

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) ВУ (11) 23061

(13) С1

(46) 2020.06.30

(51) МПК

C 25D 11/02 (2006.01)

C 25D 21/12 (2006.01)

(54)

УСТРОЙСТВО И СПОСОБ ДЛЯ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ОБРАЗЦА

(21) Номер заявки: а 20180503

(22) 2018.12.10

(71) Заявитель: Государственное научное учреждение "Объединенный институт машиностроения Национальной академии наук Беларуси" (ВУ)

(72) Авторы: Комаров Александр Иванович; Витязь Петр Александрович; Полонецкий Евгений Яковлевич; Долгих Сергей Алексеевич; Золотая Полина Сергеевна (ВУ)

(73) Патентообладатель: Государственное научное учреждение "Объединенный институт машиностроения Национальной академии наук Беларуси" (ВУ)

(56) RU 2070947 C1, 1996.

ВУ 11625 C1, 2009.

RU 2395631 C2, 2010.

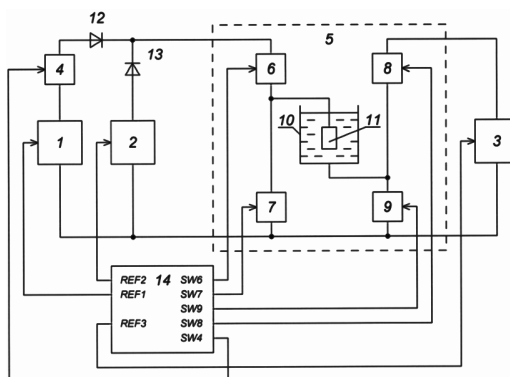
RU 2422560 C1, 2011.

SU 1200591 A, 1989.

WO 2012/107754 A2.

(57)

1. Устройство для микродугового оксидирования металлического образца, содержащее ванну для электролита; первый, второй и третий модули питания; формирователь пачек импульсов положительной полярности, соединенный с первым модулем питания; мостовой формирователь импульсов положительной и отрицательной полярности, содержащий четыре электронных ключа, образующих два плеча, имеющий возможность подключения средней точки одного плеча к металлическому образцу и средней точки другого плеча к ванне для электролита и соединенный со вторым и третьим модулями питания, при этом формирователь пачек импульсов положительной полярности соединен с мостовым формирователем импульсов положительной и отрицательной полярности с возможностью наложения на импульсы положительной полярности пачек импульсов положительной полярности; развязывающие диоды для обеспечения развязки электрических цепей формирователя пачек импульсов положительной полярности и второго модуля питания; контроллер управления, соединенный с первым, вторым и третьим модулями питания, формирователем пачек импульсов положительной полярности и мостовым формирователем импульсов положительной и отрицательной полярности с возможностью независимой друг от друга установки параметров импульсов положительной и отрицательной полярности.



2. Способ микродугового оксидирования металлического образца в устройстве по п. 1, при котором на металлический образец, помещенный в ванну с электролитом, воздействуют чередующимися импульсами положительной полярности сложной формы и импульсами отрицательной полярности, при этом импульсы положительной полярности сложной формы получают наложением на импульсы положительной полярности пачек импульсов положительной полярности, причем импульсы положительной полярности с амплитудой от 100 до 500 В, частотой следования от 0,05 до 0,5 кГц и длительностью импульса от 1 до 10 мс вырабатывают посредством формирователя импульсов положительной и отрицательной полярности, а пачки импульсов положительной полярности с амплитудой от 600 до 1000 В, частотой следования импульсов в пачке от 1 до 10 кГц и длительностью пачки, равной длительности импульса положительной полярности, на которые их налагают, вырабатывают посредством формирователя пачек импульсов положительной полярности, а импульсы отрицательной полярности с амплитудой от 100 до 1000 В, частотой следования от 0,05 до 0,5 кГц и длительностью импульса от 1 до 10 мс вырабатывают посредством формирователя импульсов положительной и отрицательной полярности, причем параметры импульсов положительной и отрицательной полярности задают посредством контроллера управления независимо друг от друга.

