

**ОПИСАНИЕ
ИЗОБРЕТЕНИЯ
К ПАТЕНТУ**
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) **ВУ** (11) **24709**

(13) **С1**

(45) **2025.10.20**

(51) МПК

С 23С 14/38 (2006.01)

(54) **СПОСОБ УПРОЧНЕНИЯ ТЛЕЮЩИМ РАЗРЯДОМ ИЗДЕЛИЙ ИЗ
МЕТАЛЛА ИЛИ СПЛАВА**

(21) Номер заявки: а 20240118

(22) 2024.05.22

(71) Заявитель: Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования "Белорусско-Российский университет" (ВУ)

(72) Авторы: Шеменков Владимир Михайлович; Рабыко Марина Александровна; Юманова Анна Николаевна; Шеменков Владислав Владимирович; Каплунов Александр Алексеевич; Дудкина Софья Сергеевна; Зененков Алексей Юрьевич (ВУ)

(73) Патентообладатель: Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования "Белорусско-Российский университет" (ВУ)

(56) ВУ 19126 С1, 2015.

ВУ 15544 С1, 2012.

ВУ 15395 С1, 2012.

ВУ 23837 С1, 2022.

RU 2154363 С2, 2000.

RU 2245939 С2, 2005.

(57)

Способ упрочнения тлеющим разрядом изделий из металла или сплава, при котором размещают изделия на катоде, расположенном в силовых линиях магнитного поля, и обрабатывают поверхности изделий плазмой тлеющего разряда, возбужденного в вакууме с разрежением 1,33-53,2 Па при напряжении 0,1-10 кВ, плотности тока между анодом и катодом 0,005-0,010 мА/см², при расстоянии между анодом и катодом 0,1-1,0 м в течение 10-30 мин, используют катод площадью в 5-150 раз больше площади анода, отличающийся тем, что к источнику питания через коммутатор подключают генератор сигналов и формируют магнитное поле с индукцией до 500 мТл и требуемой частотой, которую регулируют в пределах от 50 до 150 кГц в зависимости от удельного сопротивления материала обрабатываемых изделий.

Изобретение относится к области обработки изделий из металлов, сплавов и сверхтвердых материалов немеханическими способами и может найти применение в приборостроении, машиностроении, инструментальном производстве, а также в других отраслях промышленности.

Известен способ упрочнения изделий из металла, или сплава, или сверхтвердого или графитсодержащего материала, в котором размещают изделия на катоде и обрабатывают поверхности изделий плазмой тлеющего разряда, возбужденного в вакууме с разрежением 10⁻²-10⁻¹ мм рт.ст. при напряжении 1-5 кВ, плотности тока 0,005-0,05 мА/см², с расстоянием между электродами 600-800 мм в течение 15-45 мин. [1].

Однако указанный способ упрочнения изделий из металлов и сплавов имеет недостаток, выражающийся в низкой эффективности вследствие неконтролируемых температурных по-

ВУ 24709 С1 2025.10.20

лей как на поверхности упрочняемых изделий, так и в их объеме, что приводит к сужению технологических возможностей.

Наиболее близким по технической сущности и достигаемому положительному эффекту к заявленному изобретению относится способ упрочнения изделий из металла, или сплава, или сверхтвердого материала, при котором размещают изделия на катоде, расположенном в силовых линиях постоянного магнитного поля, и обрабатывают поверхности изделий плазмой тлеющего разряда, возбужденного в вакууме с разрежением 1,3353,2 Па при напряжении 0,1-10 кВ, плотности тока между анодом и катодом 0,005-0,010 мА/см², при расстоянии между анодом и катодом 0,1-1,0 м в течение 10-30 мин, используют катод площадью в 5-150 раз больше площади анода [2].

Однако указанный способ упрочнения изделий из металла, или сплава, или сверхтвердого материала имеет малую производительность и энергоэффективность процесса и не позволяет контролировать частоту горения тлеющего разряда для различных условий работы и материалов в зависимости от их удельного сопротивления.

Задачей настоящего изобретения является повышение концентрации потока заряженных частиц, увеличение интенсивности процесса в результате чего уменьшается хаотичное движение заряженных частиц и как следствие происходит уменьшение времени обработки, за счет чего увеличивается производительность и энергоэффективность процесса. Так же создание способа, позволяющего получить модифицированный слой изделий из металла или сплава определенной глубины за счет возможности задавать и контролировать частоту тока, который движется через источник формирования магнитного поля.

Указанная задача достигается использованием способа упрочнения тлеющим разрядом изделий из металла или сплава при котором размещают изделия на катоде, расположенном в силовых линиях магнитного поля, и обрабатывают поверхности изделий плазмой тлеющего разряда, возбужденного в вакууме с разрежением 1,33-53,2 Па при напряжении 0,1-10 кВ, плотности тока между анодом и катодом 0,005-0,010 мА/см², при расстоянии между анодом и катодом 0,1-1,0 м в течение 10-30 мин, используют катод площадью в 5-150 раз больше площади анода, отличающийся тем, что к источнику питания через коммутатор подключают генератор сигналов и формируют магнитное поле с индукцией до 500 мТл и требуемой частотой, которую регулируют в пределах от 50 до 150 кГц в зависимости от удельного сопротивления материала обрабатываемых изделий.

