Утверждаю:

Проректор по научной работе
ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»
д.т.н., профессор
_____ Равикович Ю.А.

«30» 05 2019 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Горбаткова Михаила Викторовича «Информационно-измерительная система контроля толщины покрытия в ходе процесса плазменно-электролитического оксидирования», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.16 – Информационно-измерительные и управляющие системы (в промышленности и медицине).

Актуальность темы исследования

Диссертационная работа посвящена разработке информационно-измерительной системы контроля толщины покрытия в ходе процесса плазменно-электролитического оксидирования. Данный процесс относится к перспективным современным технологиям и обеспечивает формирование покрытий на легких металлах и сплавах для повышения их эксплуатационных характеристик, таких как износо- и коррозионная стойкость. Обработка проводится при сравнительно высоких напряжениях порядка 500-800 В с возникновением парогазовой оболочки и многочисленных микроразрядов на поверхности обрабатываемой детали, что вносит существенную нелинейность в характеристики процесса и требует значительного объема наукоемких исследований перед внедрением процесса в производство.

Проведенный автором обзор методов и средств измерения толщины покрытия показал, что на сегодняшний день замеры толщины покрытия проводятся в подавляющем большинстве после завершения процесса обработки. Технической реализации косвенной диагностики без прерывания процесса на основе простых и доступных методов крайне мало, и они сильно зависят от степени исследованности механизма процесса.

УГАТУ
Вх. № 844-13
от 06.06.2019

В соответствии с вышеизложенным, тема исследования диссертационной работы является востребованной и актуальной.

Оценка структуры и содержания работы

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 134 наименований и 4 приложений; работа изложена на 158 страницах. Содержание и структура диссертации находится в логическом единстве и соответствует поставленной цели и задачам исследования, материал изложен последовательно, логично и аргументированно. Автореферат диссертации полностью отражает содержание диссертационной работы, дает представление об объеме и характере проведенных исследований.

Во введении автором выявлена актуальность темы, изложены цели и задачи исследований, раскрыты научная новизна, практическая значимость, приведены основные положения, выносимые на защиту, результаты реализации и внедрения.

В первой главе автором проведен анализ современного состояния информационно-измерительных систем для контроля плазменно-электролитических процессов и определено место технологического процесса плазменно-электролитического оксидирования среди других родственных процессов. Показана необходимость разработки способов и измерительных систем для косвенной диагностики толщины покрытия по электрическим и оптическим характеристикам, как наиболее перспективным каналам извлечения информации о ходе процесса.

Во второй главе автором описан порядок проведения и результаты экспериментального исследования процесса плазменно-электролитического оксидирования как объекта измерения и контроля. Опыты проведены на алюминиевых образцах. Получены распределения толщины покрытия вдоль поверхности образцов, изучены вольтамперная характеристика процесса, осциллограммы напряжения в различные моменты времени, эволюция изменения интенсивности линий оптического спектра излучения микроразрядов. Измерено распределение электрического потенциала в электролизере с помощью металлического зонда. Произведена серия опытов для получения статистических данных о погрешностях измерения каждого способа.

Третья глава посвящена разработке методики расчета вторичного распределения плотности тока вдоль поверхности, которая учитывает нелинейные свойства оксидного слоя и парогазовой оболочки. Учет производится за счет использования экспериментальной вольтамперной

характеристики и введения анодной области с новыми свойствами, отличающимися от свойств электролита. Впервые предпринята количественная оценка модельного распределения толщины покрытия в сравнении с экспериментальным.

В четвертой главе предложена феноменологическая модель процесса, которая позволяет формализовать и структурировать сложный и многофакторный процесс плазменно-электролитического оксидирования как объект измерения и контроля. На основе собранного экспериментального материала разработаны два способа контроля толщины покрытия – по электрическим и по оптическим характеристикам. Проведена оценка точности предложенным способом в сравнении с калиброванным вихретоковым толщиномером. Получено семейство тарировочных кривых и построены гистограммы распределения ошибок измерений, подтверждающие гипотезу о нормальном распределении ошибок по критерию χ^2 Пирсона. Определена величина относительной погрешности измерения для каждого метода. Показана возможность косвенного измерения толщины покрытия без прерывания процесса с погрешностью ± 5 мкм, что практически требуется в настоящее время при изготовлении ответственных деталей машиностроения.

В пятой главе предложена информационно-измерительная система контроля процесса плазменно-электролитического оксидирования с новым контуром обратной связи, который обеспечивает косвенное измерение толщины покрытия. Предложено два исполнения блока измерения. Первый основан на измерении, фильтрации и усреднении напряжения на электролизере, а второй – на основе обработки данных с оптического спектрометра, в ходе которой вычисляется отношение спектральных линий компонента электролита и подложки в логарифмическом масштабе. Показаны разработанные и изготовленные элементы аппаратного обеспечения измерительной системы и системы управления источниками питания, модифицировано программное обеспечение установки для реализации предложенных способов. Приведены результаты внедрения элементов измерительной системы в серийное производство деталей вертолетной техники на АО «Кумертауское авиационное производственное предприятие».

