



(51) МПК
B24B 1/00 (2006.01)
B22F 3/105 (2006.01)
C21D 1/09 (2006.01)
B23K 26/36 (2014.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2016118714, 13.05.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
 13.05.2016

Дата регистрации:
 16.05.2017

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 13.05.2016

(45) Опубликовано: 16.05.2017 Бюл. № 14

Адрес для переписки:

634055, г. Томск, пр. Академический, 2/3,
 Институт сильноточной электроники СО РАН,
 зам. директора по НР ИСЭ СО РАН
 Турчановскому И.Ю.

(72) Автор(ы):

Коваль Николай Николаевич (RU),
 Тересов Антон Дмитриевич (RU),
 Иванов Юрий Фёдорович (RU),
 Петрикова Елизавета Алексеевна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

ФАНО России Федеральное государственное
 бюджетное учреждение науки Институт
 сильноточной электроники Сибирского
 отделения Российской академии наук (ИСЭ
 СО РАН) (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
 о поиске: RU 2381094 C2, 10.02.2010. EA 1503
 B1, 23.04.2001. RU 2486281 C1, 27.06.2013. WO
 2005032756 A1, 14.04.2005. US 7470335 B2,
 30.12.2008. US 7002096 B2, 21.02.2006. US
 20080216926 A1, 11.09.2008.

(54) СПОСОБ ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОГО ПОЛИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ
 МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

(57) Реферат:

Изобретение относится к импульсному
 электронно-пучковому полированию поверхности
 металлических изделий, полученных селективным
 спеканием порошка. На поверхность изделия с
 исходной шероховатостью воздействуют
 импульсным пучком в вакууме при давлении (2-

5)·10⁻² Па, энергии электронов 15-25 кэВ,
 длительности импульсов 150-200 мкс и плотности
 энергии в импульсе 40-60 Дж/см². Обеспечивается
 значительное снижение пористости и
 шероховатости поверхностного слоя объемных
 металлических изделий. 2 ил.

RU 2 619 543 C1

RU 2 619 543 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
B24B 1/00 (2006.01)
B22F 3/105 (2006.01)
C21D 1/09 (2006.01)
B23K 26/36 (2014.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(21)(22) Application: **2016118714, 13.05.2016**(24) Effective date for property rights:
13.05.2016Registration date:
16.05.2017

Priority:

(22) Date of filing: **13.05.2016**(45) Date of publication: **16.05.2017** Bull. № 14

Mail address:

**634055, g. Tomsk, pr. Akademicheskij, 2/3, Institut
silnotochnoj elektroniki SO RAN, zam. direktora
po NR ISE SO RAN Turchanovskomu I.YU.**

(72) Inventor(s):

**Koval Nikolaj Nikolaevich (RU),
Teresov Anton Dmitrievich (RU),
Ivanov Yuriy Fedorovich (RU),
Petrikova Elizaveta Alekseevna (RU)**

(73) Proprietor(s):

**FANO Rossii Federalnoe gosudarstvennoe
byudzhethnoe uchrezhdenie nauki Institut
silnotochnoj elektroniki Sibirskogo otdeleniya
Rossijskoj akademii nauk (ISE SO RAN) (RU)**

(54) **PULSE ELECTRON-BEAM METAL PRODUCT SURFACE POLISHING METHOD**

(57) Abstract:

FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: product surface with initial roughness is affected by a pulsed beam in vacuum at a pressure of $(2-5) \cdot 10^{-2}$ Pa, electron energy of 15-25 keV, pulse durations of 150-200 mcs and energy density in

pulse of 40-60 J/cm².

EFFECT: decreased porosity and roughness of the surface layer of bulk metal products.

2 dwg

Изобретение относится к технологии лазерного и электронно-пучкового синтеза объемных изделий и деталей машин методом селективного спекания, в частности к способам уменьшения пористости и шероховатости поверхности металлических объемных изделий после спекания.

5 Известны способы уменьшения пористости и шероховатости поверхности металлических материалов [1], включающие механическую обработку (шлифование абразивными кругами и лентами, шлифование в барабанных и вибрационных установках, крацевание, струйную абразивную и гидроабразивную обработку и др.), химическое и электрохимическое травление.

