



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
H01J 3/02 (2022.08)

(21)(22) Заявка: 2022115071, 02.06.2022

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
02.06.2022

Дата регистрации:
01.12.2022

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 02.06.2022

(45) Опубликовано: 01.12.2022 Бюл. № 34

Адрес для переписки:
634055, г. Томск, пр. Академический, 2/3,
Институт сильноточной электроники СО РАН,
зам. директора по НР ИСЭ СО РАН
Батракову А.В.

(72) Автор(ы):
Кизириди Павел Петрович (RU),
Озур Григорий Евгеньевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):
Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Институт сильноточной
электроники Сибирского отделения
Российской академии наук (ИСЭ СО РАН)
(RU)

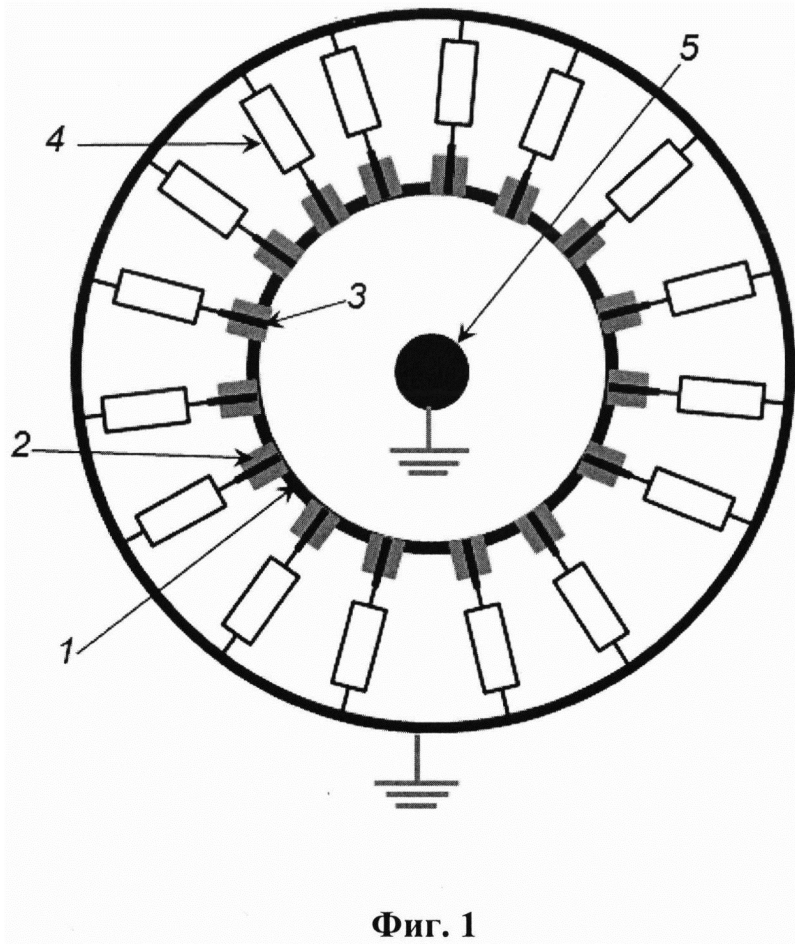
(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: ЭНГЕЛЬКО В.И. Опытная
установка для электронно-лучевой
модификации поверхности оболочек ТВЭЛов
и ПЭЛов РУ с теплоносителями Рb И Рb-Vi.
Вопросы атомной науки и техники. Серия:
ЯДЕРНО-РЕАКТОРНЫЕ КОНСТАНТЫ,
2015, вып. 4, с. 93-99. RU 203107 U1, 22.03.2021.
RU 2313848 C1, 27.11. 2007. RU 2237942 C1,
10.10.2004. US 2017247789 A1, 31.08.2017.

