



Шрам А. А.

ПЛАЗМОТРОН ДЛЯ ИОННО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ СТЕКЛА ПРИ АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ

Предложена конструкция и исследованы режимы работы электродугового плазмотрона постоянного тока, который устраняет необходимость в использовании порошкового материала покрытия определенного гранулометрического состава, позволяет использовать в качестве исходного материала внедрения водные растворы солей и повышает эффективный коэффициент использования материала внедрения при поверхностной обработке стекла.

Ключевые слова: плазмотрон, стекло, материал внедрения, модификация поверхности, покрытие.

1. Введение

Современные технологические процессы, позволяющие изменять физико-химические и механические свойства поверхностей конструкционных материалов с минимальными экономическими затратами, находят широкое применение в промышленности [1–4]. Однако основная масса исследований методов обработки стекла посвящена вакуумным способам и созданию непроникающих покрытий, которые подвержены физическому и химическому воздействию. Поэтому разработка плазменных устройств, позволяющих повысить эффективность обработки за счет организации процесса при атмосферном давлении, является актуальной задачей.

2. Анализ публикаций и постановка проблемы

Для формирования плазменных покрытий используются различные конструктивные решения, которые зависят от способа обработки, исходного материала покрытия, материала подложки и других факторов. В работе [5] предлагается использовать прутковый материал покрытия в схеме плазменного напыления с воздействием ультразвука. В процессе работы происходит распыление материала внедрения в виде фонтана и выброс в поток газа микрокапель, которые переносятся на поверхность основы. В работах [6–8] предлагается использовать в качестве исходного материала внедрения порошкообразные материалы различной дисперсности. Форма частиц напыляемого порошка должна быть близкой к сферической, а порошок должен быть строго определенного зернового состава с размером частиц от 80 до 250 мкм. Различие в размерах частиц оказывает негативное влияние на качество покрытий. Предложенные решения требуют предварительной подготовки материала внедрения, использования дополнительного дорогостоящего оборудования, кроме того данные способы позволяют формировать только непроникающие покрытия, которые подвержены физическому и химическому воздействию.

3. Объект, цель и задачи исследования

Одним из перспективных методов обработки стекла является ионно-плазменный, основанный на использовании в качестве инструмента обработки стекла токопроводящей плазмы, которая служит для внедрения в поверхность материала «активированного» модификатора в виде ионов при атмосферном давлении [9, 10].

Объектом исследования является установка для ионно-плазменной обработки поверхности стекла.

Цель настоящей работы заключается в разработке конструкции и исследовании режимов работы электродугового плазмотрона постоянного тока для модификации поверхностных свойств стекла при атмосферном давлении.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- разработать экспериментальную установку и плазмотрон для ионно-плазменной обработки поверхности стекла при атмосферном давлении;
- используя инженерную методику расчета плазмотронов определить обобщенные зависимости вольт-амперной характеристики и коэффициента полезного действия от рабочих параметров.

4. Разработка электродугового плазмотрона для ионно-плазменной обработки поверхности стекла

Плазмотроны, серийно выпускаемые промышленностью, не могут непосредственно использоваться при ионно-плазменной обработке, поскольку не позволяют работать с водными растворами солей, перегревают стекломассу в зоне обработки, а также требуют специальной подготовки материала внедрения в виде мелкодисперсных порошков строгого гранулометрического состава либо проволоки. Поэтому для исследования процесса ионно-плазменной обработки поверхности стекла с учетом инженерной методики расчета плазмотронов разработан однокамерный плазмотрон с газовыхревой стабилизацией дуги, конструктивная схема которого показана на рис. 1 и рис. 2.

