

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **038970**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2021.11.16**

(51) Int. Cl. **B23H 9/00 (2006.01)**  
**B23H 5/00 (2006.01)**

(21) Номер заявки  
**201900060**

(22) Дата подачи заявки  
**2018.12.28**

---

(54) **СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА  
ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО НАНЕСЕНИЯ ТОЛСТОСЛОЙНЫХ КАЧЕСТВЕННЫХ  
ПОКРЫТИЙ**

---

(43) **2020.06.30**

(56) EA-B1-017066  
RU-C2-2567415  
JP-A-2013108163

(96) **2018/EA/0103 (BY) 2018.12.28**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
(BY)**

(72) Изобретатель:  
**Чигринова Наталья Михайловна,  
Ловыгин Сергей Иванович, Власенко  
Олег Григорьевич (BY)**

---

(57) Изобретение относится к области технологии получения функциональных покрытий методом электроискровой обработки и может быть использовано для нанесения восстановительных и защитных износостойких покрытий в машиностроительном и ремонтном производстве. Техническая задача, решаемая изобретением, состоит в разработке способа и устройства для интенсификации процесса нанесения толстослойных покрытий путем совмещения в одном комбинированном цикле операций легирования и оплавления поверхности с ультразвуковой частотой и достигается тем, что для нанесения электроискровых покрытий используется устройство - электродный узел, содержащий электрод для нанесения грубого слоя с частотой вибрации 600 Гц и энергией импульса 4,3 Дж, и охватывающий его цилиндрический полый электрод из материала с высокими теплопроводностью и электроэрозионной стойкостью, предназначенный для оплавления неровностей грубого слоя, с ультразвуковой частотой вибрации 22 кГц и энергией импульса 10 Дж, что обуславливает высокую диспергацию выступов грубого слоя покрытия с перемещением диспергированных частиц во впадины рельефа, обеспечивая возрастание сплошности до 80%, уменьшение продолжительности обработки в 1,3-1,5 раза.

**B1**

**038970**

**038970**

**B1**

Изобретение относится к области электрофизических методов обработки материалов, в частности к технологии получения функциональных покрытий методом электроискрового легирования, и может быть использовано для интенсивного и экономичного нанесения восстановительных и защитных износостойких покрытий в машиностроительном и ремонтном производстве.

Известен способ интенсификации процесса нанесения качественных толстослойных покрытий (до 100-300 мкм и выше) [1], согласно которому для создания условий интенсивного переноса материала анода на катод и прочного сцепления с металлической основой необходимо, чтобы процессы на электродах носили резко ассиметричный характер; в первую очередь асимметрия должна проявляться в распределении температуры вдоль межэлектродного промежутка - частицы металла со стороны катода должны охлаждаться быстрее, чем со стороны анода, и удельное время легирования, обусловленное нелинейным изменением массы образца в процессе ЭИЛ, должно быть таким, чтобы масса катода не уменьшалась, а прирастала, т.е. оптимальное время легирования должно быть меньше удельного времени легирования.

К недостаткам данного метода можно отнести высокую трудоемкость обеспечения оптимального времени легирования, его контроль и невозможность стабильного интенсивного массопереноса материала анода на катод, так как начиная с удельного времени легирования масса образца уменьшается, т.е. привес катода ( $A_k$ ) становится отрицательным. С повышением удельного времени легирования масса образца может принять значение меньше первоначальной. В общем случае линейное увеличение массы образца при изменении  $t$  наблюдается только при  $t < t_x$ . С изменением режимов обработки и особенно материалов электродов и межэлектродных сред зависимость массопереноса от времени обработки  $A_k = f(t)$  может существенно изменяться, что затрудняет возможность аналитического определения оптимального времени легирования.

Это не позволяет гарантировать интенсификацию и надежность процесса формирования толстых покрытий с высокой сплошностью поверхности.