10 Способы механической обработки позволяют получить как развитую морфологию поверхности металлического материала, так и значительно уменьшить шероховатость поверхности в зависимости от размера используемого абразива. Способы отличаются относительной дешевизной и могут обеспечивать достаточную равномерность структуры поверхности, однако имеют ряд недостатков: в результате механической обработки в 15 поверхностном слое материала могут оставаться частицы абразива; сложность обработки объемных изделий с развитым рельефом поверхности; унос материала в процессе обработки особенно для выпуклых частей поверхности и сложность контроля этого процесса.

Способы химического и электрохимического травления поверхности металлических 20 материалов заключаются в использовании селективных травителей и постоянного или импульсного тока для каждого материала, что в свою очередь позволяет контролировать скорость травления, и соответственно толщину стравливаемого слоя.

Данные способы также не лишены недостатков: требуется утилизации агрессивных 25 продуктов реакции травления; необходимо использование дорогостоящих реактивов; не обладают универсальностью применения (требуют подбора компонентов травителя для каждого металлического материала).

Наиболее близким к предлагаемому решению является способ лазерно-плазменного 30 полирования металлической поверхности [2], заключающийся в том, что над полируемой поверхностью посредством лазерного луча поджигают в парах металла и поддерживают в непрерывном оптическом разряде приповерхностную лазерную плазму. Изменение режима полирования осуществляют путем перемещения энергетического центра плазмы 35 относительно полируемой поверхности. Способ предусматривает «грубую» полировку поверхности с осуществлением режима глубокого проплавления и объемного парообразования, а также «чистовую» полировку поверхности, и обеспечивает значительное упрощение контроля процесса и производительность.

Основными недостатками данного способа являются локальность воздействия 40 лазерного луча, относительно малый размер пятна, необходимость создания защитной атмосферы, препятствующей окислению материала в процессе полировки, и испарение поверхностного материала.

Задачей изобретения является уменьшение шероховатости и пористости поверхности 45 металлических объемных изделий, получаемых методом селективного лазерного или электронно-пучкового спекания порошка. Поверхность таких изделий из-за особенностей производства отличается высокой пористостью и шероховатостью, обусловленной размером отдельных частиц порошка (40-100 мкм), из которого выращивается изделие (конечная шероховатость поверхности изделия может достигать $R_a=30$ мкм, $R_z=150$ мкм).

Технический результат заключается в получении однородного рельефа поверхности 50 металлического объемного изделия со значительно меньшей шероховатостью

относительно исходного состояния.

Поставленная задача решается тем, что полирование проводят воздействием импульсным электронным пучком в вакууме при давлении $(2-5) \cdot 10^{-2}$ Па на обрабатываемую поверхность изделия, полученного методом селективного лазерного или электронно-пучкового спекания металлического порошка с размером частиц 40-100 мкм и исходной шероховатостью до $R_a=30$ мкм, $R_z=150$ мкм, при этом параметры электронного пучка удовлетворяют условиям: энергия электронов 15-25 кэВ; длительность импульсов 150-200 мкс; плотность энергии в импульсе 40-60 Дж/см².

Предлагаемый способ осуществляется следующим образом.

При воздействии короткого (150-200 мкс) интенсивного (до 300 А) электронного пучка с энергией электронов 15-25 кэВ и плотностью энергии в импульсе 40-60 Дж/см² на пористой поверхности металлического изделия происходит сверхбыстрый ($\sim 10^7$ К/с) нагрев поверхностного слоя, включающего выступающие частицы порошка размером до 150 мкм, отвечающие за исходную шероховатость и пористость поверхности. Нагрев поверхности сопровождается плавлением поверхностного слоя на глубину нескольких десятков микрон за один импульс. В результате за счет сил поверхностного натяжения расплава происходит выглаживание выступающих частиц порошка и заполнение пор исходного рельефа поверхности. Дальнейшее сверхбыстрое (10^5-10^6 К/с) остывание поверхностного слоя, происходящее за счет теплопроводности материала, приводит к рекристаллизации с образованием однородной микроструктуры. Испарение материала с поверхности изделия при этом пренебрежимо мало.