Новизна полученных результатов

Автором экспериментально выявлены и формализованы в виде феноменологической модели взаимосвязи роста толщины покрытия с изменением формы импульсов на электролизере и с изменением интенсивности линий оптического излучения. Предложены способы косвенного измерения толщины покрытия, основанные на применении среднего значения напряжения и отношения спектральных линий компонента электролита и подложки в логарифмическом масштабе. Также

разработана методика моделирования распределения плотности тока по поверхности детали с учетом нелинейной вольтамперной характеристики процесса, что дает возможность оценки точности измерения толщины покрытия на деталях сложной формы. На основе выявленных закономерностей предложена структура информационно-измерительной системы, включающая новый контур обратной связи для косвенного измерения толщины покрытия без вмешательства в ход процесса.

Степень достоверности результатов исследования;

Достоверность полученных результатов подтверждается корректным применением законов и подходов из разделов материаловедения, электротехники, оптики, статистики и информационно-измерительной техники, а также достаточным объемом публикаций по теме исследований. Результаты работы Горбаткова М.В. отражены в 43 печатных работах, в том числе 4 – в рецензируемых журналах из перечня ВАК, 2 – в изданиях, индексируемых Scopus. Автором получено 3 патента на изобретения, 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. Основные выводы диссертационной работы обсуждались на 20 международных и всероссийских научно-практических конференциях, в том числе в ФГБОУ ВО «МАИ (НИУ)».

Теоретическая и практическая значимость результатов, полученных автором диссертации

Теоретическая и практическая значимость результатов работы Горбаткова М.В. заключается в разработанных программных и аппаратных средствах, которые внедрены в серийное производство и могут использоваться в дальнейших исследованиях косвенных методов измерения.

К ним также относятся:

1) Установленные механизмы связи электрических и оптических характеристик с толщиной покрытия, которые дополняют теорию плазменно-электролитических процессов.

1) Возможность косвенного измерения толщины покрытия без прерывания процесса с погрешностью ± 5 мкм, достаточной для практического применения, которая позволяет снижать число бракованных деталей, имеющих избыточную или недостаточную толщину покрытия, что подтверждено актом внедрения в серийное производство.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Разработанные программные и аппаратные средства могут быть использованы на различных этапах проектирования электролизеров для обработки деталей со сложной конфигурацией поверхности, при первичном внедрении или модернизации существующих информационно-измерительных систем на производстве, что позволяет ввести своевременный контроль качества формируемых покрытий и снижать производственные затраты.

Замечания по диссертационной работе;

1) В диссертационной работе приведены результаты экспериментального исследования методики только на алюминиевых образцах. Не показана возможность использования предлагаемых способов измерения толщины слоя на иных металлах и сплавах? В частности, на титане?
2) Среди других в работе предлагается способ контроля толщины, основанный на измерении интенсивности оптического излучения в жидкости. Не показано влияние газовыделения и замутнения электролита продуктами реакции на работу системы?
3) Экспериментальные исследования в работе ограничены напряжением 600 В и соответствующими ему толщинами конверсионного покрытия. Не показана возможность расширения диапазона измерений.

Заключение

Отмеченные замечания не являются определяющими при общей положительной оценке диссертационной работы. Диссертация Горбаткова М.В. «Информационно-измерительная система контроля толщины покрытия в ходе процесса плазменно-электролитического оксидирования», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности по специальности 05.11.16 – Информационно-измерительные и управляющие системы (в промышленности и медицине) является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи косвенного определения толщины покрытия без прерывания процесса плазменно-электролитического оксидирования, имеющей существенное значение для развития отечественного приборо- и машиностроения за счет внедрения наукоемких наилучших доступных технологий, что соответствует требованиям п. 9 «Положение о присуждении ученых степеней», а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.16 – Информационно-измерительные и управляющие системы (в промышленности и медицине).

Диссертационная работа, автореферат и отзыв обсуждены на заседании кафедры 307 «Технологии приборостроения» ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», 29.05.2019, протокол №10.

Отзыв составлен:

1) д.т.н., профессором Медведевым Аркадием Максимовичем, профессором кафедры 307 «Технология приборостроения» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»
Докторская диссертация защищена
по специальности 05.13.05 — «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления»

подпись
30.05.19

2) к.т.н., доцентом Ванцовым Сергеем Васильевичем, доцентом кафедры 307 «Технологии приборостроения», Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»
Кандидатская диссертация защищена
по специальности 05.11.14 — «Технология приборостроения»

подпись
30.05.19

Заведующий кафедрой 307
«Технологии приборостроения»
ФГБОУ ВО «Московский авиационный
институт (национальный исследовательский
университет)», к.т.н., доцент Ф.В. Васильев

Адрес организации: 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4
Рабочий телефон: +7-(499)-158-46-48
Адрес эл. почты: kaf307@mai.ru