



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
 H01J 37/30 (2018.08)

(21)(22) Заявка: 2018100881, 10.01.2018

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
 10.01.2018

Дата регистрации:  
 21.05.2019

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 10.01.2018

(45) Опубликовано: 21.05.2019 Бюл. № 15

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):

Озур Григорий Евгеньевич (RU),  
 Кизириди Павел Петрович (RU),  
 Яковлев Евгений Витальевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

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

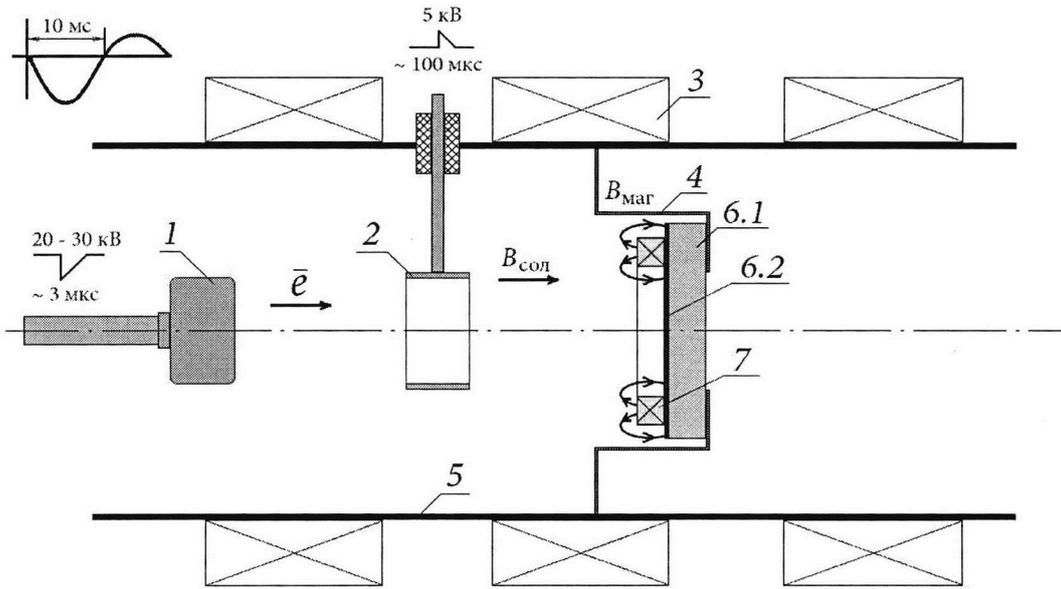
(56) Список документов, цитированных в отчете  
 о поиске: RU 97005 U1, 20.08.2010. RU  
 2446504 C1, 27.03.2012. RU 132614 U1, 20/09/  
 2013. JP 2005276520 A, 06.10.2005. US  
 2016108504 A1, 21.04.2016.

(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ МАССИВНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области модификации поверхностных слоев материалов импульсными электронными пучками и может быть использовано для улучшения их физико-химических свойств (коррозионной стойкости, жаростойкости и др.). Технический результат - повышение эксплуатационных характеристик обрабатываемых изделий, например массивных кристаллизаторов, электродов высоковольтных вакуумных выключателей и др. Устройство содержит сильноточную электронную пушку, содержащую взрывоэмиссионный катод 1, кольцевой анод 2, импульсный соленоид 3, обеспечивающий транспортировку электронного пучка и обрабатываемое электронным пучком

изделие. Установка перед обрабатываемым изделием (6.1-6.2) дополнительного постоянного магнита 7 в виде рамки или кольца, при этом направление вектора магнитной индукции на поверхности магнита, обращенной к катоду пушки, противоположно направлению вектора магнитной индукции поля, создаваемого импульсным соленоидом, позволяет устранить дефокусировку пучка, вызванную частичным вытеснением импульсного ведущего магнитного поля из обрабатываемого изделия вследствие скин-эффекта, обеспечивая плотность энергии электронного пучка, достаточную для импульсного плавления поверхностного слоя изделия. 3 ил.