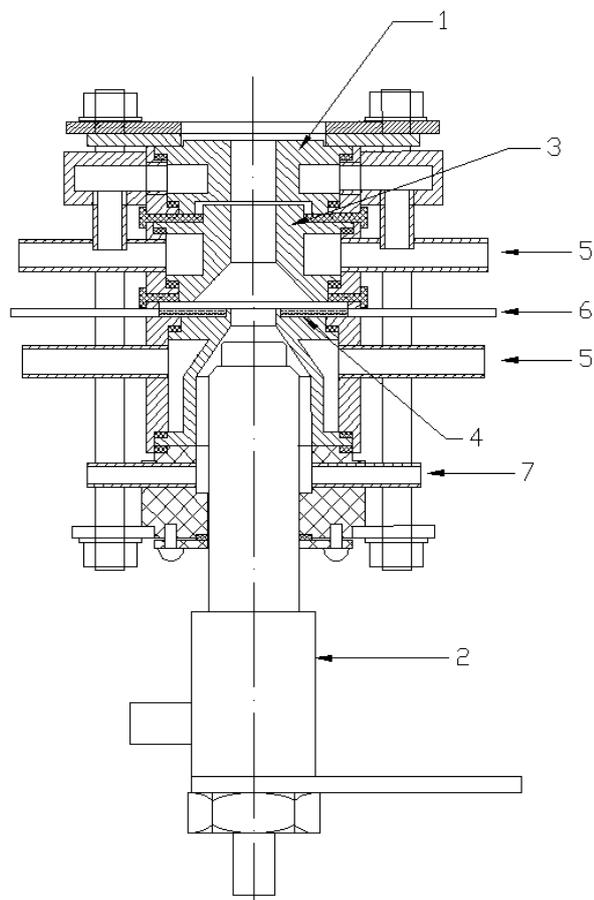


Рис. 1. Конструктивная схема плазматрона:
1 — анод; 2 — катод; 3 — беспотенциальная секция; 4 — испарительная секция; 5 — охлаждающая вода; 6 — водный раствор солей; 7 — воздух

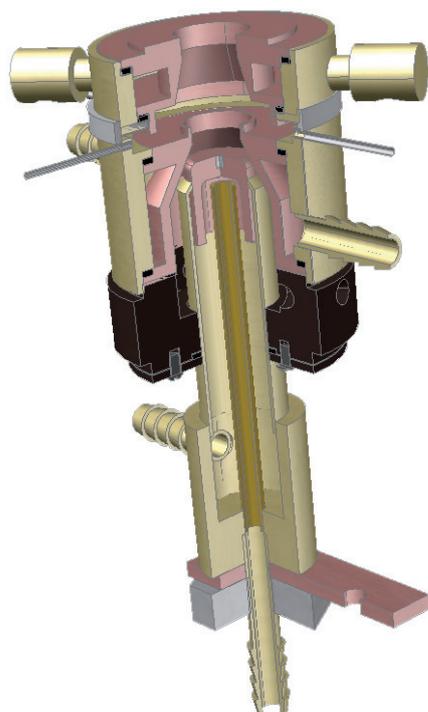


Рис. 2. Трехмерная модель плазматрона для работы с водными растворами солей

Плазматрон состоит из медного анода 1, полого катода 2, выполненного из меди с запрессованной гафниевой вставкой, межэлектродной 3 и испарительной секции 4. Герметизация разъемных соединений выполняется с помощью резиновых и фторопластовых прокладок. Охлаждающая жидкость (вода) подается отдельно в систему охлаждения анода и катода через соответствующие штуцеры. Подача плазмообразующего газа (воздуха) на входе в вихревую камеру осуществляется с помощью тангенциальных отверстий в воздухоподводящем кольце, выполненном из электроизоляционного материала. Магнитное поле, создаваемое соленоидом, служит для дополнительной стабилизации радиального участка дуги в выходном электроде и организации условий равномерного теплового воздействия в прианодной области. Плазматрон предназначен для работы с водными растворами солей, которые подаются в испаритель 4. Генерируемая в аппарате плазменная дуга, обжата потоком воздуха, воздействует на подаваемый в испаритель исходный материал и создает условия интенсивного обогащения плазменного потока парами внедряемого материала с последующим переносом энергетически активной парогазовой среды к поверхности обработки. Разработанный электродуговой плазматрон позволяет получать проникающие покрытия с различными физико-химическими и механическими свойствами при атмосферном давлении.

Для построения характеристики теплового КПД плазматрона, а также вольт-амперной характеристики воспользуемся системой уравнений:

$$\frac{1-\eta}{\eta} = 5,85 \cdot 10^{-5} \cdot \left(\frac{I^2}{G \cdot d}\right)^{0,27} \cdot \left(\frac{G}{d}\right)^{-0,27} \cdot (p \cdot d)^{0,3} \cdot (\bar{l})^{0,5}, \quad (1)$$

$$U = 1290 \cdot \left(\frac{I^2}{G \cdot d}\right)^{-0,15} \cdot \left(\frac{G}{d}\right)^{0,3} \cdot (p \cdot d)^{0,25}, \quad (2)$$

где I — величина тока, А; U — напряжение, В; G — расход плазмообразующего газа, кг/с; d — диаметр анодного сопла, м; p — давление газа на выходе из подогревателя, Н/м²; $\bar{l} = \left(\frac{l}{d}\right)$ — относительная длина выходного электрода.