Для реализации способа используют вакуумную камеру с расположенными в ней анодом и катодом, катод размещен внутри источника формирования магнитного поля, на генераторе сигналов задается частота тока, который движется через источник формирования магнитного поля, гальванически изолированный управляющий драйвер от входных полюсов подключается к коммутатору к плавающим потенциалом в полумостовой схеме, сигнал подается на твердотельный коммутатор, разработанный по технологии последовательного подключения полевых транзисторов, после чего попадает на усилитель и драйвер, для подключения транзистора, который коммутирует высоковольтную цепь, твердотельный коммутатор включается и подается коммутируемый ток, управление коммутатором осуществляется с помощью маломощного TTL-сигнала, обеспечивающее магнитное поле с требуемой частотой, которая регулируется в пределах от 50 до 150 кГц, в зависимости от удельного сопротивления материала. В результате чего источник формирования магнитного поля позволяет сформировать тлеющий разряд большей плотности с требуемыми электротехническими характеристиками. Возникновение магнитной индукции с заданной частотой приводит к изменению частоты горения тлеющего разряда, соответствующей частоте магнитного поля, что позволяет увеличить концентрацию потока заряженных частиц, увеличить интенсивности процесса упрочнения, а в результате снижение хаотичности заряженных частиц и как следствие происходит уменьшение времени обработки, за счет чего увеличивается производительность и энергоэффективность процесса.

BY 24709 C1 2025.10.20

Согласно изобретению, упрочнение тлеющим разрядом изделий из металла или сплава при котором размещают изделия на катоде, расположенном в силовых линиях постоянного магнитного поля, и обрабатывают поверхности изделий плазмой тлеющего разряда, возбужденного в вакууме с разрежением 1,33-53,2 Па при напряжении 0,1-10 кВ, плотности тока между анодом и катодом 0,005-0,010 мА/см², при расстоянии между анодом и катодом 0,1-1,0 м в течение 10-30 мин, используют катод площадью в 5-150 раз больше площади анода. В процессе обработки индукция магнитного поля создается до 500 мТл, источником питания, подключенным через коммутатор. Коммутатором управляет генератор сигналов, который формирует магнитное поле с требуемой частотой, которая регулируется в пределах от 50 до 150 кГц, в зависимости от удельного сопротивления материала. Модификация приповерхностных слоев изделия осуществляется бомбардировкой изделия ионами в среде остаточных атмосферных газов, что позволяет сохранить конструктивные и геометрические параметры обрабатываемых изделий.

Сущность способа заключается в том, что в процессе обработки, эмитированные с катода под действием ионной бомбардировки электроны, захватываются источником формирования магнитного поля, произвольного сечения, расположенную в области катодного темного пространства. Электроны циркулируют в магнитной ловушке до тех пор, пока не произойдет несколько ионизирующих столкновений с атомами обрабатываемой поверхности, в результате которых он теряет полученную от электрического поля энергию. Тем самым, большая часть энергии электронов, прежде чем они попадают на анод, значительно повышают эффективность процесса ионизации и концентрацию положительных ионов у поверхности катода. Это, в свою очередь, приводит к увеличению интенсивности ионной бомбардировки изделия и значительному росту скорости упрочнения.

Установленные ВЧ-колебания тока от параметров тлеющего разряда позволяют сделать вывод, что в процессе обработки происходит разрыв тока разряда и его переход в режим ВЧ-колебаний вследствие нарушения критерия стационарности Бома. ВЧ-колебания тока разряда приводят к тому, что поверхность обрабатываемого изделия подвергается импульсной обработке ускоренными ионами.

На основании полученных данных установлено, магнитное поле влияет на частоту горения тлеющего разряда. Что свидетельствует о формировании глубину скин-слоя больше, чем при классическом методе упрочнения. Ионный поток на катод при развитии колебаний приобретает импульсный характер. При этом растет максимальная кинетическая энергия ионов, от которой зависит глубина упрочнения поверхности.

Упрочнение осуществляется без специально приготовленной и вводимой в камеру рабочей среды. Изделия упрочняются при более, низких температурах, не вызывающих термических превращений, более высоком электрическом потенциале, за более короткое время за счет изменения свойств поверхностного слоя вследствие торможения в нем налетающих заряженных частиц, в результате чего повышается стойкость и износостойкость материалов, сохраняются конструктивные и геометрические параметры изделий.

Для реализации способа используют вакуумную камеру с расположенными в ней анодом и катодом, находящимися в силовых линиях магнитного поля подключенными к высоковольтному источнику питания.

Источники информации:

1. BY 14716 C1, 2011.
2. BY 19126 C1, 2015.