Известен способ электроискрового легирования [2], при котором нанесение покрытий с повышенными толщиной и сплошностью на поверхность детали производят компактным электродом стержневого типа, после чего обработанный участок подвергается поверхностно-пластическому деформированию путем обкатывания шариком. В этом случае потери на трение меньше, меньше степень разрушения слоя нанесенного покрытия и больше возможность формирования заданного микрорельефа упрочняемой поверхности с большей степенью наклепа. При этом авторы подчеркивают, что сглаживание рельефа ППД ведет к увеличению относительной опорной длины профиля, что способствует улучшению прирабатываемости, износостойкости, задиростойкости.

К недостаткам данного способа относится то, что "сглаживающе-деформирующее воздействие шарика в данном случае наряду с пластической деформацией выступов поверхностного слоя будет производить и их разрушение, что обусловит удаление части слоя покрытия и возрастание бесполезной работы и энергии, затрачиваемых на разрушение слоя". Ввиду того, что легирование и последующее выглаживание поверхности производится в 2 перехода, не совмещенных в пространстве и времени, трудоемкость процесса увеличивается, а производительность снижается. Все сказанное обуславливает малую производительность и эффективность метода.

Известен также способ электроискрового легирования металлических поверхностей, при котором нанесение толстослойного качественного покрытия методом ЭИЛ компактными упруго-подвешенными электродами совмещено с последующим пластическим деформированием торцевой поверхностью вращающегося диска [3]. Легирующий электрод при этом имеют общую ось вращения с диском и расположен в его радиальных пазах, на который накладывают ультразвуковые колебания (УЗК), а временное отставание пластического деформирования не превышает времени затвердевания переносимых частиц материала электрода. Это позволяет увеличивать твердость, сплошность, уменьшать шероховатость полученного покрытия, повышать производительность обработки, что позволяет повысить эффективность процесса легирования.

К недостаткам данного способа следует отнести сложность, высокие стоимость и энергоемкость необходимого для его осуществления устройства, содержащего упруго-подвешенные электроды и дисковый деформирующий элемент с торцевой рабочей поверхностью, закрепленный на введенной в устройство ультразвуковой колебательной системе со стержневым концентратором, в осевой ступенчатой плоскости которого размещен с возможностью осевых перемещений электрододержатель, при этом легирующие электроды расположены в радиальных пазах, выполненных в диске, а колебательная система подпружинена в направлении обрабатываемого изделия.

Известен способ обработки поверхностей стальных деталей [4], включающий образование покрытий с чередованием слоев, получаемых электроискровым и неэлектроискровым способами, при котором первый слой наносят способом электроискрового легирования с определенным подбором материалов детали и первого слоя с учетом их коэффициентов теплопроводности, а второй слой наносят электродом, материал которого с предыдущим легированным слоем покрытия образует неограниченные твердые растворы заданного состава, после чего поверхность упрочняют методом электроискрового легирования электродом с образованием дополнительного покрытия.

Недостатками этого способа являются ограничение его применения только для стальных деталей и

также усложнение технологического маршрута, связанного с необходимостью сочетания электроискрового и не электроискрового методов нанесения покрытий. Это вызывает дополнительные временные затраты на формирование покрытий.

Наиболее близким по технической сущности и достигаемому результату к предлагаемому изобретению является способ электроискрового нанесения толстослойных качественных покрытий повышенной сплошности [5], включающий чередование циклов нанесения грубых покрытий с высокой неровностью профиля поверхности и циклов уменьшения высоты этих неровностей до выравнивания профиля поверхности покрытия, с использованием электрода, материал которого создает с материалом основы неограниченные твердые растворы и обладает пониженной склонностью к окислообразованию.

К недостаткам ближайшего аналога (прототипа) можно отнести снижение производительности процесса нанесения покрытий, обусловленное затратой времени на промежуточную операцию по оплавлению вершин неровностей нанесенного слоя.

Техническая задача, решаемая изобретением, состоит в разработке способа интенсификации процесса нанесения толстослойных покрытий и устройства для его осуществления методом электроискрового легирования, позволяющих за счет совмещения в одном комбинированном цикле операций легирования и оплавления поверхности с ультразвуковой частотой получать покрытия с однородным рельефом поверхности и высокой сплошностью с одновременным уменьшением времени и энергоемкости обработки.