Изобретение относится к электрохимической обработке металлов и сплавов и может быть использовано в машиностроении, нефте- и газодобывающей, химической, легкой, медицинской, электронной промышленности при формировании покрытий с заданными специальными физико-механическими свойствами.

Известен способ микродугового анодирования в щелочном электролите импульсами напряжения амплитудой 100-1000 В с частотой следования импульсов 1-10 кГц, при этом импульсы имеют двухступенчатую форму, а соотношение амплитуд напряжений первой и второй ступеней 1:(8-12), причем длительность импульса на первой ступени 1-3 мкс, на второй 10-20 мкс [1]. Недостатком известного способа является то, что обработка ведется импульсами напряжения только положительной полярности, тогда как при импульсах отрицательной полярности (относительно обрабатываемой детали) температура микродуговых разрядов значительно выше, что позволяет формировать керамическую пленку более плотной. Более плотная пленка имеет повышенные физико-механические характеристики и износостойкость. Кроме того, форма импульса в известном способе не обеспечивает инициирования микродугового режима в дефектных местах покрытия, что отражается на качестве покрытия.

Известен способ микродугового оксидирования [2], включающий помещение обрабатываемой токопроводящей детали в гальваническую ванну, наполненную электролитом, и прикладывание переменного электрического напряжения к обрабатываемой детали и гальванической ванне из условия поочередного выполнения функции катода и анода и поочередного протекания между ними анодного и катодного токов с образованием на поверхности обрабатываемой детали оксидного покрытия, при этом после момента естественного скачкообразного снижения величины переменного электрического напряжения его продолжают прикладывать таким образом, чтобы $I_{A1}/I_{K1} < I_{A2}/I_{K2} < 1$, где I_{A1} - анодный ток до скачкообразного снижения напряжения, I_{K1} - катодный ток до скачкообразного снижения напряжения, I_{A2} - анодный ток после скачкообразного снижения напряжения, I_{K2} - катодный ток после скачкообразного снижения напряжения. Недостатками известного способа являются низкая производительность и низкая автоматизация процесса.

Наиболее близкими к предлагаемому изобретению являются способ микродугового оксидирования металлических изделий и устройство для его осуществления [3]. Устройство для осуществления данного способа содержит ванну для электролита, источник питания с электронными ключами и инвертором. Источник питания устройства снабжен

двумя регулируемые выпрямителями соответственно низкого и высокого напряжений, дополнительным электронным ключом и блоками управления электронных ключей инвертора и дополнительного электронного ключа, при этом регулируемые выпрямители включены параллельно друг другу и в одну из диагоналей последовательно-параллельно инвертора, собранного на электронных ключах, в другую диагональ которого включена ванна для электролита, а дополнительный электронный ключ включен последовательно в цепь между выпрямителями. Согласно изобретению, в качестве электронных ключей инвертора могут быть использованы мощные силовые транзисторы, а в качестве дополнительного электронного ключа - высокочастотный тиристор.

Способ микродугового анодно-катодного оксидирования металлических изделий с помощью предлагаемого устройства включает обработку изделий в щелочном электролите импульсами напряжения амплитудой 100-1000 В и частотой 1-10 кГц, при этом на обрабатываемое изделие накладываются чередующиеся положительные и отрицательные импульсы напряжения низкой частоты 0,05-1 кГц с амплитудой 100-500 В и длительностью 0,001-0,01 с, а в каждый из анодных полупериодов дополнительно накладываются высокочастотные положительные импульсы с амплитудой 600-1000 В, частотой 1-10 кГц и длительностью 0,1-1 мкс. Недостатком известного устройства и реализуемого с его использованием способа является отсутствие возможности независимого управления амплитудой отрицательных импульсов напряжения, так как питание электронных ключей последовательно-параллельного инвертора, вырабатывающих положительные импульсы напряжения, и питание электронных ключей последовательно-параллельного инвертора, вырабатывающих отрицательные импульсы напряжения, осуществляется от одного и того же регулируемого выпрямителя. Отсутствие независимого управления амплитудой отрицательных импульсов напряжения означает отсутствие независимого управления током катодного полупериода процесса и, таким образом, существенно ограничивает возможность воздействия на структуру и свойства получаемых покрытий, в частности пористость, что особенно важно для создания композиционных покрытий.

