

**ОПИСАНИЕ  
ИЗОБРЕТЕНИЯ  
К ПАТЕНТУ**  
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ

(19) **ВУ** (11) **21561**

(13) **С1**

(46) **2018.02.28**

(51) МПК

*C 25D 11/04* (2006.01)

*C 25D 17/00* (2006.01)

(54)

**УСТАНОВКА ДЛЯ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО  
ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ОКСИДИРОВАНИЯ**

(21) Номер заявки: а 20140570

(22) 2014.10.28

(43) 2016.06.30

(71) Заявитель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

(72) Авторы: Томило Вячеслав Анатольевич; Соколов Юрий Валентинович; Паршутто Александр Александрович; Паршутто Александр Эрнстович; Хлебцевич Всеволод Алексеевич (ВУ)

(73) Патентообладатель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

(56) ВУ 9520 U, 2013.

ВУ 453 U, 2002.03.30.

RU 87168 U1, 2009.

RU 2147324 C1, 2000.

RU 98195 U1, 2010.

RU 2181392 C1, 2002.

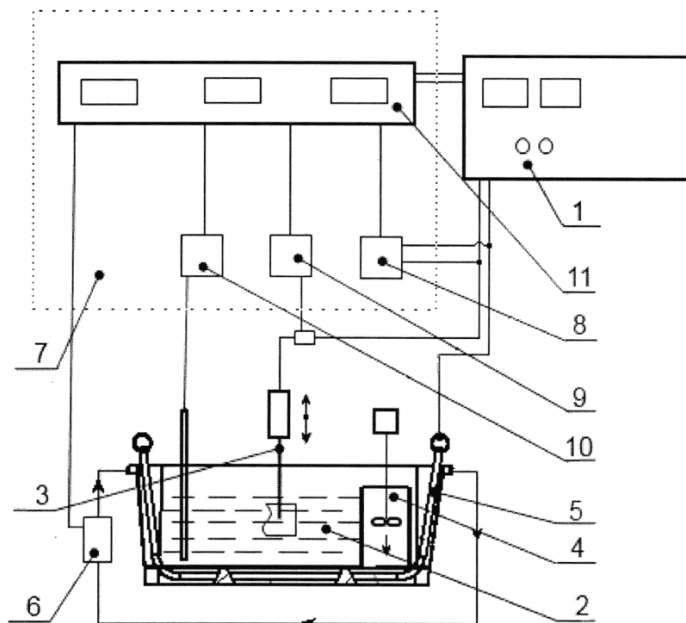
SU 1421813 A1, 1988.

JPH 0849094 A, 1996.

GB 1429832 A, 1976.

(57)

Установка для высоковольтного электрохимического оксидирования, содержащая рабочую ванну с электролитом и теплообменником, держатель обрабатываемой заготовки, электроды, насосную станцию с накопительной емкостью для коррекции скорости прокачки электролита, насос для прокачивания охлаждающей жидкости через теплообменник



Фиг. 1

**ВУ 21561 С1 2018.02.28**

и блок питания в виде источника импульсного постоянного тока для формирования оксидного покрытия анода, **отличающаяся** тем, что содержит блок управления и задания технологических параметров температуры электролита и электрических параметров на обрабатываемой заготовке, причем упомянутый блок питания выполнен в виде тиристорного источника импульсного постоянного тока, а упомянутый блок управления содержит измерительные датчики в виде блока измерения рабочего напряжения между катодом и анодом, блока измерения плотности тока в электролите и блока измерения температуры электролита, а также блок управляющей ЭВМ с интерфейсом для отображения величин измеряемых упомянутыми датчиками параметров, выполненный с возможностью управления углом открывания тиристоров блока питания, рабочей температурой электролита и скоростью его прокачки.

---

Изобретение относится к машиностроению, к технологии электрохимической и электрофизической обработки металлов и оборудованию, преимущественно для оксидирования алюминиевых заготовок методом ВЭО - высоковольтное электрохимическое оксидирование.

Известно вакуумно-дуговое устройство для нанесения покрытия в вакууме, содержащее испаритель со средством для распределения плазменного потока на поверхности подложки [1].

Недостаток устройства состоит в ограничении габаритов изделий и заготовок и в том, что его конструкция не обеспечивает равномерности получения покрытия на поверхностях сложной геометрии.