(54) СИЛЬНОТОЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ ПУШКА С РАДИАЛЬНО СХОДЯЩИМСЯ ПУЧКОМ

(57) Реферат:

Полезная модель относится к области модификации поверхностных слоев материалов методом импульсного плавления и может быть использована для улучшения их физико-химических свойств (коррозионной стойкости, износостойкости, снижения коэффициента трения и др.) с целью повышения эксплуатационных характеристик различных технологических изделий, например металлических оболочек тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов) ядерных реакторов, штампового и режущего инструментов, пар трения. Сущность полезная

модель заключается в том, что в сильноточной электронной пушке с радиально сходящимся пучком, содержащей полой цилиндрический взрывоэмиссионный катод (1), внутри которого коаксиально размещена обрабатываемая деталь (5), являющаяся одновременно анодом пушки, в катод (1) встроены резистивно-развязанные дуговые источники плазмы (3), инициируемые пробоем по поверхности диэлектрика (2). Технический результат - снижение величины ускоряющего напряжения.



Фиг. 1

Предлагаемая полезная модель относится к области модификации поверхностных слоев материалов методом импульсного плавления и может быть использована для улучшения их физико-химических свойств (коррозионной стойкости, износостойкости, снижения коэффициента трения и др.) с конечной целью повышения эксплуатационных характеристик различных технологических изделий, например, металлических оболочек тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов) ядерных реакторов, штампового и режущего инструмента, пар трения.

Известны сильноточные электронные пушки с плазменным анодом и многоэмиттерным взрывоэмиссионным катодом, формирующие аксиальные цилиндрические пучки (энергия электронов до 30 кэВ, ток пучка до 25 кА, длительность импульса 2-4 мкс), распространяющиеся в ведущем магнитном поле, создаваемом внешним соленоидом [1]. Плазменный анод с концентрацией ионов $(1-5) \times 10^{12} \text{ см}^{-3}$ обеспечивает как возбуждение взрывной эмиссии на катоде, так и эффективную транспортировку электронного пучка к обрабатываемому изделию (образцу), располагаемому на заземленном коллекторе.

Известна также сильноточная электронная пушка [2], содержащая катодный узел, включающий дисковый катод и встроенные в него дуговые источники плазмы, электроды которых соединены параллельно через резисторы с анодом (коллектором). Такая пушка может работать и в отсутствие плазменного анода, т. е. в режиме вакуумного или газонаполненного диода.

Однако сильноточные пушки, описанные в [1, 2] и формирующие аксиальные электронные пучки, более всего пригодны для обработки плоских и квазиплоских изделий. Для обработки протяженных цилиндрических изделий и протяженных изделий другого поперечного сечения рациональнее использовать радиально сходящиеся пучки. Во-первых, облучение радиально сходящимся пучком будет во много раз производительнее, поскольку при использовании традиционного аксиального пучка потребуется облучение в 6-8 азимутальных положениях изделия, чтобы обеспечить приемлемую однородность обработки. Во-вторых, при облучении аксиальным пучком в паузе между импульсами термомеханические напряжения, возникающие при могут вызвать искривление (поводку) изделия, если его диаметр невелик (а в случае ТВЭЛов это именно так: наружный диаметр их оболочки 8-10 мм, а длина несколько метров), что крайне нежелательно. Напротив, при облучении изделия радиально сходящимся пучком, термомеханические напряжения на противоположных сторонах должны скомпенсировать друг друга, и деформации изделия можно избежать.