Фиг. 1

RU 2688190 C1

RU 2688190 C1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
*H01J 3/02* (2006.01)  
*H01J 37/30* (2006.01)  
*C23C 14/00* (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC  
*H01J 37/30 (2018.08)*

(21)(22) Application: **2018100881, 10.01.2018**

(24) Effective date for property rights:  
**10.01.2018**

Registration date:  
**21.05.2019**

Priority:

(22) Date of filing: **10.01.2018**

(45) Date of publication: **21.05.2019** Bull. № 15

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):

**Ozur Grigorij Evgenevich (RU),  
Kiziridi Pavel Petrovich (RU),  
Yakovlev Evgenij Vitalevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe byudzhetnoe  
uchrezhdenie nauki Institut silnotochnoj  
elektroniki Sibirskogo otdeleniya Rossijskoj  
akademii nauk, (ISE SO RAN) (RU)**

(54) **DEVICE FOR SURFACE TREATMENT OF MASSIVE METAL ARTICLES**

(57) Abstract:

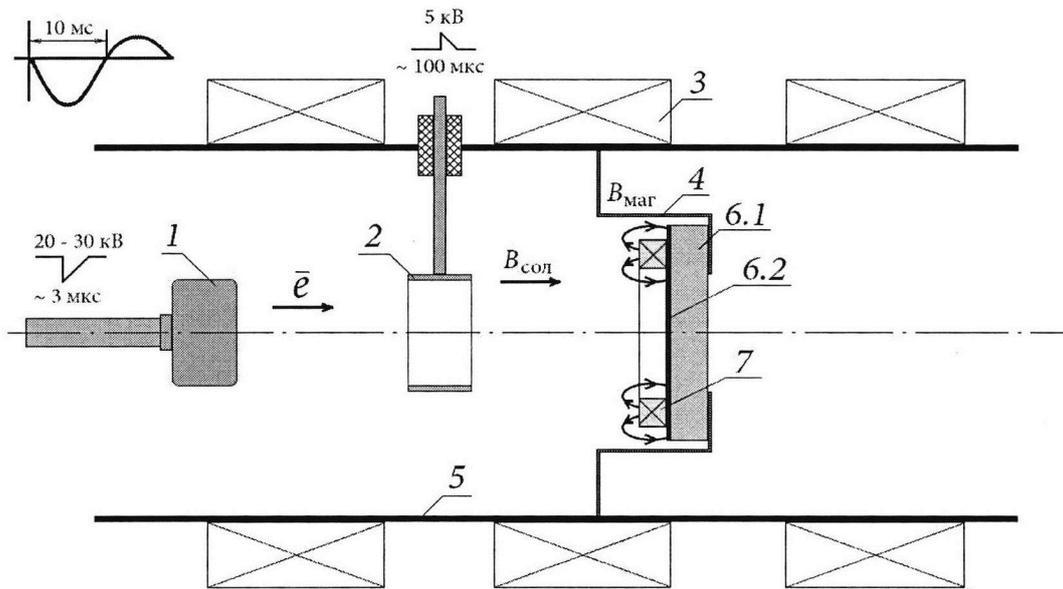
FIELD: chemistry.

SUBSTANCE: invention relates to modification of surface layers of materials by pulsed electron beams and can be used to improve their physical and chemical properties (corrosion resistance, heat resistance, etc.). Proposed device comprises high-current electron gun with explosive emission cathode 1, annular anode 2, pulse solenoid 3 to transfer electron beam and electron beam processed article. Installation before processed article (6.1–6.2) of additional permanent magnet 7 in form of frame or ring, at that direction of magnetic induction vector on surface of magnet facing gun

cathode, opposite to direction of magnetic field induction vector generated by pulse solenoid, enables to eliminate defocusing of beam caused by partial displacement of pulse driving magnetic field from processed article due to skin effect, providing energy density of electron beam sufficient for pulsed melting of article surface layer.

EFFECT: technical result is improved operational characteristics of processed articles, for example, massive crystallizers, electrodes of high-voltage vacuum switches, etc.

1 cl, 3 dwg



Фиг. 1

RU 2688190 C1

RU 2688190 C1

Предлагаемое изобретение относится к области модификации поверхностных слоев материалов импульсными электронными пучками и может быть использовано для улучшения их физико-химических свойств (коррозионной стойкости, жаростойкости и др.) с конечной целью повышения эксплуатационных характеристик различных изделий, например, массивных кристаллизаторов, используемых в установках непрерывной разливки стали, электродов высоковольтных вакуумных выключателей и др.

