов f для генераторов с RC-схемой составляет $f_{\min} = 167 \text{ Гц}$; $f_{\max} = 6,7 \cdot 10^3 \text{ Гц}$. Согласно техническим характеристикам установки ЭФУ25 рабочий диапазон частоты следования импульсов $f = 100 \dots 10\,000 \text{ Гц}$.

Период повторения импульсов (τ_0) рассчитывается по формуле

$$\tau_0 = \frac{1}{f}. \quad (7)$$

Определив диапазон значений $\tau_0 = 100 \dots 10\,000 \text{ мкс}$, можно оценить длительность импульса $\tau_{\text{и}}$, приняв во внимание рекомендуемое в [4] соотношение $\tau_{\text{и}} = (0,5 \dots 0,9)\tau_0$. Оптимальная длительность импульса для каждого режима назначается по максимальному переносу материала катода. Для мягких режимов, на которых происходит нанесение слоя чугуна на алюминиевую основу, длительность импульса принимается $\tau_{\text{и}} = 100 \dots 1000 \text{ мкс}$. При уменьшении длительности импульса уменьшается количество жидкого и размягченного материала на аноде, вступающего во взаимодействие с материалом катода во время контакта электродов. При увеличении $\tau_{\text{и}}$ наблюдается спад привеса катода за счет перегрева и выброса расплавленного металла анода за пределы зоны взаимодействия электродов [6].

Как правило, расчетные значения режимов нанесения покрытий для RC-генераторов требуют корректировки, которая выполняется в ходе отработки режимов. В качестве ограничивающего фактора при этом выступает возможность появления микротрещин, пор и других дефектов в формируемом слое покрытия и в обрабатываемом материале.

Другим важным показателем качества является сплошность сформированного слоя покрытия. Она обеспечивается сочетанием режимов с правильным выбором скорости перемещения электрода-инструмента. Согласно рекомендациям [3, 5, 6], диапазон скоростей перемещения электрода-инструмента составляет $v_s = 50 \dots 200 \text{ мм/мин}$.

Максимальная сплошность покрытия достигается при перекрытии соседних капель осажденного металла на $(1/3 \dots 1/4) d$. Приняв

средний диаметр капли $d_{\text{ср}} = 75 \dots 400 \text{ мкм}$, по известному значению скорости подачи электрода-инструмента можно рассчитать удельное время (длительность покрытия единицы площади детали) обработки, которое с учетом числа проходов (до $n = 3$) составляет $T_0 = 0,6 \dots 10,2 \text{ мин/см}^2$. Этот параметр не только в значительной степени определяет качество сформированного поверхностного слоя, но и является определяющим показателем эффективности протекания процесса электроэрозионного нанесения покрытия (ЭНП).

При определении удельного времени обработки в качестве основного критерия для оценки качества операции была выбрана сплошность формируемого покрытия близкая к 100 %. Проведенные исследования свидетельствуют о том, что для каждого режима работы установки для электроэрозионного нанесения покрытий существует свое рациональное время обработки (нанесения покрытия). При выборе оптимального значения удельного времени обработки необходимо учитывать, что при применении этого показателя в диапазоне $3 \dots 7 \text{ мин/см}^2$ толщина слоя (как и его качество) возрастает и достигает максимальной величины [6].

Дальнейшее увеличение удельного времени обработки (до 12 мин/см^2 и выше) приводит к резкому возрастанию растягивающих напряжений [7], которые обуславливаются несплошностью слоя, высокой шероховатостью, наличием трещин и пустот, что снижает усталостную прочность детали, вызывает ограничение толщины сформированного слоя. При этом перенос материала покрытия сменяется эрозией уже нанесенного слоя. С учетом информации, приведенной в [8], оптимальное значение удельного времени нанесения покрытия на алюминиевую основу составляет $T_0 = 1,25 \dots 5 \text{ мин/см}^2$, что вполне согласуется с результатами расчетов и экспериментов. Именно при этих значениях удельной длительности процесса были получены слои, обладающие хорошей плотностью, высокой твердостью и низкой шероховатостью.

Особенности построения технологического процесса ЭНП на детали из алюминиевых сплавов под слоем флюса. Проведенные расчеты основных параметров режимов обработки, а также анализ особенностей процесса нанесения покрытия под слоем флюса и рекомендации по подбору материалов для изготовления детали, электрода-инструмента и подготовки флюса, показанные в [3, 6], по-

зволили разработать методику проектирования технологического процесса нанесения чугуночного покрытия на алюминиевые сплавы под слоем флюса электроэрозионным методом.