Технический результат, получаемый при осуществлении изобретения, заключается в том, что в способе электроискрового нанесения покрытий увеличенной толщины и повышенной сплошности, включающем чередование циклов нанесения грубых покрытий с высокой неровностью профиля поверхности и операций уменьшения высоты этих неровностей до выравнивания профиля поверхности покрытия, для интенсификации процесса нанесения электроискровых покрытий используется устройство электродный узел, содержащий электрод для нанесения грубого функционального слоя с частотой вибрации 600 Гц и энергией импульса 4,3 Дж и охватывающий его цилиндрический полый электрод из материала с высокими теплопроводностью и электроэрозионной стойкостью, предназначенный для оплавления неровностей грубого слоя, обеспечивая тем самым совмещение в одном цикле чередующихся операций нанесения грубого слоя с высокой неровностью профиля и отстающих на 0,1-0,3 с операций уменьшения высоты этих неровностей за счет их оплавления, причем периодическое контактирование "оплавления" электрода с нанесенным грубым слоем покрытия осуществляется с ультразвуковой частотой 22 кГц и энергией импульса 10 Дж, обуславливая высокую диспергацию выступов грубого слоя покрытия с перемещением диспергированных частиц во впадины рельефа, обеспечивая выравнивание покрытия и возрастание его сплошности до 80%, уменьшение продолжительности обработки в 1,3-1,5 раза.

Техническая сущность изобретения поясняется чертежом, где:

На фиг. 1 показано устройство, представляющее собой электродный узел, содержащий электрод 2 для нанесения грубого функционального слоя и охватывающий его цилиндрический полый электрод 3, предназначенный для оплавления неровностей грубого слоя, 1 - деталь (катод);

на фиг. 2 - различия в структурном состоянии поверхности после ее обработки по способу прототипа и по предлагаемому способу;

на фиг. 3 - график роста массы образцов;

на фиг. 4 - график роста толщины образцов;

на фиг. 5 - микроструктуры покрытий, полученных по способу-прототипу и предлагаемому способу.

Сущность предлагаемого изобретения заключается в том, что при прохождении импульсов технологического тока между основным электродом (анодом) и обрабатываемой поверхностью детали (катодом) на катоде начинается формирование грубого слоя толстослойного покрытия, поверхность которого приобретает повышенную шероховатость, максимальная высота микронеровностей которого может достигать 1 мм и более. Полученная поверхность обладает низкой контактной сплошностью. При дальнейшем движении электродного узла цилиндрический электрод, изготовленный из материала с высокой теплопроводностью и электроэрозионной стойкостью и предназначенный для оплавления неровностей грубого слоя покрытия, под действием газодинамических сил, возникающих при разряде, оплавляет и частично разрушает вершины неровностей профиля, вследствие чего происходит перенос (затекание) и "утрамбовывание" материала анода с вершин во впадины рельефа формируемого покрытия в результате действия ультразвука, что и приводит к выравниванию его профиля, гомогенизации микроструктуры, снижению пористости и повышению сплошности за одно движение электродного узла. В результате продолжительность обработки по сравнению с известным способом снижается в 1,3-1,5 раза при уменьшении энергоемкости всей операции на 15-20%.

Таким образом, благодаря совмещению в одном технологическом комбинированном цикле указанных операций формирования толстослойного покрытия повышенной сплошности, в предлагаемом способе исключается отдельная операция по оплавлению вершин неровностей, что обеспечивает интенсификацию процесса за счет уменьшения времени обработки.

Пример. Для подтверждения эффективности предлагаемого способа были проведены эксперименты

по нанесению толстослойных качественных покрытий повышенной сплошности на металлическую основу и сравнение полученных результатов с данными способа-прототипа.

При этом использовали оборудование и материалы, аналогичные обработке по способу-прототипу. В качестве источника технологического тока применяли установку "Alir-55" при работе в ручном режиме, а частоту колебаний "оплавляющего" электрода в 22 кГц обеспечивал генератор ультразвуковых колебаний. Материал электрода - сталь ШХ-15. В качестве катода (детали) был выбран образец из стали 45 размерами 30×30×4 мм. Площадь обработки образца составляла 4,0 см<sup>2</sup>, При нанесении добивались сплошности покрытия не менее 80%, величина которой определялась визуально и оптическим методом сличением с эталонным образцом.