Важным направлением в современной технологии электрохимического нанесения покрытий являются машины и технология для анодирования материалов.

Известна установка для анодирования, электрохимического нанесения защитных покрытий на поверхности металлических изделий и заготовок, содержащая источник питания, ванну - катод с электролитом, держатель для обрабатываемой заготовки - анода. Анодирование, как правило, применяют для алюминия и его сплавов [2].

При оксидировании алюминиевых заготовок способом ВЭО - высоковольтное электрохимическое оксидирование в щавелевом электролите плотностью тока  $1,5 \text{ А/дм}^2$  и временем обработки 40 мин, толщина оксидной пленки составляет  $40 \pm 1 \text{ мкм}$ . Толщина плотного оксида (барьерный слой)  $5 \text{ мкм}$ , толщина пористого слоя  $35 \text{ мкм}$ .

Способ позволил получить пленки стабильного аморфного оксида алюминия при напряжениях свыше 500 В, скорость роста пленки оксида при этом составила 1-1,5 мкм/мин, рабочая температура до  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Повышенное напряжение формирования оксидной пленки приводит к уменьшению размера и числа пор в покрытии при коэффициенте теплопроводности оксида до  $3,4 \text{ Вт/м}^\circ\text{К}$ , а общей теплопроводности заготовки  $120 \text{ Вт/м}^\circ\text{К}$ . Шероховатость образцов алюминия сплава 5052 после химической полировки и анодирования  $R_a = 0,433 \text{ мкм}$ , микротвердость  $6,5-7,5 \text{ ГПа}$  [3].

Недостаток известной установки проявляется в ограничении технологических возможностей для производства изделий преимущественно на основе алюминия и низкой экологии вследствие значительного выпара электролита в атмосферу.

Более прогрессивной известна технология электрохимического нанесения покрытий на листовые и пластинчатые металлические заготовки.

Отличительной особенностью химических покрытий является высокая равномерность их осаждения по всей поверхности. Благодаря низкой пористости такие покрытия обладают высокой защитной способностью, что имеет важное значение при их эксплуатации. Так, например, никелевое покрытие с успехом применяют для защиты от коррозии энергетического оборудования, работающего при температуре  $600-6500 \text{ }^\circ\text{C}$  в газовой среде, для покрытия магниевых и титановых деталей вертолетных роторов, а также алюминиевых зеркал, используемых на спутниках в условиях космоса. Оно применяется для защиты от коррозии хирургических инструментов и деталей часов [4].

Важным направлением в современной технологии электрохимического нанесения покрытий являются машины и устройства для электролитно-плазменной обработки материалов.

Технология электрохимического нанесения покрытий на листовые и пластинчатые металлические заготовки является разновидностью электролитно-разрядной обработки материалов. При этом в электролите, вблизи поверхности обрабатываемого изделия образуется парогазовая оболочка, отесняющая электролит от изделия.

Известно устройство для электрохимического нанесения защитных покрытий, преимущественно на листовые и пластинчатые металлические заготовки, содержащее технологическую ванну с электролитом, держатель для обрабатываемой заготовки, источник питания постоянного тока для формирования катода и анода, насосную станцию с накопительной емкостью коррекции электролита для подачи электролита [5].

Известная установка позволяет осуществлять одновременную обработку крупной серии изделий. Недостатком известного решения является невозможность получения стабильности параметров оксида (толщина, микротвердость, пробойного напряжения и т.п.) вследствие отсутствия адаптивной системы управления режимами обработки.

Ближайшим техническим решением, принятым за прототип, является установка для высоковольтного оксидирования изделий из алюминия и алюминиевых сплавов, включающая ванну с электролитом, катод, токоподводы к обрабатываемому изделию и катодам, средства перемещения изделия, прокачки электролита и его охлаждения. Ванна выполнена в форме многогранной призмы, на стенках которой смонтирован по меньшей мере один катод, а дно выполнено в виде камеры для прокачки электролита, внутри которой размещены трубчатые элементы теплообменника, которые гидравлически связаны с трубчатыми элементами напорного и сливного коллекторов, расположены оппозитно над зеркалом ванны с электролитом, при этом внутри ванны смонтирован насос прокачки, гидравлически связанный с камерой для прокачки электролита [6].