Наиболее близкой по техническому решению к предлагаемой полезной модели и взятой нами за прототип является электронная пушка [3] со следующими параметрами: энергия электронов - 120 кэВ; ток пучка на аноде - 2-5 кА; плотность энергии на аноде (образце) - 40 Дж/см²; длительность импульса 30-40 мкс; частота следования импульсов - 2 имп/мин; потребляемая мощность - 20 кВт. Радиально сходящийся электронный пучок генерируется в пушке триодного типа с внутренним диаметром полого цилиндрического взрывоэмиссионного катода 28 см и диаметром сетки 20 см. Аксиальная длина катода и сетки составляет 40 см, а площадь поверхности катода 2900 см². Общее число эмиттеров (пучки графитовых волокон) на катоде составляет 2815. Сетка соединена с заземленным анодом через специальный резистор. Она обеспечивает, прежде всего, дополнительное усиление напряженности электрического поля на кончиках эмиттеров, что улучшает стабильность возбуждения взрывной эмиссии от импульса к импульсу. Питание электронной пушки осуществляется от генератора

высоковольтных импульсов, собранного по схеме Аркадьева-Маркса, с амплитудой выходного напряжения до 120 кВ. Диаметр анода (обрабатываемой детали) варьируется от 1 до 3 см. Аксиальное перемещение обрабатываемой детали осуществлялось в паузе между серией импульсов пучка без нарушения вакуума.

5 Основным недостатком электронной пушки [3] является относительно высокое ускоряющее напряжение (120 кВ), что обуславливает значительные габариты и массу установки на базе данной пушки и, следовательно, ее относительно высокую стоимость, включающую и стоимость защиты от неиспользуемого тормозного рентгеновского излучения.

10 Задача, решаемая в заявляемой полезной модели, является уменьшение габаритов, массы и стоимости установки, а также упрощение конструкции электронной пушки при использовании в технологических целях.

Техническим результатом заявляемой полезной модели является снижение величины ускоряющего напряжения в несколько раз.

15 Указанный технический результат достигается тем, что в известной электронной пушке с радиально сходящимся пучком, содержащей катодный узел, включающий в себя полый цилиндрический взрывоэмиссионный катод, внутри которого коаксиально размещена протяженная обрабатываемая деталь, являющаяся одновременно анодом пушки, генератор высоковольтных импульсов, питающий электронную пушку, согласно
20 техническому решению катодный узел представляет собой катод в виде полого металлического цилиндра (кольца), в который встроены резистивно-развязанные дуговые источники плазмы, инициируемые пробоем по поверхности диэлектрика между катодом и электродами дуговых источников плазмы.

Поскольку напряжение пробоя между электродами по диэлектрику существенно
25 ниже напряжения пробоя между такими же электродами в отсутствие диэлектрика [4], это и позволяет возбуждать взрывную эмиссию на катоде при существенном более низких напряжениях и отсутствии сетки, которая необходима в прототипе.

На Фиг. 1 приведена принципиальная конструктивная схема предлагаемой
30 сильноточной электронной пушки. В односекционный кольцевой катод 1 из дюралюминия равномерно по окружности встроены 16 дуговых источников плазмы, включающие керамические трубки 2 и медные электроды дуговых источников плазмы 3. Внутренний диаметр катода составлял 8 см. Наружный диаметр трубок составляет 4 мм, внутренний - 2 мм; диаметр электродов также равен 2 мм. Каждый из 16 электродов заземляется через резисторы 4 (три последовательно соединенных резистора ТВО-2
35 номинальным сопротивлением 750 Ом каждый). Обрабатываемое изделие 5 размещено внутри катода 1 и находится под потенциалом анода. Для увеличения ширины пучка количество параллельно работающих секций может быть увеличено.

Сильноточная пушка работает следующим образом.

При подаче на катод импульса напряжения отрицательной полярности амплитудой
40 5-25 кВ от генератора высоковольтных импульсов происходит пробой по поверхности торцов керамических трубок 2 и возникает плазма, состоящая из материалов катода (катодные пятна), керамических трубок 2 и электродов 3, а также ионизованного десорбированного газа. Образование катодных пятен (взрывоэмиссионных центров) при протекании тока через поджигающие промежутки (эти пятна можно назвать
45 затравочными) обеспечивается тем, что амплитуда тока (2,2-11,1 А) через каждый промежуток превышает так называемый пороговый ток дуги [5], который составляет доли-единицы ампер практически для всех материалов (например, для меди он равен около 2 А). Электроны, эмитируемые затравочными, а также возникшими в течение

импульса катодными пятнами, ускоряются в радиальном направлении к аноду, формируя сходящийся пучок. Рост тока обеспечивается, как увеличением числа катодных пятен, так и их расширением, т.е. увеличением площади эмиссионной поверхности [1].