Известны устройства, представляющие собой сильноточные электронные пушки, содержащие взрывоэмиссионный катод, кольцевой анод, коллектор, на котором могут располагаться обрабатываемые сильноточным электронным пучком металлические изделия, и импульсный соленоид, обеспечивающий предварительное (до подачи импульса ускоряющего напряжения на катод) формирование плазменного анода и транспортировку пучка к изделию (мишени) в ведущем магнитном поле [1, 2].

Положительный эффект (например, повышение коррозионной стойкости изделий, их жаростойкости, снижение шероховатости и повышение электрической прочности вакуумных промежутков, образованных металлическими электродами) в этих устройствах достигается за счет очистки и сглаживания поверхности обрабатываемых изделий в процессе ее импульсного оплавления сильноточным электронным пучком. Импульсное оплавление поверхности позволяет также эффективно формировать поверхностные сплавы с заданными свойствами.

Наиболее близким по существу к заявляемому изобретению является устройство на базе сильноточной электронной пушки, описанное в [3]. В этой пушке, как и в [1, 2], имеются взрывоэмиссионный катод, кольцевой анод, коллектор (он же держатель изделий, подвергаемых обработке) и импульсный соленоид. Пучок электронов формируется в двойном слое между взрывоэмиссионной катодной плазмой и анодной плазмой, создаваемой в пеннинговском разряде между анодом и катодами разряда, роль которых играют коллектор пучка и катод пушки. Ведущее магнитное поле, создаваемое импульсным соленоидом, обеспечивает не только транспортировку пучка к коллектору, на котором располагается обрабатываемое изделие, но и зажигание пеннинговского разряда [4].

Недостатком вышеупомянутых устройств поверхностной обработки является дефокусировка электронного пучка при обработке массивных изделий, обусловленная импульсным характером ведущего магнитного поля соленоида. Действительно, если толщина обрабатываемого изделия превышает глубину скин-слоя, характеризующую проникновение импульсного магнитного поля внутрь изделия, то это магнитное поле частично вытесняется из него, т.е. магнитные силовые линии обтекают изделие. Это расхождение силовых линий приводит к дефокусировке пучка, падению плотности его энергии, т.е. к невозможности осуществить плавление поверхностного слоя. Поскольку глубина скин-слоя уменьшается с увеличением электропроводности материала, то наиболее ярко дефокусировка пучка проявляется на материалах с высокой электропроводностью (медь, алюминий и т.п.). Учитывая также, что для большинства металлов и сплавов теплопроводность прямо пропорциональна электропроводности, то достичь плавления поверхностного слоя на таких материалах становится весьма затруднительно.

Задачей заявляемого изобретения является повышение плотности энергии пучка на поверхности обрабатываемого массивного металлического изделия.

Технический результат заявляемого изобретения заключается в устранении дефокусировки пучка, вызванной импульсным характером ведущего магнитного поля, и в обеспечении тем самым плотности энергии электронного пучка, достаточной для

плавления поверхностного слоя.

Указанный технический результат при осуществлении изобретения достигается тем, что в известном устройстве для поверхностной обработки массивных металлических изделий, включающем сильноточную электронную пушку, содержащую катод, анод, импульсный соленоид, обеспечивающий транспортировку электронного пучка и обрабатываемое электронным пучком изделие, согласно изобретению, на выходе электронной пушки перед обрабатываемой поверхностью изделия дополнительно размещен постоянный магнит в виде рамки или кольца, при этом, направление вектора магнитной индукции на поверхности магнита, обращенной к катоду пушки, противоположно направлению вектора магнитной индукции поля, создаваемого импульсным соленоидом.

Кроме того, обрабатываемое изделие имеет толщину, сравнимую или большую глубины проникновения импульсного магнитного поля внутрь изделия.

При такой установке магнита силовые линии его поля, практически беспрепятственно проникающего внутрь обрабатываемого изделия, имеют компоненту, параллельную вектору импульсного ведущего магнитного поля соленоида (в области не искажаемой присутствием изделия), которая компенсирует расхождение силовых линий импульсного магнитного поля, вызываемое скин-эффектом.