С учетом особенностей конструкции разрабатываемого плазматрона и его условий работы, а также слабой зависимости напряжения электрической дуги от критерия Кнудсена (комплекс pd) уравнение вольт-амперной характеристики может быть представлено в следующем виде:

$$U = 1290 \cdot \left(\frac{I^2}{G \cdot d}\right)^{-0,15} \cdot \left(\frac{G}{d}\right)^{0,3}. \quad (3)$$

5. Результаты исследований режимов работы плазматрона для ионно-плазменной обработки поверхности стекла

Вольт-амперные характеристики плазматрона и зависимость коэффициента полезного действия от силы

тока при различных расходах плазмообразующего газа представлены на рис. 3 и рис. 4.

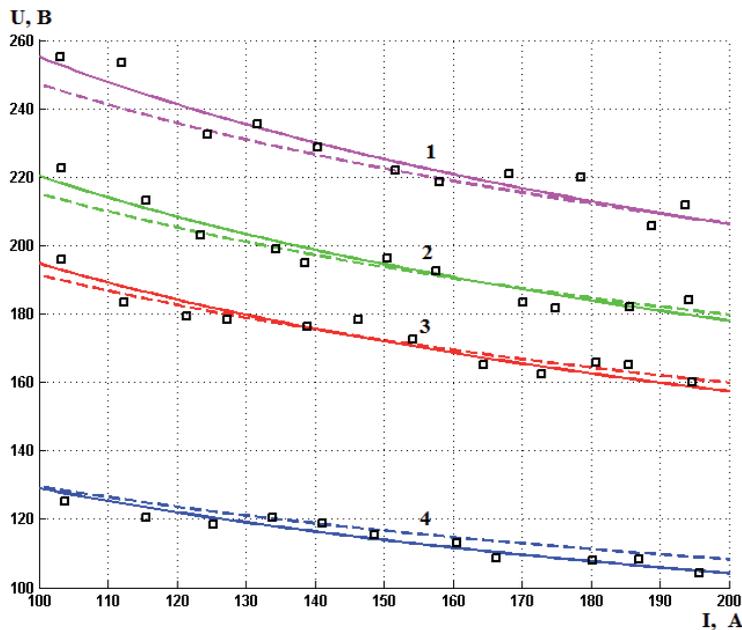


Рис. 3. Вольт-амперная характеристика (зависимость напряжения U от силы тока I) плазматрона при работе на воздухе с различным расходом плазмообразующего газа G : — расчет; -- упрощенная зависимость; \square — эксперимент; 1 — $G = 0,0029$ кг/с; 2 — $G = 0,0021$ кг/с; 3 — $G = 0,0016$ кг/с; 4 — $G = 0,000646$ кг/с

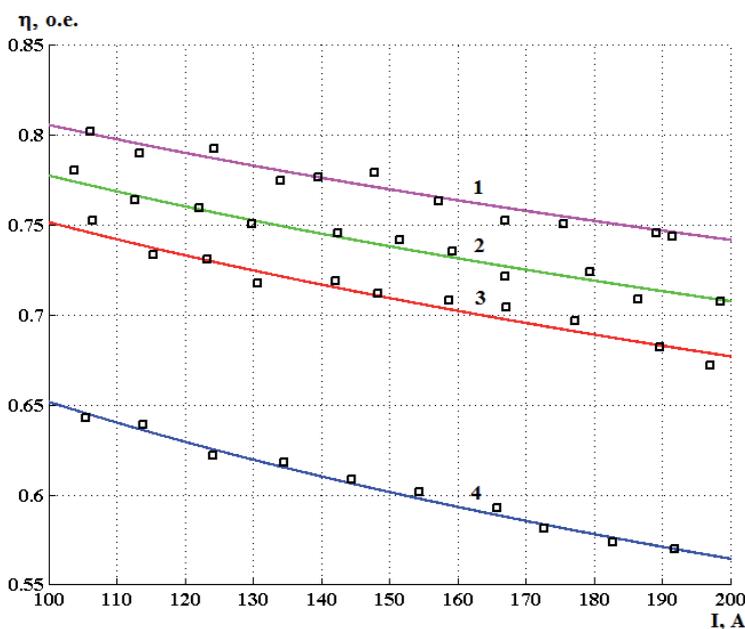


Рис. 4. Зависимость коэффициента полезного действия плазматрона η от силы тока I при работе на воздухе с различным расходом плазмообразующего газа G : — расчет; \square — эксперимент; 1 — $G = 0,0029$ кг/с; 2 — $G = 0,0021$ кг/с; 3 — $G = 0,0016$ кг/с; 4 — $G = 0,000646$ кг/с

Расчет вольт-амперной характеристики по предложенной зависимости удовлетворительно согласуется с экспериментальными данными (рис. 3). Погрешность при определении ВАХ по упрощенной зависимости в диапазоне рабочих токов 110...120 А не превышает 3 %.