5 Анодом 5 служило обрабатываемое цилиндрическое изделие (стержень из нержавеющей стали или латуни) диаметром 1 см. Для получения автографов пучка на меди часть анода (в области воздействия пучка) оборачивалась медной фольгой толщиной 0,5 мм.

10 На Фиг. 2 приведены типичные осциллограммы импульсов ускоряющего напряжения (1-й канал, 10 кВ/деление), полного тока в контуре (2-й канал, 24 кА/деление) и токов в цепи анода, (3-й канал, 5 кА/деление и 4-й канал, 10 кА/деление); горизонтальная шкала - 1 мкс/деление. Зарядное напряжение ГВИ - 20 кВ, давление воздуха в рабочей камере - 0,09 Па. Видно, что суммарный ток пучка на анод достигает десятков килоампер и способен обеспечить импульсное плавление поверхностного слоя анода, что подтверждается автографами пучка на металлических мишенях, приведенными на фиг. 15 3: на нержавеющей стали (а), латуни (б) меди (в). Зарядное напряжение ГВИ - 17 кВ, давление воздуха в рабочей камере - 0,09 Па.

Таким образом, в предлагаемой полезной модели параметры пучка, необходимые для поверхностного оплавления мишеней, достигнуты при амплитуде ускоряющего напряжения не более 20 кВ, что в 5-6 раз меньше чем в прототипе.

20 Источники информации, принятые во внимание при составлении заявки на полезную модель:

1. Т.Е. Озур, Д.И. Проскуровский. Генерация низкоэнергетических сильноточных электронных пучков в пушках с плазменным анодом. Физика плазмы, 2018, т. 44, вып. 1, с. 21-44. DOI: 10.7868/S0367292118010146

25 2. П.Л. Кизириди, Г.Е. Озур. СИЛЬНОТОЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ ПУШКА. Патент РФ №203107 от 22.03.2021 г., опубликовано 22.03.2021 г., бюл. №9. МПК: H01J 3/02 (2006.01)

30 3. Энгелько В.И., Ткаченко К.И., Русанов А.Е., Биржевой Г.А. Опытная установка для электронно-лучевой модификации поверхности оболочек ТВЭЛов и ПЭЛов РУ с теплоносителями Рb И Рb-Bi // Вопросы атомной науки и техники. Серия: ЯДЕРНО-РЕАКТОРНЫЕ КОНСТАНТЫ, 2015, вып. 4, с. 93-99.

4. Г.А. Месяц. Импульсная энергетика и электроника. М.: Наука, 2004 (стр. 86).

5. Кесаев И.Г. Катодные процессы электрической дуги. М.: Наука, 1968.