Предлагаемый способ реализован на вакуумной электронно-пучковой установке, схематично изображенной на фиг. 1.

Газоразрядная ячейка плазменного катода электронного источника содержит полый анод поджигающего разряда 1, катод с контрагирующим отверстием 2 (диаметром 5 мм), полый анод основного разряда 3 с отверстием диаметром 40 мм, закрытым металлической мелкоструктурной сеткой 4. Система извлечения и транспортировки электронного пучка содержит трубу дрейфа 5 (диаметром 80 мм), катушки внешнего магнитного поля 6 и двухкоординатный стол-манипулятор 7 (область сканирования 200×200 мм), на котором располагаются обрабатываемые металлические изделия 8. Напуск газа (Ar) в устройство осуществляется через газоразрядную ячейку (рабочее давление $(2-5) \cdot 10^2$ Па), вакуумная откачка - через вакуумную камеру 9, где находится стол-манипулятор. Расстояние между эмиссионной сеткой и манипулятором - 500 мм.

Для обеспечения работы плазменного катода между электродом 2 и полым анодом 3 зажигается импульсный (длительность импульса 20-200 мкс) дуговой разряд низкого давления (амплитуда тока до 250 А) с образованием на внутренней поверхности контрагирующего канала электрода 2 катодного пятна, которое предварительно иницируется с помощью поджигающего разряда между электродами 1 и 2. Граница катодной плазмы стабилизируется металлической мелкоструктурной сеткой 4. Извлечение и ускорение электронов происходит в слое пространственного заряда под действием постоянного напряжения (до 25 кВ), приложенного между эмиссионной сеткой и трубой дрейфа 5. Пучок транспортируется в плазме, образованной при ионизации газа в пространстве дрейфа ускоренными электронами, до стола-манипулятора 7, на котором располагаются металлические изделия 8. Для обеспечения транспортировки и управления фокусировкой пучка используется внешнее продольное импульсное магнитное поле с индукцией до 0,1 Тл.

Для обеспечения работы плазменного катода между электродом 2 и полым анодом 3 зажигается импульсный (длительность импульса 20-200 мкс) дуговой разряд низкого давления (амплитуда тока до 250 А) с образованием на внутренней поверхности контрагирующего канала электрода 2 катодного пятна, которое предварительно инициируется с помощью поджигающего разряда между электродами 1 и 2. Граница катодной плазмы стабилизируется металлической мелкоструктурной сеткой 4. Извлечение и ускорение электронов происходит в слое пространственного заряда под действием постоянного напряжения (до 25 кВ), приложенного между эмиссионной сеткой и трубкой дрейфа 5. Пучок транспортируется в плазме, образованной при ионизации газа в пространстве дрейфа ускоренными электронами, до стола-манипулятора 7, на котором располагаются металлические изделия 8. Для обеспечения транспортировки и управления фокусировкой пучка используется внешнее продольное импульсное магнитное поле с индукцией до 0,1 Тл. Диаметр автографа электронного пучка на обрабатываемой поверхности составляет 1,5-3 см, в зависимости от параметров облучения.

В качестве примера рассмотрим результаты, полученные при облучении поверхности металлических образцов в виде пластин размером 15×30×5 мм, изготовленных методом селективного спекания в вакууме титанового порошка марки ВТ6 с размером частиц 40-80 мкм с помощью электронного пучка (установка фирмы Arcam, Швеция).

Облучение поверхности металлических образцов осуществляли на вакуумной электронно-пучковой установке «СОЛО» [3], в состав которой входит электронный источник с плазменным катодом на основе импульсного дугового разряда низкого давления с сеточной стабилизацией катодной границы плазмы. Оптимальный режим для титанового сплава ВТ6, при котором наблюдалось максимальное снижение шероховатости поверхности: плотность энергии в импульсе 45 Дж/см², длительность импульсов 200 мкс, количество импульсов на участок поверхности 10, частота следования импульсов 0,3 Гц.

Исследования поверхности образцов, обработанных в оптимальных режимах, методами профилометрии показали, что шероховатость R_a титанового сплава ВТ6 уменьшилась ~ в 9,7 раза (с исходной $R_a=10,7\pm 1,5$ мкм до $R_a=1,1\pm 0,5$ мкм), R_z ~ в 11,9 раза (с исходной $R_z=73,8\pm 10$ мкм до $R_z=6,2\pm 1,5$ мкм). Пористость поверхностного слоя исчезает.