Рассматриваются два основных этапа проектируемого процесса [8]: 1) подготовительный этап; 2) производственный этап, включающий этап нанесения на деталь покрытия, состоящий преимущественно из операций по формированию слоя покрытия электроэрозионным методом.

На *подготовительном этапе* осуществляется:

- выбор места нанесения покрытия на деталь, определение марки материала покрытия;
- отработка технологичности конструкции детали, в процессе которой, необходимо учесть: характер производства, габариты деталей, физико-механические свойства алюминиевых сплавов, особенности их поведения в процессе нанесения покрытия, уточнить технические требования к покрытиям. Применение деталей с защитой от коррозии нанесением поверхностных слоев из чугуна наиболее эффективно для электродов при электрохимической обработке в щелочных средах и в средах содержащих хлористые соединения, в которых алюминиевые сплавы быстро разрушаются, хотя они весьма технологичны по другим показателям;
- отработка геометрии детали с учетом дальнейшей обработки. Рассчитывают припуск на последующую обработку и толщину качественного слоя, исходя из которых уточняют размеры поверхности, намеченной к нанесению покрытия;
- выбор и подготовка средств технологического оснащения. Как правило, все устройства, применяемые в процессе изготовления детали, могут быть отобраны из числа используемых в условиях серийного производства. При этом при небольших размерах деталей не требуется подбора подъемно-транспортных устройств, что значительно упрощает состав оборудования и уменьшает стоимость его изготовления;
- выбор электрода-инструмента. Для нанесения покрытия рекомендуется использовать стержневой электрод из чугуна. Эксплуатационные свойства таких покрытий, помимо физических, механических и химических характеристик применяемого материала электрода, зависят от обоснованности выбора режимов и совершенства технологического процесса. При этом, кроме структуры, свойств и хими-

ческого состава материала полученного покрытия важными критериями являются сплошность и равномерность покрытия, его толщина, глубина диффузионного слоя, обеспечивающая прочное сцепление покрытия с основой и др.;

- выбор рабочей среды, определение ее состава. Совместимость материала электрода и рабочей среды является важным фактором, определяющим не только эффективность процесса, но и возможность его проведения. Во многих работах была отмечена зависимость характера нанесения материала анода на катод от химического взаимодействия материала электрода с элементами межэлектродной среды. Авторами статьи предложено при нанесении покрытий на алюминиевые сплавы электроэрозионным методом в качестве рабочей среды использовать флюс марки ФС-71 [3], обладающий активирующими свойствами. Флюс вступает в реакцию с поверхностной оксидной пленкой Al_2O_3 , разрушает ее, частично растворяет и удаляет в виде взвеси, очищая, таким образом, поверхность заготовки от пленки, которая не только препятствует стабильному протеканию процесса, но часто является основной причиной термического разрушения поверхности катода;
- установка режимов электроэрозионного нанесения слоя покрытия [4, 8]. Определяют минимальное количество слоев, необходимое для формирования покрытия требуемого качества. При этом рекомендовано наносить до 3-х слоев. Следует учесть, что нанесение уже второго слоя вызывает рост шероховатости, хотя повышает жаростойкость и сплошность сформированного покрытия;
- далее выполняется построение технологического процесса и изготовление по нему (второй этап проектирования) детали из алюминиевого сплава с покрытием из чугуна.

На базе маршрута, приведенного выше, создана методика, учитывающая особенности проектирования технологического процесса, которая включает:

- контроль деталей в целом и поверхностей, подлежащих обработке. Устанавливается возможность обработки, определяется значение размера поверхности после покрытия, проверяется расхождение получаемого размера с покрытием относительно заданного в чертеже, определяется обоснованность применения рассматриваемого покрытия;
- в случае положительного результата осуществляется подготовка поверхности заготовки под нанесение покрытия. При подготовке по-

верхности большое внимание необходимо уделить ее очистке от загрязнений, краски, жиров и масел, которую проводят с помощью обезжиривания и травления. Очистке подлежит и участок, примыкающий к обрабатываемой поверхности, шириной 25...30 мм. При этом использование для очистки абразивных инструментов не допускается, так как выкрошившиеся абразивные частицы, внедряясь в поверхность, могут образовывать различные включения, которые отрицательно сказываются на качестве сформированного покрытия.

Кроме того, применение для очистки механических методов обработки приводит к возникновению наклепа, характеризующегося повышенным напряженным состоянием поверхностных слоев заготовки, который не только снижает эффективность процесса электроэрозионного нанесения покрытий, но и снижает твердость и адгезию сформированного покрытия.