Пример 1. На Фиг. 1 схематично показано устройство, на котором проводились эксперименты. Электронная пушка включает в себя взрывоэмиссионный катод 1, кольцевой анод 2, импульсный соленоид 3, держатель обрабатываемого изделия 4 и корпус 5. Для удобства и экономии материалов, в экспериментах для моделирования обработки массивных изделий использовались составные мишени из меди (порог плавления около  $6,4 \text{ Дж/см}^2$ ) и дюралюминия Д16Т (порог плавления около  $3,5 \text{ Дж/см}^2$ ). Мишень состояла из диска 6.1 диаметром 120 мм и толщиной 20 мм в случае меди и 30 мм в случае Д16Т, поверх которого накладывались сменные квадратные пластины 6.2 размерами  $120 \times 120 \text{ мм}$  и толщиной 1 мм из материала, соответствующего материалу диска. На этих пластинах и фиксировались автографы пучка. Длительность импульса тока через соленоид составляла  $\sim 20 \text{ мс}$ , и, следовательно, толщина скин-слоя для меди составляла  $\sim 9 \text{ мм}$ , а для Д16Т  $\sim 13 \text{ мм}$ , т.е. существенно меньше толщины мишени. Постоянный магнит 7, устанавливавшийся перед мишенью использовались двух типов: кольцо  $\emptyset 130 \times \emptyset 110 \times 15 \text{ мм}$  и квадратная рамка размерами  $110 \times 90 \times 15 \text{ мм}$ . Материал магнитов - Nd-Fe-B, индукция магнитного поля на их поверхности - 0,3 Тл.

Устройство работает следующим образом. После откачки объема пушки и напуска рабочего газа (обычно аргон при давлениях 0,03-0,06 Па), внутри нее создается внешнее ведущее магнитное поле с помощью соленоида 3, питаемого импульсным током от предварительно заряженной конденсаторной батареи. Время нарастания тока в соленоиде до максимума составляет 5 мс (т.е. период колебаний составляет 20 мс, а частота 50 Гц). При достижения максимума тока в соленоиде на анод 2 подается импульс положительной полярности амплитудой около 5 кВ. Благодаря этому, в пространстве между взрывоэмиссионным катодом 1 и заземленной мишенью 6.2 загорается сильноточный отражательный разряд (разряд типа Пеннинга) и в течение 30-40 мкс пространство между взрывоэмиссионным катодом и мишенью оказывается заполненным плазмой с концентрацией около  $(2-3) \times 10^{12} \text{ см}^{-3}$ . Данный столб плазмы и представляет собой плазменный анод. После формирования плазменного анода на взрывоэмиссионный катод подается импульс ускоряющего напряжения амплитудой 20-35 кВ с фронтом 10-50 нс. На катоде возбуждается взрывная эмиссия с образованием

сгустков катодной плазмы -эмиттера электронов. Эмитированные электроны ускоряются в двойном слое между катодной и анодной плазмой и транспортируются в ведущем магнитном поле индукцией 0,1-0,15 Тл сквозь анодную плазму к обрабатываемой мишени 6.2, являющейся одновременно коллектором пучка. Характерные параметры пучка: энергия электронов - до 30 кэВ, ток пучка - до 25 кА, длительность импульса - 2,5-3 мкс, плотность энергии -до 9 Дж/см<sup>2</sup> (без фокусировки или дефокусировки).

На Фиг. 2 приведены автографы пучка на медных пластинах-мишенях, полученные в различных конфигурациях: без диска (суммарная толщина мишени - 1 мм) и без постоянного магнита (Фиг. 2а); с диском (суммарная толщина мишени - 21 мм) и без постоянного магнита (Фиг. 2б); с диском (суммарная толщина мишени также 21 мм) и при наличии кольцевого постоянного магнита вблизи поверхности мишени, обращенной к пучку (Фиг. 2в); с диском (суммарная толщина мишени также 21 мм) и при наличии рамочного постоянного магнита вблизи поверхности пластины, обращенной к пучку (Фиг. 2г). Из данных, представленных на Фиг. 2, видно, что установка постоянного магнита вблизи поверхности мишени (при этом вектор магнитного поля на поверхности постоянного магнита противоположен вектору магнитного поля соленоида, но зато внутри рамки имеет значительную компоненту, направленную в ту же сторону) обеспечивает достаточно ровное плавление поверхностного слоя на диаметре до 11 см для кольцевого магнита и в квадрате 9×9 см (за исключением угловых участков) для рамочного магнита (Фиг. 2в и 2г). Напротив, при отсутствии магнита плавление не сплошное, а очаговое, слабое и неоднородное; диаметр автографа пучка увеличен, что эквивалентно падению плотности энергии. Отметим также, что если магнит перевернуть так, чтобы вектор магнитного поля на его поверхности был направлен в ту же сторону, что и вектор магнитного поля соленоида, плавление практически отсутствует из-за существенной деформации пучка. Эта деформация, очевидно, вызвана тем, что магнитное поле вблизи мишени становится, фактически, не ведущим, а приобретает конфигурацию типа "касп", которая характерна для катушек, включенных навстречу, т.е. создающих противоположно направленные магнитные поля. В таком магнитном поле пучок просто не может транспортироваться к мишени, по крайней мере, без существенных потерь в плотности энергии (тока).