Сканирующая электронная микроскопия подтверждает, что в результате импульсного электронно-пучкового воздействия профиль поверхности образцов значительно изменяется (Фиг. 2). В поверхностном слое титанового сплава ВТ6 формируется однородная зернистая структура, в составе которой отдельные частицы порошка не наблюдаются (Фиг. 2 (б)).

Таким образом, использование импульсного электронного пучка для полирования поверхности металлических изделий, полученных методом порошкового спекания, ведет к значительному снижению пористости и шероховатости их поверхностного слоя.

Источники информации

1. Грилихес С.Я. Обезжиривание, травление и полирование металлов. - М.: РХТУ, 1983, 1994-190 с.
2. RU 2381094 C1, 10.02.2010 г.
3. Grigoriev S.V., Koval N.N., Devjatkov V.N., Teresov A.D. The automated installation for surface modification of metal and ceramic-metal materials and products by intensive pulse sub-millisecond electron beam // Proc. 9th Int. Conf. Modification of Materials with Particle Beams

and Plasma Flows. Tomsk, Russia, 2008. - P. 19-22.

(57) Формула изобретения

Способ импульсного электронно-пучкового полирования поверхности металлических
5 изделий, полученных методом селективного лазерного или электронно-пучкового
спекания порошка с размером частиц 40-100 мкм, включающий воздействие на
обрабатываемую поверхность изделия с исходной шероховатостью до $R_a=30$ мкм,
 $R_z=150$ мкм импульсным электронным пучком в вакууме при давлении $(2-5) \cdot 10^{-2}$ Па,
10 причем используют электронный пучок с энергией электронов 15-25 кэВ, длительностью
импульсов 150-200 мкс и плотностью энергии в импульсе 40-60 Дж/см².

15

20

25

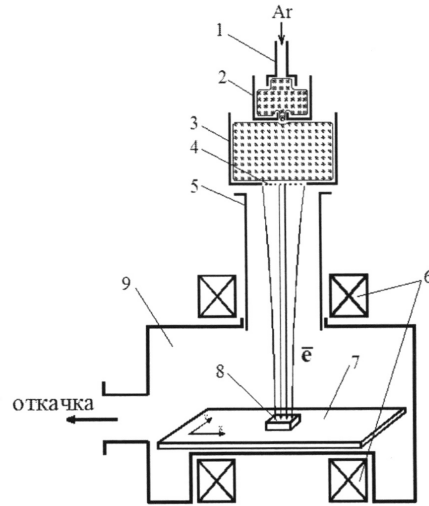
30

35

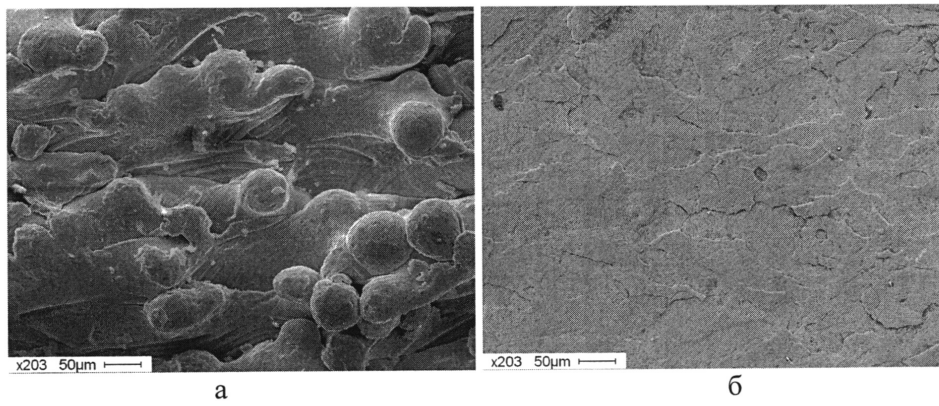
40

45

СПОСОБ ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОГО ПОЛИРОВАНИЯ
 ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ



Фиг.1



Фиг.2