В отличие от технологии формирования покрытий способа-прототипа, включающего в себя последовательно выполняемые циклы "нанесение покрытия + оплавление", процесс получения качественных толстослойных электроискровых покрытий на металлическую основу в предлагаемом способе осуществляется непрерывно путем совмещения в один комбинированный цикл легирования поверхности катода методом ЭИЛ с получением слоя с высокой неровностью профиля поверхности и одновременного уменьшения высоты этих неровностей за счет оплавления создаваемого рельефа с ультразвуковой частотой. Различия в структурном состоянии поверхности после ее обработки по способу прототипа (а) и по предлагаемому способу (б), выполненные в авторами данной заявки, представлены на фиг. 2. Из представленных снимков видно, что топография и рельеф поверхности, полученной по предлагаемому способу, заметно более однородны и равномерны по всей площади образца, чем эти же характеристики поверхности, реализованные в случае применения прототипа.

При проведении легирования по предлагаемому способу взвешивание массы образца с помощью высокоточных весов марки АДВ-200 с погрешностью  $\pm 2 \times 10^{-4}$  г и измерение его толщины с использованием микрометра МК 0-25 с точностью до 0,01 мм осуществлялось до начала обработки и в конце ее в связи с непрерывностью процесса нанесения и оплавления покрытия такой же, как в прототипе, толщины.

Данные по приросту массы и толщины образца, обработанного по прототипу

№ цикла/операции	Функция обработки (Н-нанесение, О-оплавление)	Прирост массы образца, г	Прирост толщины образца, мм
1/1	Н	1,3060	2,05
1/2	О	1,2250	1,14
2/3	Н	2,2440	2,10
2/4	О	2,1560	1,69
3/5	Н	3,0960	2,66
3/6	О	3,0310	2,75
4/7	Н	3,8470	2,78
4/8	О	3,7550	2,77
5/9	Н	4,6590	3,20
5/10	О	4,5940	3,16
6/11	Н	5,3080	3,85
6/12	О	5,2260	3,85
7/13	Н	6,1360	4,55
7/14	О	6,0540	4,30
8/15	Н	7,1990	5,08

Эффективность предложенного технического решения подтверждают результаты роста массы образцов и их толщины. Так, в способе-прототипе за 10 циклов электроискровой обработки и последующей операции оплавления поверхности после каждого цикла масса образца с покрытием сталью ШХ-15 возросла на 5,9 г по сравнению с массой образца до начала обработки, а его толщина на 3,03 мм. В предлагаемом способе прирост массы образца, имеющего больший первоначальный вес, составил 1,825 г, но при этом его толщина увеличилась на 4,05 мм (фиг. 3). Фиг. 4 демонстрирует более интенсивный, стабильный и равномерный прирост толщины катода при его обработке предлагаемым способом. При этом, на получение одинаковых по толщине покрытий на поверхности катодов при использовании предлагаемого способа требуется на 30-50% меньше времени, чем в случае применения способа прототипа.

Наблюдаемые различия можно объяснить тем, что при работе по способу прототипа каждый последующий цикл нанесения покрытия осуществляется на более твердую, грубым рельефом и менее равномерную по толщине поверхность после ее интенсивного оплавления на предыдущем цикле (фиг. 2). Поскольку в результате такого оплавления на каждой операции формирования многослойного покрытия материал анода, находящийся в жидком состоянии в результате оплавления, затекает в неровности профиля поверхности, то и масса такого образца возрастает более интенсивно. В предлагаемом способе оплавление с ультразвуковой частотой профиля формируемого в комбинированном цикле покрытия идет одновременно с его формированием, запаздывая на 0,1-0,3 с, в результате чего неровности профиля заметно сглаживаются (фиг. 2) и часть оплавленного материала анода выносится из зоны обработки. Поэтому прирост массы такого образца несколько меньше. Но при этом затекший в неровности профиля расплав как бы "утрамбовывается" при УЗ-воздействии и поверхность создаваемого по предлагаемому способу (б) практически беспористого покрытия приобретает большую сплошность, становится значи-

тельно более однородной, равномерной по профилю и имеет существенно меньшее количество структурных и механических дефектов, по сравнению с создаваемым по способу-прототипу (а) (фиг. 5).