Обезжиривание проводится органическими растворителями: бензином, ацетоном. Обезжиренные детали промывают в теплой воде (температура не ниже 298 К) и протирают жесткой волосяной щеткой. Травление проводят в 15 %-ном водном растворе азотной кислоты при температуре 333...338 К в течение 2...5 мин или в 30 %-ном водном растворе азотной кислоты при температуре 293...298 К в течение 1...2 мин для нейтрализации остатков щелочи, после чего детали промывают в теплой воде;

– на следующем этапе деталь протирают и сушат при температуре 333 К до окончательного удаления влаги. Здесь же производят визуальный контроль отсутствия грязи и масла и, в случае обнаружения дефектов, обезжиривание и промывка выполняются повторно;

– приготовление флюса и его нанесение на обрабатываемую поверхность. Состав флюса должен соответствовать следующим значениям: порошок флюса ФС-71 – 50 % масс.; этиловый спирт C_2H_5OH – 50 % масс. Нанесение приготовленного флюса на обрабатываемую поверхность осуществляется покрытием равномерным сплошным слоем толщиной 0,2...0,3 мм.

– при контроле опытного образца оценивают характеристики покрытия и эффективности процесса. На основании результатов, полученных при отладке процесса, производится корректировка режимов и выносится решение о запуске процесса в серийное производство;

– режимы обработки при электроэрозионном нанесении чугунного покрытия зависят от

марки сплавов и условий эксплуатации деталей с покрытием. Для наиболее употребляемого покрытия из чугуна СЧ-20 при нанесении на алюминиевый сплав Д16 рекомендуются режимы: $A_{и} = 0,1...0,5$ Дж; $U_{ср} = 50...60$ В; $I_{кз} = 3...5$ А; $\tau_{и} = 10^2...10^3$ мкс; скорость подачи электрода-инструмента $v_э = 50...200$ мм/мин; количество слоев до $n = 3$; время, необходимое для формирования покрытия требуемой толщины, 3...5 мин/см².

– для удаления остатков флюса и шлаков требуется промывка детали. Флюсы следует устранять непосредственно после завершения процесса нанесения покрытия (не позднее чем через 1 ч путем промывания поверхности с покрытием и примыкающего к ней основного металла проточной горячей водой 333...353 К с помощью волосяной щетки. После этого деталь промывают 2 %-ным водным раствором хромового ангидрида той же температуры 333... 353 К, а затем вновь горячей проточной водой. Промытые детали сушат при температуре 387...453 К или горячим воздухом при 333...383 К до полного удаления влаги;

– контроль качества промывки выполняют с применением 2 %-ного раствора азотнокислого серебра. При попадании капель этого раствора на недостаточно очищенную от флюса поверхность образуется хорошо видимый белый осадок. В этом случае промывку следует повторить. При многослойном нанесении покрытий необходимо проводить промывку каждого слоя покрытий в горячей воде с последующей тщательной просушкой и окончательной промывкой в водном растворе хромового ангидрида;

– контроль качества покрытия выполняется визуальным осмотром для выявления загрязнений, внешних видимых дефектов – трещин, прижогов и др., инструментальными приемами – контроль качества поверхностного слоя, толщины и сплошности покрытия. Критериями годности обычно принимается сплошность не ниже 75...95 %, толщина слоя более 20 мкм;

– для устранения внутренних напряжений с целью повышения прочности, коррозионной стойкости, улучшения адгезионных свойств покрытий, полученных электроэрозионным методом, может выполняться термическая обработка, которая полностью или частично снимает остаточные напряжения, возникающие в результате действия импульсного термического разряда, а также повышает механические свойства материала путем улучшения структуры металла покрытия и прилегающей

к нему зоны. Например остаточные напряжения силуминов снимают отжигом при температуре 573...623 К с выдержкой в печи в течение 2...5 ч. Термическая обработка алюминиевых деталей рекомендуется, если она не вызывает чрезмерных деформаций и коробления.

– после внешнего осмотра покрытия измеряют глубину неровностей на покрытии и для такого припуска назначают механическую обработку. Покрытие может формироваться в виде отбеленного чугуна, обладающего высокой твердостью. В этом случае окончательная обработка выполняется шлифованием, в остальных случаях может использоваться более производительный лезвийный твердосплавный инструмент или электроабразивная обработка; – при наличии несплошности покрытия, площадь которой превышает 5...25 % поверхности, целесообразно восстанавливать качество изделий из немагнитных материалов путем нанесения композиции с наполнителем. Отличительная особенность описанного способа заключается в том, что в качестве наполнителя используют мелкодисперсный магнитный порошок и композицию, которые выдерживают в магнитном поле до заполнения местных дефектов. Таким образом, в результате заполнения различных дефектов, пор, трещин (в случае их возникновения), впадин и углублений обеспечивается не только достижение сплошности покрытия, но и происходит полезное выравнивание поверхностного слоя.