Задачей настоящего изобретения является расширение функциональных возможностей устройства и способа за счет управления структурообразованием покрытий и их физико-механическими характеристиками.

Решение задачи достигается в устройстве, содержащем ванну для электролита; первый, второй и третий модули питания; формирователь пачек импульсов положительной полярности, соединенный с первым модулем питания; мостовой формирователь импульсов положительной и отрицательной полярности, содержащий четыре электронных ключа, образующих два плеча, имеющий возможность подключения средней точки одного плеча к металлическому образцу и средней точки другого плеча к ванне для электролита и соединенный со вторым и третьим модулями питания, при этом формирователь пачек импульсов положительной полярности соединен с мостовым формирователем импульсов положительной и отрицательной полярности с возможностью наложения на импульсы положительной полярности пачек импульсов положительной полярности; развязывающие диоды для обеспечения развязки электрических цепей формирователя пачек импульсов положительной полярности и второго модуля питания; контроллер управления, соединенный с первым, вторым и третьим модулями питания, формирователем пачек импульсов положительной полярности и мостовым формирователем импульсов положительной и отрицательной полярности с возможностью независимой друг от друга установки параметров импульсов положительной и отрицательной полярности.

Согласно заявленному способу, микродуговое оксидирование металлического образца осуществляется под воздействием чередующихся импульсов положительной полярности сложной формы и импульсов отрицательной полярности, при этом импульсы положительной полярности сложной формы получают наложением на импульсы положительной полярности пачек импульсов положительной полярности, причем импульсы положитель-

ной полярности с амплитудой от 100 до 500 В, частотой следования от 0,05 до 0,5 кГц и длительностью импульса от 1 до 10 мс вырабатывают посредством формирователя импульсов положительной и отрицательной полярности, а пачки импульсов положительной полярности с амплитудой от 600 до 1000 В, частотой следования импульсов в пачке от 1 до 10 кГц и длительностью пачки, равной длительности импульса положительной полярности, на которые их налагают, вырабатывают посредством формирователя пачек импульсов положительной полярности, а импульсы отрицательной полярности с амплитудой от 100 до 1000 В, частотой следования от 0,05 до 0,5 кГц и длительностью импульса от 1 до 10 мс вырабатывают посредством формирователя импульсов положительной и отрицательной полярности, причем параметры импульсов положительной полярности задают посредством контроллера управления независимо друг от друга.

Заявляемое устройство и способ обеспечивают необходимые условия и режимы формирования покрытий с широким диапазоном заданных характеристик на металлах и сплавах вентильного типа.

Дополнительное наложение на чередующиеся низкочастотные анодные импульсы более высоких по амплитуде высокочастотных импульсов обеспечивает более легкий пробой оксидной пленки за счет повышенного напряжения в этот полупериод, что создает благоприятные условия для формирования микроплазменных разрядов. За счет того что высокочастотные импульсы имеют большую амплитуду напряжения, но меньшую мощность, чем низкочастотные импульсы, уменьшается вероятность перехода процесса в дуговую стадию, что снижает дефектность покрытия, повышает его однородность и плотность.