Из представленных данных видно, что цель данного изобретения - интенсифицировать процесс роста толщины электроискрового покрытия - достигнута, так как несмотря на то, что динамика прироста толщины аналогичных по размерам образцов при электроискровой обработке по способу прототипа и по предлагаемому способу демонстрирует одинаковую тенденцию, но при обработке по предлагаемому способу совмещение операций легирования и оплавления с ультразвуковой частотой в одном комбинированном цикле обработки позволяет выходить на заметно более динамичный прирост толщины покрытия за одинаковое с прототипом время за счет существенной активации диффузионных процессов в анодно-катодной области вследствие ультразвукового воздействия. При этом энергозатраты на осуществление обработки по предлагаемому способу снижаются по сравнению с прототипом на 30-60%.

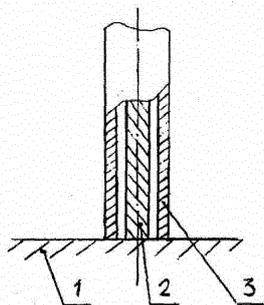
#### Литература

1. Способ электроискрового нанесения покрытий. Авт.св. № 837716 СССР, В23P 1/18. В.В. Михайлов, А.Е. Гитлевич, Н.Л. Парканский, В.М. Ревуцкий; Институт прикл. физики АН МССР. № 2761781; заявл. 04.05.79; опубл. 15.06.81//Б.И. №22, 1981.
2. Косенко А.Г. Установка для электроискрового легирования/А.Г. Косенко, В.С. Лелеко, С.Г. Макшаков//Электронная обработка материалов. 1987. №2. С. 80-82.
3. Авт. св. RU № 2101145, кл. В23Н 9/100, 1998. Способ электроискрового легирования металлических поверхностей компактными упруго-подвешенными электродами с последующим пластическим деформированием торцевой поверхностью вращающегося диска.
4. Патент RU № 2279337, В23Н 9/00, опубл. 10.07.2006.
5. Патент ЕА 017066, В23Н 9/00, С23С 8/00, опубл. 2012.09.08.

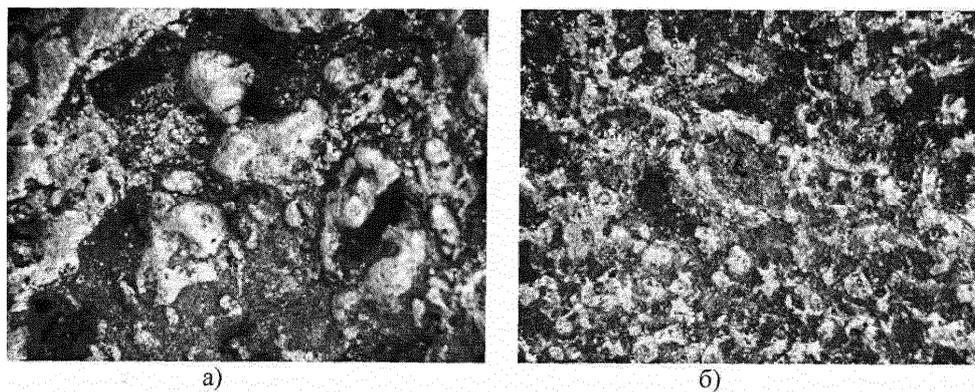
#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ электроискрового нанесения толстослойных покрытий повышенной сплошности, при котором в процессе их формирования чередуют циклы нанесения грубых покрытий с высокой неровностью профиля поверхности и оплавления до выравнивания профиля поверхности, отличающийся тем, что формирование толстослойных покрытий производят, совмещая во времени с разрывом в 0,1-0,3 с операции нанесения и оплавления профиля поверхности формируемого покрытия при помощи устройства для электроискрового нанесения толстослойных покрытий, в котором двухэлектродный инструмент содержит компактный стержневой электрод для нанесения грубого слоя с частотой вибрации электрода 600 Гц и энергией импульса 4,3 Дж и охватывающий его цилиндрический полый электрод, предназначенный для оплавления неровностей грубого слоя покрытия с ультразвуковой частотой вибрации 22 кГц и энергией импульса 10 Дж.