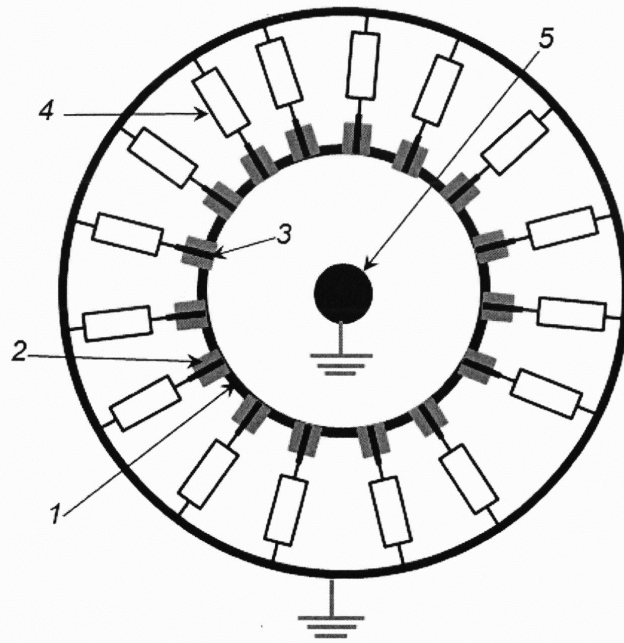
35 (57) Формула полезной модели

Сильноточная электронная пушка с радиально сходящимся пучком для обработки поверхностей протяженных изделий, содержащая полый цилиндрический взрывоэмиссионный катод и размещенную коаксиально внутри него и находящуюся под потенциалом анода обрабатываемую деталь, генератор высоковольтных импульсов, питающий электронную пушку, отличающаяся тем, что в катод встроены резистивно-развязанные дуговые источники плазмы, инициируемые пробоем по поверхности диэлектрика между катодом и электродами дуговых источников плазмы.

40

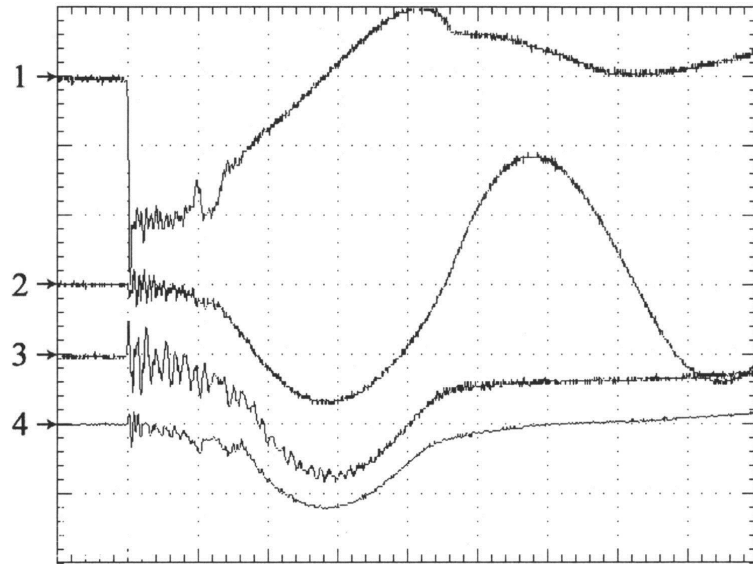
45

1

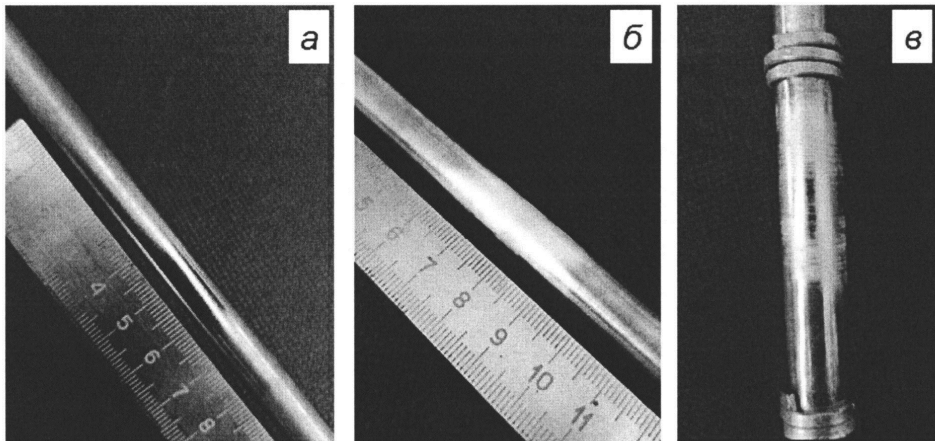


Фиг. 1

2



Фиг. 2



Фиг. 3