

Резюме проекта,

выполненного по Соглашению о предоставлении гранта в форме субсидии в рамках
ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-
технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы»

по этапу №3 итоговое

Номер Соглашения Электронного бюджета: 075-15-2019-1368, Внутренний номер соглашения 14.577.21.0288

Тема: «Разработка технологии электрохимического нанесения керамикоподобных упрочняющих покрытий на сложнопрофильные поверхности изделий из вентильных металлов»

Приоритетное направление: Транспортные и космические системы (ТС)

Критическая технология: Базовые и критические военные и промышленные технологии для создания перспективных видов вооружения, военной и специальной техники

Период выполнения: 31.05.2018 - 31.12.2020

Плановое финансирование проекта: 200.00 млн. руб.

Бюджетные средства 150.00 млн. руб.,

Внебюджетные средства 50.00 млн. руб.

Получатель: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Московский государственный технологический университет "СТАНКИН"

Индустриальный партнер: Акционерное общество "Рязанское Конструкторское бюро "Глобус"

Ключевые слова: электрохимическая обработка, упрочнение материала, керамикоподобные покрытия, вентильные металлы

1. Цель проекта

Целью работы является создание макета установки электрохимического нанесения керамикоподобных упрочняющих покрытий на сложнопрофильные поверхности изделий из вентильных металлов.

Оптимизация процесса формирования керамикоподобных упрочняющих покрытий на экспериментальных образцах сплава на основе Al.

Характеризация покрытий, получаемых с использованием разработанной технологии.

2. Основные результаты проекта

В результате выполнения первого этапа проекта подготовлены аналитический обзор современной научно-технической, нормативной, методической литературы и отчет о патентных исследованиях, выпущено техническое задание на макет установки электрохимического нанесения керамикоподобных упрочняющих покрытий на сложнопрофильные поверхности изделий из вентильных металлов. Даны описание модели энергетических цепей силового преобразователя и схема алгоритмов импульсного источника питания (ИИП) установки. Оптимизированы энергетические цепи силового преобразователя, тем самым значительно повысив энергоэффективность источника питания. Впервые для источника питания установки микродугового окисления (МДО) разработана электрическая схема, объединяющая основные технологические режимы (электрические импульсы) управления разрабатываемой технологии.

В результате выполнения второго этапа проекта выбраны информационные технологии, обеспечивающие функционирование аппаратных средств макета установки и первичную обработку информации мониторинга технологического процесса. Разработана программа и методика лабораторных испытаний управляющей программы импульсного источника питания. Разработана эскизно-конструкторская документация (ЭКД) на макет установки электрохимического нанесения керамикоподобных покрытий на сложнопрофильные изделия из вентильных металлов. Изготовлены в соответствии с разработанной ЭКД следующие части макета установки: импульсный источник питания; система мониторинга. Разработаны в соответствии с техническими заданиями следующие программные продукты: управляющая программа вычислительной платформы импульсного источника питания; управляющая программа вычислительной платформы системы мониторинга. Импульсный источник питания макета установки, имеет действующее значение выходного тока – 120 А; диапазон изменения модуля амплитуды выходного напряжения – 0...700 В; диапазон изменения длительности выходных импульсов – 0,1...10 мс. 3. Система мониторинга макета установки, рассчитывающая по полученным данным

Ключевым научно-техническим результатом третьего этапа проекта является изготовление макета установки электрохимического нанесения керамикоподобных упрочняющих покрытий на сложнопрофильные поверхности изделий из вентильных металлов со следующими характеристиками: мощность ИИП: 60кВА; максимальный размер обрабатываемой заготовки: 20 дм²; обрабатываемые материалы: любые вентильные металлы; режимы обработки: мультирежимный, программируемый; рабочий объем электролитной ванны: 731 л; хладопроизводительность системы охлаждения: 55 кВт.