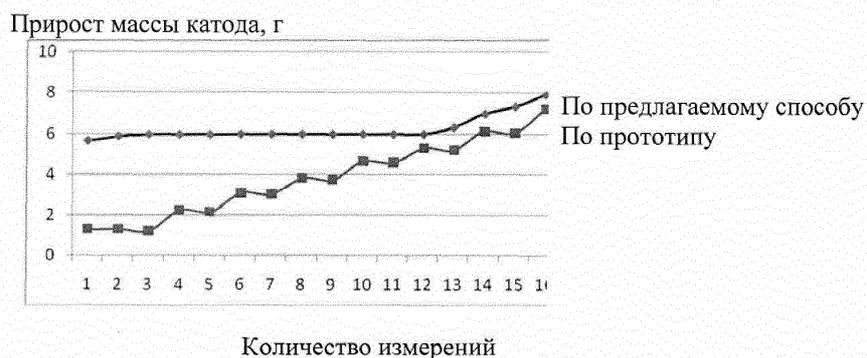
2. Устройство для электроискрового нанесения толстослойных покрытий, представляющее собой двухэлектродный инструмент, содержащий компактный стержневой электрод для нанесения грубого слоя с частотой вибрации электрода 600 Гц и энергией импульса 4,3 Дж и охватывающий его цилиндрический полый электрод, предназначенный для оплавления неровностей грубого слоя покрытия с ультразвуковой частотой вибрации 22 кГц и энергией импульса 10 Дж.



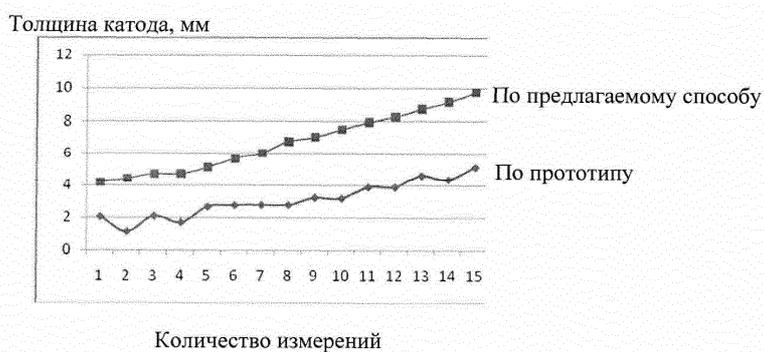
Фиг. 1



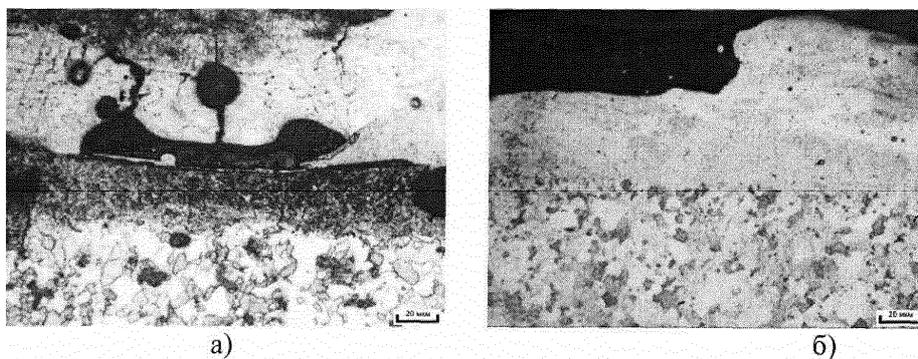
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5