Импульсы отрицательной полярности играют важную роль в процессе микродугового оксидирования. Под воздействием катодной составляющей напряжения создаются условия для эффективного развития основного, формирующего покрытие анодного разряда за счет снижения проводимости оксида и образования водорода в разрядном канале. Ионизация водорода инициирует развитие микродугового разряда; водород также способствует повышению температуры плазмы, облегчает переход гидрокомплексов до гидроксидов и далее до оксидов. При участии катодной составляющей тока в покрытии формируются рентгеноаморфные оксидно-гидроксидные образования из бемитных, байеритных или гидраргилитных звеньев, которые служат "затравкой" для начала $\gamma \rightarrow \alpha$ фазового перехода. Таким образом, фаза катодной поляризации не только облегчает последующую фазу анодного оксидирования, но и вносит свой вклад в процессы роста оксидного слоя. Учитывая существенную роль катодной составляющей в процессе микродугового оксидирования, независимая от анодных импульсов установка параметров катодных импульсов позволит в более широких пределах управлять структурой и свойствами получаемых покрытий. При амплитуде импульсов отрицательной полярности ниже 100 В снижается эффективность воздействия катодной составляющей на процесс микродугового оксидирования. При амплитуде выше 1000 В в результате чрезмерного разогрева канала микроплазменного разряда повышается вероятность перехода процесса в дуговую стадию, что приведет к снижению защитных свойств покрытия вследствие появления сквозной пористости.

Выбранные параметры импульсов отрицательной полярности являются рациональными. В диапазоне частот повторения импульсов отрицательной полярности 0,05-0,5 кГц обеспечивается оптимальное соотношение между анодной и катодной составляющими формирующего напряжения. При выходе за границы указанного диапазона будут ухудшаться характеристики покрытий (снижаться толщина и/или микротвердость). Длительность импульсов отрицательной полярности менее 1 мс и более 10 мс приведет к снижению характеристик (толщины и/или микротвердости) формируемых покрытий. Структурная схема устройства для осуществления способа приведена на фигуре.

Устройство содержит ванну с электролитом 10, в которую помещают обрабатываемый образец 11, модули питания 1-3, формирователь пачек импульсов положительной полярности

4, мостовой формирователь импульсов положительной и отрицательной полярности 5, электронные ключи 6-9, развязывающие диоды 12, 13 и контроллер управления 14.

Функционирование устройства рассмотрено в примере 1.

Пример 1.

Обрабатываемый образец из сплава Д16 погружают в ванну с электролитом 10, состоящим из 2 г/л КОН и 4 г/л жидкого натриевого стекла, на дистиллированной воде и подключают к средней точке плеча мостового формирователя импульсов положительной и отрицательной полярности 5, образованного электронными ключами 6 и 7. Ванну с электролитом 10 подключают к средней точке другого плеча мостового формирователя импульсов положительной и отрицательной полярности 5, образованного электронными ключами 8 и 9. Модули питания 1-3 вырабатывают напряжения заданных уровней в соответствии с поступающими на них управляющими сигналами опорных напряжений REF1-REF3, вырабатываемыми контроллером управления 14. Формирование импульсов положительной полярности сложной формы осуществляется формирователем пачек импульсов положительной полярности 4 при разомкнутых электронных ключах 7 и 8 мостового формирователя импульсов положительной и отрицательной полярности 5 в соответствии с управляющими сигналами SW4, SW6, SW9, вырабатываемыми контроллером управления 14, а формирование импульсов отрицательной полярности осуществляется при разомкнутых электронных ключах 6 и 9 мостового формирователя импульсов положительной и отрицательной полярности 5 в соответствии с управляющими сигналами SW7, SW8, вырабатываемыми контроллером управления 14. Развязывающие диоды 12, 13 обеспечивают развязку электрических цепей формирователя пачек импульсов положительной полярности 4 и модуля питания 2.