Пример 2. На Фиг. 3 приведена аналогичная серия автографов пучка, полученных для мишеней из дюралюминия Д16Т: (а) - автограф на тонкой мишени из Д16Т (120×120×1 мм), постоянный магнит отсутствует; (б) - автограф на толстой мишени из Д16Т (120×120×31 мм), постоянный магнит отсутствует; (в) - автограф на толстой мишени из Д16Т (120×120×31 мм), постоянный (рамочный) магнит присутствует. Эти автографы также подтверждают положительный эффект действия постоянного магнита.

Приведенные примеры показывают технический результат, достигаемый в предложенном изобретении.

Источники информации, принятые во внимание при составлении заявки на изобретение.

1. К. Uemura, S. Uehara, P. Raharjo, D.I. Proskurovsky, G.E. Ozur, V.P. Rotshtein, Surface modification process on metal dentures, products produced thereby, and incorporated system thereof// US Patent: US 6,863,531, B2, Date: March 8, 2005, prior publication data; US 2003/0019850 A1 Jan. 30, 2003.

2. Батраков А.В., Озур Г.Е., Проскуровский Д.И., Ротштейн В.П. Способ обработки электродов изолирующих промежутков высоковольтных электровакуумных приборов // Патент РФ №2384911 от 20.03.2010 г., БИ №8. МПК: H01J 19/44, G01R 31/12 (заявка 2008149392/28 от 15.12.2008 г.).

3. Озур Г.Е., Марков А.Б., Падей А.Г. Устройство для формирования поверхностных сплавов // Патент на полезную модель. RU 97005 U1 от 23.04.2010. Опубликовано 20.08.2010 г. Бюл. №23.

5 4 Г.Е. Озур, Д.И. Проскуровский, К.В. Карлик. Источник широкоапертурных низкоэнергетических сильноточных электронных пучков с плазменным анодом на основе отражательного разряда // Приборы и техника эксперимента, 2005, №6, с. 58-65.

(57) Формула изобретения

10 Устройство для поверхностной обработки массивных металлических изделий, включающее сильноточную электронную пушку, содержащую катод, анод, импульсный соленоид, обеспечивающий транспортировку электронного пучка к обрабатываемому изделию, отличающееся тем, перед изделием дополнительно размещен постоянный магнит в виде рамки или кольца, при этом направление вектора магнитной индукции  
15 на поверхности магнита, обращенной к катоду пушки, противоположно направлению вектора магнитной индукции поля, создаваемого импульсным соленоидом.