Совместно с индустриальным партнером определены ключевые параметры покрытий, требуемые для вовлечения технологии в производственный процесс предприятия. Исходя из требований к покрытиям определены наиболее подходящие режимы обработки

По отработанным режимам на сплавах Д16Т и АМГ6 получены покрытия со следующими параметрами: коэффициент трения: 0.24-0.23; интенсивность износа: $0.049-0.040 \cdot 10^{-7}$ мм/мм; твердость: 2034-2013HV, толщина рабочего слоя покрытия 129-137 мкм; общая толщина покрытия: 234-237 мкм.

Режимы микродугового, плазменно-электролитического или микроплазменного оксидирования, а также устройства, установки и технологические источники тока, позволяющие их реализовывать, играют важную роль для формирования упрочняющих покрытий на поверхностях изделий из вентильных металлов и сплавов. Однако производимые на сегодня устройства не позволяют использовать мультирежимную обработку для расширения возможностей технологии микродугового оксидирования и повышения качества керамикоподобных многофункциональных покрытий, которые могли бы использоваться в качестве износо- и термостойких, электроизоляционных, коррозионно-защитных и декоративных покрытий и применяться в машино- и приборостроении, авиационной, радиоэлектронной и других отраслях промышленности. Разработанный в рамках данного проекта импульсный источник позволяет в очень широком диапазоне изменять, варьировать режимы обработки, что позволит проводить дополнительные исследования в области микродугового, плазменно-электролитического оксидирования различных вентильных металлов. Помимо этого, созданная в рамках проекта установка позволяет обеспечивать режимы формирования МДО покрытий на сплавах с затрудненным образованием микродуговых разрядов.

Реализованный в проекте тиристорно-конденсаторный ИИП, благодаря оригинальным аппаратным и программным решениям, позволяет обеспечить основные режимы обработки присущие конденсаторным, тиристорным и транзисторным ИИП, а также комбинации этих режимов. Так для формирования износостойких покрытий на сложнопрофильных алюминиевых деталях в разработанном ИИП предусмотрен режим наложения импульсов, обеспечивающий инициацию микродуговых разрядов (МДР) на всей обрабатываемой поверхности и самокоррекцию параметров режима от условий функционирования МДР.

Еще одним достоинством разработанного ИИП, является контроль критических параметров технологического процесса и при их аномальных (приводящих к технологическому браку) отклонениях к автоматическому прерыванию или коррекции параметров режима обработки.

3. Охраноспособные результаты интеллектуальной деятельности (РИД), созданные при выполнении проекта

Изобретение, патент №2725492 от 02.07.2020 заявка №2019129341 от 18.09.2019 г. «Электролит для анодного плазменно-электролитного модифицирования», РФ;

Полезная модель, патент №190810 от 12.07.2019 заявка №2019101656 от 22.01.2019 г. «Устройство для получения изделий из композиционных порошков», РФ.

Изобретение, заявка №2020122170 от 03.07.2020 г. «Устройство для электрохимического формирования керамикоподобных покрытий на сложнопрофильных поверхностях изделий из вентильных металлов», РФ.

Изобретение, заявка №2020122172 от 03.07.2020 г. «Устройство для электрохимического формирования керамикоподобных покрытий на сложнопрофильных поверхностях изделий из вентильных металлов», РФ.

Изобретение, заявка №2020122177 от 03.07.2020 г. «Устройство для электрохимического формирования керамикоподобных покрытий на сложнопрофильных поверхностях изделий из вентильных металлов», РФ.

4. Назначение и область применения результатов проекта

Полученные результаты в рамках выполнения проекта могут быть применимы в следующих отраслях: 1) Авиация; 2) Космос; 3) Комплектующие для автомобилей; 4) Информационные технологии; 5) Контрольно-измерительная аппаратура; 6) Изделия из композиционных материалов; 7) оборудование для сельского хозяйства; 8) Оборудование для судоходства; 9) Медтехника; 10) Отопительное оборудование; 11) Инструмент и вспомогательное оборудование; 12) Батареи и аккумуляторы; 13) Технологии и услуги. 14) Фундаментальные научные исследования по направлению материаловедения.