Недостаток известного технического решения проявляется в том, что при одновременном погружении всех изделий возникает высокая токовая нагрузка, что сужает технологические возможности в отношении производительности и отражается на стабильности качества обработки изделий и экологии.

В основу изобретения поставлена задача получения заданных свойств алюмооксидной керамики, формируемой на изделии из алюминия в реальном масштабе времени в зависимости изменения напряжения от катодной плотности тока в процессе оксидирования.

Решаемая задача достигается тем, что установка для высоковольтного электрохимического оксидирования, содержащая рабочую ванну с электролитом и теплообменником, держатель обрабатываемой заготовки, электроды, насосную станцию с накопительной емкостью для коррекции скорости прокачки электролита, насос для прокачивания охлаждающей жидкости через теплообменник и блок питания в виде источника импульсного постоянного тока для формирования оксидного покрытия анода, согласно изобретению, содержит блок управления и задания технологических параметров температуры электролита и электрических параметров на обрабатываемой заготовке, причем упомянутый блок питания выполнен в виде тиристорного источника импульсного постоянного тока, а упомянутый блок управления содержит измерительные датчики в виде блока измерения рабочего напряжения между катодом и анодом, блока измерения плотности тока в электролите и блока измерения температуры электролита, а также блок управляющей ЭВМ с интерфейсом для отображения величин измеряемых упомянутыми датчиками параметров, выполненный с возможностью управления углом открывания тириستоров блока питания рабочей температурой электролита и скоростью его прокачки.

Совокупность существенных признаков изобретения обладает новизной и неочевидностью и, следовательно, отвечает критерию "изобретательский уровень". Промышленный макет изобретения проходит опытную апробацию и, следовательно, соответствует критерию "промышленная применимость".

# BY 21561 C1 2018.02.28

Технический результат установки для высоковольтного электрохимического оксидирования электрохимического оксидирования характеризуется управлением процессом оксидирования в реальном масштабе времени.

Для лучшего понимания изобретения рассмотрим конкретный пример его исполнения со ссылками на фигуры, где

фиг. 1 - общий вид установки для высоковольтного электрохимического оксидирования;

фиг. 2 - график зависимости изменения среднего напряжения с течением времени от плотности тока процесса.

Установка для высоковольтного электрохимического оксидирования содержит тиристорный источник 1 импульсного постоянного тока для формирования оксидного покрытия на аноде, рабочую ванну с электролитом 2, держатель 3 для обрабатываемой заготовки или изделия, насосную станцию 4 с накопительной емкостью для коррекции скорости прокачки электролита 2, теплообменник 5 и насос 6 для прокачивания охлаждающей жидкости. Установка снабжена блоком 7 управления задания технологических параметров температуры электролита 2 и электрических параметров на обрабатываемом изделии.

Блок 7 управления содержит систему электрически связанных между собой измерительных датчиков, включающих блоки 8 измерения-управления рабочим напряжением, блоки 9 измерения-управления плотностью тока, блоки 10 измерения-управления температурой электролита 2, и тиристорный источник 1 питания импульсного постоянного тока, блок 11 управляющей ЭВМ с интерфейсом, отображающим параметры напряжения, тока, температуры, и регулирующим угол открывания тиристоров в тиристорном источнике 1 импульсного постоянного тока, а также регулирующим рабочую температуру электролита 2 и скорость прокачки насосом 6 охлаждающей жидкости через теплообменник 5.

Установка для высоковольтного оксидирования изделий, например, из алюминия и алюминиевых сплавов работает следующим образом. Держатель 3 с обрабатываемой заготовкой или изделием посредством автономного привода перемещения загружают в ванну с электролитом 2. Посредством токоподводов, на фигурах условно не указаны, к обрабатываемому в держателе 3 изделию-заготовке и катодам подают технологическое импульсное напряжение 200-515 В с длительностью импульсов 1,0-3,3 мс в зависимости от параметров покрытия (толщина, твердость и т.п.). Важнейшим технологическим параметром процесса оксидирования является стабильность температуры электролита 2. Для получения оксидных слоев с твердостью 600HV необходимо соблюдать следующие режимы:

температура 10 °С;

плотность тока 1 А/дм<sup>2</sup>;

время процесса 0,65 ч.