20

25

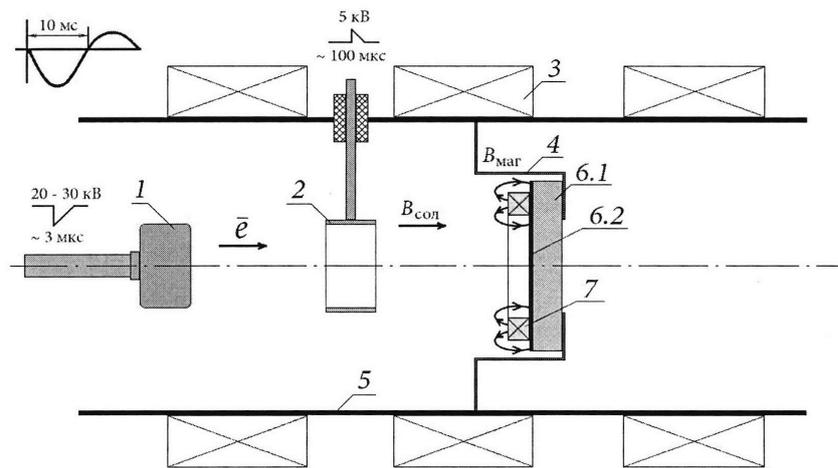
30

35

40

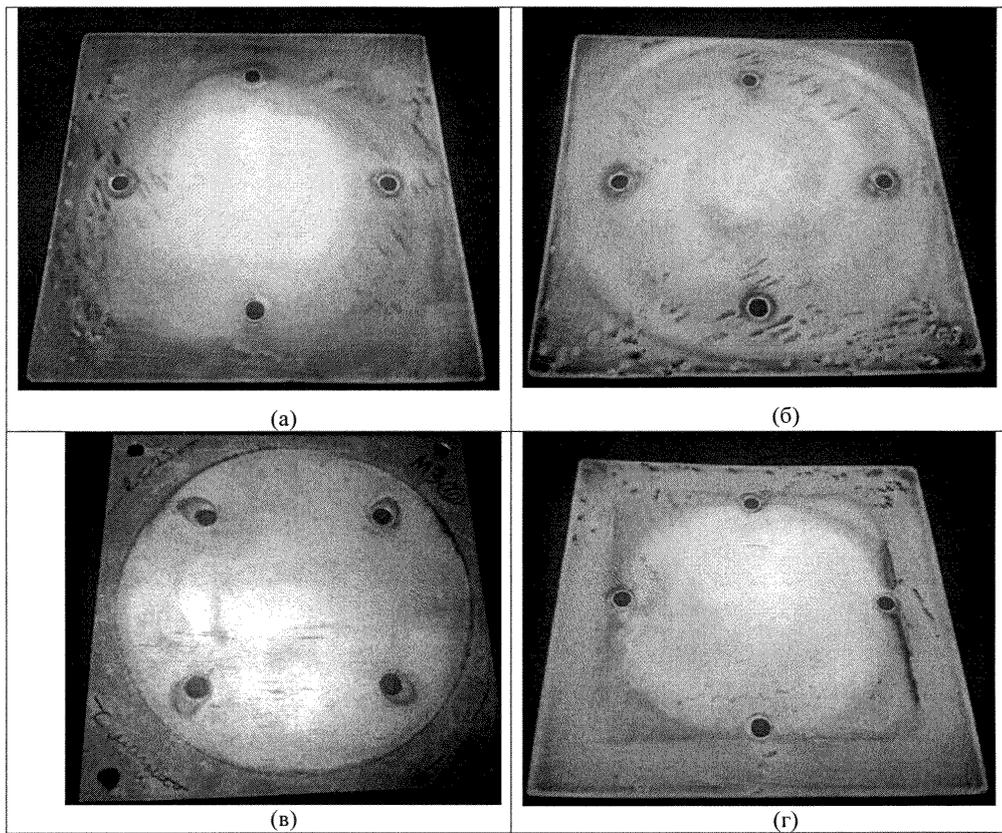
45

1

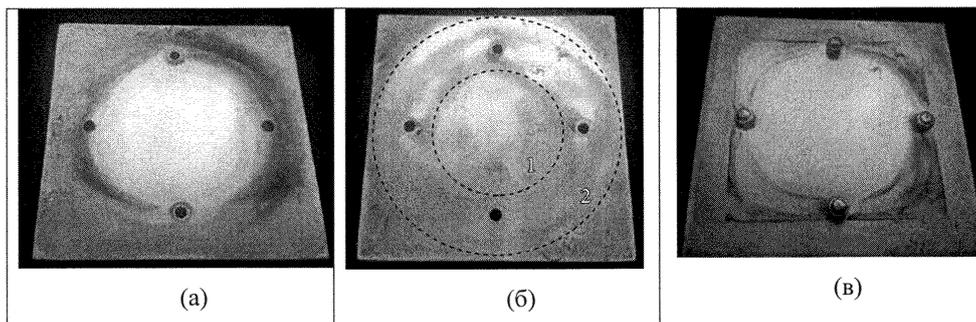


Фиг. 1

2



Фиг. 2



Фиг. 3