Результаты проекта, такие как непосредственно макет установки имеет высокую степень готовности к серийному производству, в связи с этим имеет хорошие перспективы коммерциализации, а учитывая высокую степень инновационности фактически появляется возможность занять доминирующее положение на данном рынке. На момент завершения данного проекта индустриальный партнер встраивает данную технологию в собственные производственные процессы (изготовление теплонагруженных плат на алюминиевом основании с диэлектрическим МДО покрытием).

Результаты проекта позволяют применить разработанное оборудование для широкого спектра отраслей промышленности, таких как: Машиностроение, приборостроение, электротехническая и электронная,

аэрокосмическая, текстильная и нефтехимическая. В области машиностроения разработанное оборудование позволит заменить легированные стали на алюминиевые, титановое и др. сплавы вентильных металлов с МДО покрытием. В области аэрокосмической промышленности МДО покрытия обеспечат защиту от высокотемпературной газовой эрозии лопатки турбин. В нефтехимической и газовой обеспечат защиту шиберов задвижек, плунжеров и различных торцевых уплотнений. В инструментальной промышленности обеспечат износостойкими покрытиями калибры и притиры и повысят жесткость корпусов держателей для высокоскоростных фрез. Разработанное оборудование позволит проводить исследования в рамках международной кооперации, в частности со специалистами Израиля, Китая, Южной Кореи и Великобритании, в которых существуют научные группы, занимающиеся исследованиями в области МДО.

5. Эффекты от внедрения результатов проекта

Ключевым социально-экономическим эффектом от внедрения разрабатываемого в рамках данного проекта макета установки является частичный уход от экологически опасной технологии анодирования и переход к экологически безопасной технологии микродугового оксидирования.

Привлекательность целевых рынков связана с ростом потребления Al и Mg в автомобиле- и машиностроении требуются решения, позволяющие защищать металлы от коррозии. ужесточение требований и экологических стандартов по всему миру требуют поиска альтернатив шестивалентному хрому и гальванике.

6. Формы и объемы коммерциализации результатов проекта

В рамках полученных результатов существует 2 основных направления коммерциализации: 1) Выход на рынок установок МДО с разработанным макетом установки; 2) Оказание услуг в сфере нанесения покрытий.

По оценке исполнителей проекта, Российский рынок МДО установок в 2019 г. Составил не более 3-х установок (приблизительно 45 млн.р.) Спрос на установки в России не снижается, а в 2025 ожидается рост потребности в установках до 5-ти штук в год. Средняя рыночная стоимость установки составляет от 15 до 25 млн.р. Учитывая значительные преимущества созданного в рамках данного проекта импульсного источника питания, то к 2023 году ожидается занять 100% рынка установок в России, однако для этого требуется расширить модельный ряд установок, как более мощных для обеспечения возможности покрывать изделия большей площади, так и менее мощных.

По оценке исполнителей проекта, Российский рынок МДО покрытий в 2019 году составил 47 млн.р. Учитывая мировые тенденции, рынок МДО покрытий растет ежегодно более чем на 8%, данный тренд распространяется и на Россию. При грамотном проведении маркетинговых мероприятий и расширении модельного ряда установок к 2023 г. Можно занять долю на рынке более 50%, а к 2025 выйти на показатели более 70%. Дополнительно следует учесть, что созданная в рамках данного проекта установка позволяет значительно расширить область применения МДО покрытий и в случае продолжения ведения поисковых научных исследований расширение применения МДО покрытий.

7. Наличие соисполнителей

- 1) На 1 этапе работ соисполнители не привлекались.
- 2) На 2 этапе работ соисполнители не привлекались.
- 3) На 3 этапе работ соисполнители не привлекались.