Контроллер управления 14 обеспечивает функционирование устройства в соответствии с установками, осуществляемыми с помощью программного обеспечения, установленного на компьютере оператора. В представленном примере на образец подают чередующиеся положительные и отрицательные импульсы низкой частоты с амплитудой положительных и отрицательных импульсов 450 и 400 В соответственно и частотой 500 Гц, длительностью положительных импульсов 0,002 с и длительностью отрицательных импульсов 0,04 с. В каждый анодный полупериод дополнительно накладываются высокочастотные импульсы напряжением 800 В, частотой 2 кГц. Процесс осуществляют при плотности тока 10 А/дм². Продолжительность процесса формирования покрытия составляет 60 мин. Температуру электролита поддерживают в интервале 30-35 °С.

Пример 2.

Подключение и обработку образца осуществляют в последовательности и по алгоритму, аналогичным примеру 1. В ванну с электролитом на дистиллированной воде, состоящим из 2 г/л КОН и 4 г/л жидкого натриевого стекла, опускают образец из алюминиевого сплава Д16 и включают источник питания. На образец подают чередующиеся положительные и отрицательные импульсы низкой частоты с амплитудой положительных и отрицательных импульсов 300 и 800 В соответственно и частотой 200 Гц, длительностью положительных импульсов 0,004 с и длительностью отрицательных импульсов 0,007 с. В каждый анодный полупериод дополнительно накладываются высокочастотные импульсы напряжением 600 В, частотой 5 кГц. Процесс осуществляют при плотности тока 10 А/дм². Продолжительность процесса формирования покрытия составляет 60 мин, температуру электролита поддерживают в интервале 30-35 °С.

Пример 3.

Подключение и обработку образца осуществляют в последовательности и по алгоритму, аналогичным примеру 1. В ванну с электролитом на дистиллированной воде, состоящим из 2 г/л КОН и 6 г/л жидкого натриевого стекла Na₂SiO₃, опускают образец из алюминиевого сплава АМг6 и включают источник питания. На образец подают чередующиеся положительные и отрицательные импульсы низкой частоты с амплитудой положи-

BY 23061 C1 2020.06.30

тельных и отрицательных импульсов 500 и 500 В соответственно и частотой 800 Гц, длительностью положительных импульсов 0,005 с и длительностью отрицательных импульсов 0,004 с. В каждый анодный полупериод дополнительно накладываются высокочастотные импульсы напряжением 900 В, частотой 5 кГц. Процесс осуществляют при плотности тока 10 А/дм². Продолжительность процесса формирования покрытия составляет 60 мин. Температуру электролита поддерживают в интервале 30-35 °С.

Толщина сформированных покрытий измерялась с помощью многофункционального прибора измерения геометрических параметров "Константа К5". Микротвердость определялась микротвердомером ПМТ-3. Пористость покрытий определялась методами сканирующей электронной микроскопии на поперечном шлифе по контрасту электронного изображения на приборе VEGA II TESCAN (Чехия).

Условия формирования и характеристики покрытий, полученных по указанным примерам, представлены в таблице.

Параметры	Пример и значения параметров		
	1	2	3
Материал образца	Д16	Д16	АМгб
Напряжение низкочастотных импульсов, В:			
анодное	450	300	500
катодное	400	800	500
Частота импульсов, Гц	500	200	800
Длительность импульсов, с:			
положительных	0,002	0,004	0,005
отрицательных	0,004	0,007	0,004
Напряжение высокочастотных импульсов анодное, В	800	600	900
Частота импульсов, кГц	2	5	5
Продолжительность процесса, мин	60	60	60
Толщина покрытия, мкм	220	190	240
Микротвердость, ГПа	24	22	20
Пористость, %	0,8	3,2	0,6

Как следует из данных таблицы, предлагаемый способ обеспечивает получение покрытий с высокими физико-механическими характеристиками, при этом позволяет управлять их структурными параметрами, в частности пористостью. Это расширяет функциональные возможности покрытий, позволяя создавать на их основе новые композиционные материалы.

Источники информации:

1. Ас СССР 1767043, МПК C25D 11/02, 1992.
2. Патент RU 2389830, МПК C25D 11/02, 2010.
3. Патент RU 2070947, МПК C25D 11/02, C25D 21/12, 1996.