В процессе обработки в электролите 2 выделяется джоулево тепло, приводящее к нагреву электролита 2 и изменению параметров покрытия на изделии. Для охлаждения электролита 2 в ванне технологический модуль установки оснащен насосом 6 для прокачивания охлаждающей жидкости для охлаждения электролита 2 через теплообменник 5. Для повышения эффективности работы теплообменника 5 и гарантированной выдержки технологического температурного интервала электролита 2 дно ванны выполнено в виде теплообменной камеры 12 для изменения скорости прокачки насосом 6 охлаждающей жидкости. Внутри теплообменной камеры 12 размещены трубчатые элементы теплообменника 5, которые гидравлически связаны с трубчатыми элементами напорного и сливного коллекторов, расположенных оппозитно над зеркалом ванны с электролитом 2. При этом насос 6 гидравлически связан с теплообменной камерой 12 для прокачки охлаждающей жидкости.

Очень важно при оксидировании алюминия и его сплавов постоянно контролировать температуру и состав электролита 2. При уменьшении концентрации электролита 2 для оксидирования пленки получаются тонкие, а при увеличении и высокой температуре раствора имеют рыхлую структуру.

## BY 21561 C1 2018.02.28

Для выравнивания технологически заданного теплового поля электролита 2 в рабочей зоне вокруг изделия устройство снабжено блоком 11 управляющей ЭВМ, который содержит систему электрически связанных между собой измерительных датчиков, включающих блоки 8 измерения-управления рабочего напряжения, блоки 9 измерения-управления плотностью тока, блоки 10 измерения-управления температурой электролита 2. Блок 11 управляющей ЭВМ с интерфейсом отображает параметры напряжения, тока, температуры и регулирует угол открывания тиристоров в тиристорном источнике 1 питания импульсного постоянного тока, а также рабочую температуру электролита 2.

В процессе работы установки параметры технологического процесса оксидирования блок 11 управляющей ЭВМ выводят на монитор управляющей ЭВМ в виде по фиг. 2 графиков вольт-амперных характеристик с течением времени процесса в сравнении с графиками тестобразцов. В случае отклонения текущих параметров температуры электролита 2 и заданных технологических параметров процесса блок 11 управляющей ЭВМ посредством включения-отключения насоса 6 для прокачки охлаждающей жидкости регулирует заданные технологические параметры температуры электролита 2.

Насос 6 прокачки электролита 2 напорным коллектором обеспечивает закольцованное движение охлаждающей жидкости по пути: камера 12 - ванны с электролитом 2 - рабочая зона у поверхности изделия.

Насос 6 прокачки охлаждающей жидкости при избыточной температуре электролита 2 в зеркальной его части противотоком теплоносителя в теплообменнике 5 термостатирует рабочую температуру в ванне с электролитом 2.

Проведенные эксперименты подтверждают эффективность новой конструкции технологической установки для формирования защитного покрытия в среде электролита, характеризующейся высоким значением коэффициента использования загрузки оборудования и удельной мощности на обрабатываемой одновременно площади изделий в связи с управляемым распределением давления парогазовой фазы в приповерхностной зоне обрабатываемого изделия в растворе электролита.

### **Пример.**

В качестве примера рассматривается процесс формирования алюмооксидной керамики на установке высоковольтного электрохимического оксидирования.

Для получения оксидных слоев с твердостью 600HV необходимо соблюдать следующие режимы:

- температура 10 °С;
- плотность тока 1 А/дм<sup>2</sup>;
- время процесса 0,65 ч.

В процессе обработки при прохождении тока через электролит при катодных и анодных реакциях происходит выделение тепла, что приводит к нарушению технологических режимов, вследствие чего повышается вероятность брака. Для предотвращения возможности нарушения технологии рекомендуется использовать разработанный комплекс, который позволяет контролировать температуру и регулировать ее с помощью вспомогательного оборудования.

Непосредственный контроль по фиг. 2 - графику зависимости изменения среднего напряжения с течением времени от плотности тока процесса - позволяет изменять токовые режимы и возможности последующей обработки информации, что позволяет определить состояние токоподводов и контакт с изделием и избежать брака до возникновения прожогов, отклонения от заданных характеристик алюмооксидных слоев, снизить вероятность брака на этапе высоковольтного электрохимического оксидирования.

Установка автоматического управления процессом высоковольтного электрохимического оксидирования позволяет:

обеспечить требуемое качество алюмооксидной керамики после процесса оксидирования;

## BY 21561 C1 2018.02.28

при необходимости провести корректировку процесса оксидирования или в случае плохой подготовки поверхности изделия предпринять повторную обработку; снизить брак в производстве.