В отличие от таких способов восстановления сплошности как герметизация, нанесение лаков, клеев, эпоксидных компаундов, содержащих в качестве наполнителя различные порошки, предложенный способ обеспечивает высокую надежность и работоспособность поверхностных слоев в условиях знакопеременных нагрузок, вибраций и при высоких давлениях рабочих сред, что особенно важно учитывать при проектировании и изготовлении средств технологического оснащения для электрохимической обработки, работающих в условиях кавитационного течения рабочей жидкости.

Кроме того, предлагаемый способ обеспечивает более эффективное заполнение глубоких пор, трещин, дефектов, что позволяет гарантировать их сплошность, исключить отслаивание и повысить качество рабочих поверхностей. Глубокое проникновение композиции в узкие щели и другие дефекты обеспечивает сочетание высокой текучести компози-

ции из герметика с плотным заполнением углублений мелкодисперсным магнитным порошком под воздействием магнитного поля.

Процесс восстановления сплошности осуществляется по следующей технологии: поверхность заготовки (деталь с покрытием, нанесенным электроэрозионным методом) обезжиривают ацетоном с последующей сушкой. Наносят на поверхность заготовки полимерную композицию, состоящую из анаэробного герметика и наполнителя, при следующем соотношении компонентов: герметик – 50 %, мелкодисперсный магнитный порошок – 50 %. Создают магнитное поле в зоне обработки и композицию выдерживают в магнитном поле до заполнения ею дефектов. Снимают поле, удаляют избытки композиции с поверхности, после чего сушат на воздухе при температуре 288...308 К в течение 24 ч. После сушки удаляют неотвержденную композицию ацетоном с последующей сушкой при температуре 323...333 К в течение 4 ч.

На рис. 2 приведены чугунный электрод-инструмент и алюминиевая деталь, предназначенная для использования в электрохимических станках при работе в среде защелоченного электролита. При этом с электролитом контактирует только кольцевая поверхность вокруг выступа. Деталь на рис. 2 из материала ВД17 проходит перед покрытием механическую обработку, контроль точности геометрических размеров и взаимного расположения поверхностей, после чего выполняют нанесение на поверхность со стороны выступа двух слоев чугунного покрытия из СЧ20 с общей толщиной 0,4±0,1 мм. После этого покрытие шлифуется с удалением припуска 0,2...0,22 мм и устанавливается в станке.

Использование алюминиевых деталей с покрытием позволяет (по сравнению с нержавеющими) более чем в 2 раза увеличить количество подводимого в зону обработки технологического тока, снизить потери подводимой для обработки энергии и за счет повышения плотности тока улучшить качество поверхностного слоя.

Заключение

Результаты апробации разработанного технологического процесса изготовления детали из алюминиевого сплава с чугунным покрытием, наносимым электроэрозионным методом, показали, что удастся достичь сплошности слоя покрытия до 100 %. Это доказывает эффективность применения таких покрытий в инструментальном и серийном производстве.

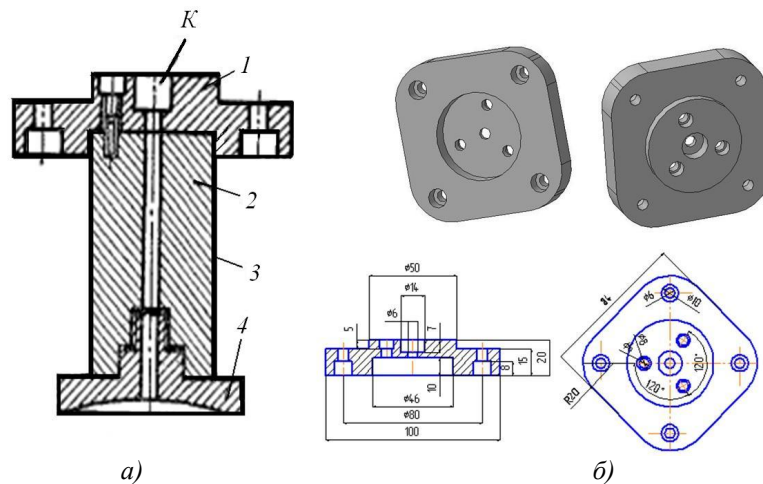


Рис. 2. Сборный электрод-инструмент и заготовка алюминиевой детали с покрытием чугуном:

а – конструкция электрода-инструмента: 1 – фланец для крепления электрода-инструмента, осуществления токоподвода и подачи электролита; 2 – переходник; 3 – диэлектрическое покрытие; 4 – рабочая часть (К – накопительная камера для электролита); *б* – внешний вид и основные размеры детали фланца

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. 2405662 РФ, В23Н. Способ нанесения чугуночного покрытия на алюминиевые сплавы / Смоленцев В.П., Гребенщиков А.В., Перова А.В., Омигов Б.И. № 2009116031; заявл. 27.04.2009; опубл. 10.12.2010, Бюл. № 34.
2. Пат. 2318637 РФ, В23Н. Способ электроэрозионного восстановления чугунных деталей / Смоленцев В.П., Кириллов О.Н., Дульцев С.В., Щипанов М.В. № 2006113860; заявл. 24.04.2006; опубл. 10.03.2008, Бюл. № 7.
3. Перова А.В., Смоленцев В.П. Механизм нанесения покрытий на алюминиевые сплавы электроэрозионным методом // Известия ОрелГТУ. 2008. №4-4/272(550). С. 8–12.
4. Смоленцев Е.В. Проектирование электрических и комбинированных методов обработки. М.: Машиностроение, 2005. 511 с.
5. Электроискровое легирование деталей, работающих в условиях термоциклического нагружения / В.И. Андреев, В.Н. Морозенко, Н.И. Беда и др. // Электронная обработка материалов. 1973. № 2. С. 23–25.
6. Формирование покрытий на алюминиевых сплавах методом электроэрозионного легирования / А.В. Перова, В.П. Смоленцев, А.С. Грибанов // Авиакосмические технологии «АКТ–2008»: тр. IX Всерос. науч.-техн. конф. и школы молодых ученых, аспирантов и студентов, Воронеж: ВГТУ, 2008.
7. Исследование износостойкости электроискровых покрытий на основе твердых сплавов / В.Ю. Ширияев, Ю.С. Шатунов, С.Н. Коробейников, П.А. Петренко // Современная электротехнология в промышленности центра России: сб. тр. Тула: ТулГУ, 2004. С.183–189.
8. Смоленцев В.П. Электроэрозионная обработка. Машиностроение. Энциклопедия. Т. III-3 / под ред. А.Г. Суслова. М.: Машиностроение, 2000. 840 с.

REFERENCES

1. Pat. 2405662 RF, B23H. Method for Cast Iron Coating on Aluminum Alloys / Smolentsev V.P., Grebenshchikov A.V., Perova A.V., Omigov B.I. № 2009116031; declared 27.04.2009; published 10.12.2010, Bulletin № 34.
2. Pat. 2318637 RF, B23H. Method for electroerosion restoration of cast iron parts / Smolentsev V.P., Kirillov O.N., Dultsev S.V., Shchipanov M.V. № 2006113860; declared 24.04.2006; published 10.03.2008, Bulletin № 7.
3. Perova A.V., Smolentsev V.P. Mechanism for aluminum alloy coating by electroerosion method // *Proceedings of OrelSTU*. 2008. №4-4/272(550). pp. 8–12.
4. Smolentsev E.V. *Designing electric and combined methods of processing*. M.: Mechanical Engineering, 2005. pp. 511.
5. Spark alloying of parts operating under conditions of thermo-cyclic loading / V.I. Andreyev, V.N. Morozenko, N.I. Beda et al. // *Material Electronic Processing*. 1973. № 2. pp. 23–25.
6. Coating formation on aluminum alloys by method of electroerosion alloying / A.V. Petrova, V.P. Smolentsev, A.S. Griбанov // *Aerospace Techniques “AST–2008”: Proceedings of the IX-th All-Russian Scientific Technical Conf. and School of Young Scientists, Post graduate students and Students, Voronezh: VSTU*, 2008.
7. Investigations of spark coatings durability based on hard metals / V.Yu. Shiryaev, Yu.S. Shatunov, S.N. Korobeynikov, P.A. Petrenko // *Current electro-technology in industry of Central Region of Russia: Proceedings of TulsU*. Tula: 2004. pp.183–189.
8. Smolentsev V.P. *Electroerosion Processing. Mechanical Engineering. Encyclopedia*. Vol. III-3 / under the editorship of A.G. Suslov. M.: Mechanical Engineering, 2000. pp.840.

Рецензент д.т.н. А.И. Болдырев