На графике фиг. 2 представлена зависимость изменения напряжения с течением времени от плотности тока процесса. Для получения определенных свойств алюмооксидной керамики формируемой на изделии из алюминия соответствуют технологические режимы.

Разработанный комплекс позволяет фиксировать и следить за процессом в реальном времени. На графике каждая кривая соответствует определенному технологическому режиму. Режимы 1 и 2 позволят получать алюмооксидную керамику с высокими электроизоляционными свойствами, однако физико-механические свойства ниже, чем при режимах 3 и 4.

Рассеивающая способность используемых электролитов высокая, что позволяет получать покрытия даже на сложнорельефных деталях.

Оксидные пленки на алюминии, полученные методом ВЭО, состоят из двух слоев: первый слой, на границе с металлом, беспористый барьерный толщиной от 0,01 до 0,1 мкм; второй слой пористый и достаточно толстый (от 1 мкм до нескольких сотен мкм). Рост окисного слоя происходит за счет утолщения внешнего слоя.

Высоковольтное оксидирование изделий из алюминия и алюминиевых сплавов - метод получения многофункциональных оксидных слоев. Позволяет наносить слои с высокими защитными, коррозионными, теплостойкими, изоляционными, декоративными свойствами. По внешнему виду покрытие, полученное высоковольтным оксидированием, очень напоминает керамику.

Процесс высоковольтного оксидирования ведется в большинстве случаев в нейтральных электролитах при подаче импульсного тока. Перед нанесением покрытия не требуется особой подготовки поверхности. Особенностью процесса является то, что используемая энергия от электрических импульсов не приводит к микроарядам в пароплазменной фазе, которые значительно повышают энергоемкость термического воздействия. Оксидный слой приблизительно на 70 % формируется вглубь основного металла. Только 30 % покрытия находится полностью снаружи изделия.

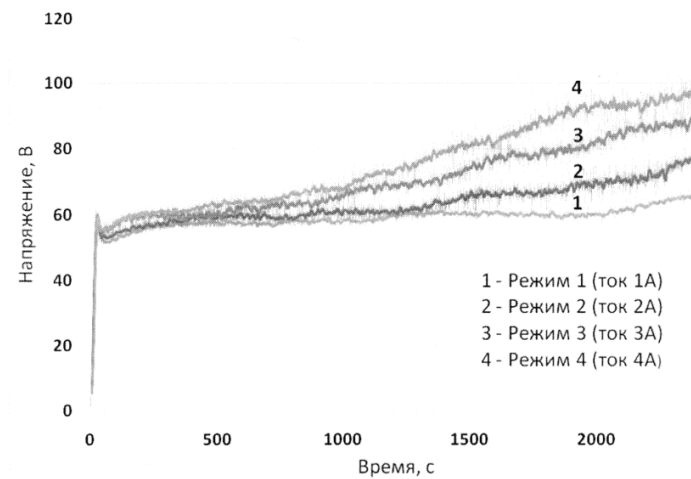
Толщина покрытий, полученных высоковольтным способом, составляет около 200-250 мкм (достаточно толстое). Температура электролита может колебаться от 5 до 40 °С, и это не оказывает на процесс особого влияния. Применяемые электролиты не оказывают вредного влияния на окружающую среду, и их срок службы очень долгий. Оборудование - компактное, не занимает много места и просто в эксплуатации.

Установка с наибольшим успехом может быть использована для финишных операций обработки наружной поверхности металлических изделий и применена в различных областях хозяйственной деятельности. Промышленное освоение устройства подготовлено в условиях НАН Беларуси и БНТУ.

Источники информации:

1. RU 94026110, МПК С 23С 14/24, 1997.
2. Энциклопедический словарь по металлургии. - М.: Интермет Инжиниринг. - Т. 1, 2000. - С. 31-32.
3. Печатные платы. - Вып. - № 3/2007. - С. 22-25 С.
4. Кузнецов А.М. Электрохимия. - 1991. - Т. 27. - С. 1516-1521.
5. SU 1715892, МПК С 25F 7/00, 1992.
6. BY 9520 U, МПК С 25F 7/00, 2013.

# BY 21561 C1 2018.02.28



Фиг. 2