Увеличение расхода плазмообразующего газа (воздуха) приводит к смещению вольт-амперной характе-

ристики в сторону увеличения рабочего напряжения при неизменной силе тока.

6. Обсуждение результатов исследований режимов работы плазматрона для ионно-плазменной обработки поверхности стекла

На основе вышеизложенного можно прийти к выводу, что организация процесса ионно-плазменной обработки стекла и стеклоизделий с применением разработанного электродугового плазматрона устраняет необходимость в использовании порошкового материала покрытия определенного гранулометрического состава или проволоки, позволяет проводить процесс при атмосферном давлении, использовать в качестве исходного материала внедрения водные растворы солей, а также создает предпосылки для возможной организации процесса с применением отходов химической промышленности (кобальтовых катализаторов, никельсодержащих штейнов, оксидов молибдена и др.).

Уменьшение времени обработки стекла с применением разработанного плазматрона позволит более эффективно использовать материал внедрения, снизить расход плазмообразующего газа и сократить расход электроэнергии на 30 %.

В результате исследования режимов работы плазматрона установлено, что в диапазоне рабочих токов 110...120 А коэффициент полезного действия составляет 63...80 %, а увеличение расхода плазмообразующего газа на 30 % приводит к увеличению КПД на 4 %.

Разработанный плазматрон может применяться для нанесения проникающих покрытий при изготовлении светофильтров для защиты от ультрафиолетового излучения, для придания художественного оформления (декоративные покрытия) бытовых светильников.

7. Выводы

Основные результаты исследований заключаются в следующем:

1. Разработан электродуговой плазматрон постоянного тока, который устраняет необходимость в использовании порошкового материала покрытия определенного гранулометрического состава, позволяет использовать в качестве исходного материала внедрения водные растворы солей и повышает эффективный коэффициент использования материала внедрения.

2. Установлено, что плазматрон устойчиво работает в широком диапазоне изменения технологических параметров (величина тока, расход плазмообразующего газа и др.), обладает высоким ресурсом работы, простотой конструкции и обеспечивают формирование проникающих покрытий на поверхности обработки при атмосферном давлении.

3. Исследованы режимы работы, а также получена упрощенная зависимость для определения вольт-амперной характеристики разработанного плазмотрона, которая удовлетворительно коррелирует с экспериментальными данными.

Литература

1. Chen, F. F. Principles of plasma processing [Text] / F. F. Chen, J. P. Chang. — Los Angeles: Plenum/Kluwer Publishers, 2002. — 249 p.
2. Дресвин, С. В. Физика и техника низкотемпературной плазмы [Текст] / С. В. Дресвин, А. В. Донской, В. М. Гольдфарб, В. С. Клубникин; под общ. ред. С. В. Дресвина. — М.: Атомиздат, 1972. — 352 с.
3. Дзюба, В. Л. Физика, техника и применение низкотемпературной плазмы [Текст]: монография / В. Л. Дзюба, К. А. Корсунов. — Луганск: ВНУ им. В. Даля, 2007. — 448 с.
4. Fridman, A. Plasma Chemistry [Text] / A. Fridman. — Cambridge: Cambridge University Press, 2008. — 1022 p. — ISBN-13 978-0-511-39857-5.
5. Способ плазменного напыления покрытий [Электронный ресурс]: Патент РФ № 2283364, МПК С 23 С 4/12 / Бекренев Н. В., Лясников В. Н., Трофимов Д. В.; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Саратовский государственный технический университет. — № 200413266602; заявл. 09.11.2004; опубл. 10.09.2006. — Режим доступа: \www/URL: <http://www.freepatent.ru/patents/2283364>
6. Тополянский, П. А. Плазменное нанесение токопроводящих покрытий на инструмент и технологическую оснастку при атмосферном давлении [Текст] / П. А. Тополянский // Сварка в Сибири. — 2005. — № 1(13). — С. 63–66.
7. Тополянский, П. А. Исследование ионно-плазменных износостойких покрытий на инструментальных сталях [Текст] / П. А. Тополянский // Металлообработка. — 2004. — № 1(19). — С. 24–30.
8. Крохин, В. П. Декорирование стекла и изделий из него методом плазменного напыления [Текст] / В. П. Крохин, В. С. Бессмертный, В. А. Панасенко и др. // Стекло и керамика. — 1999. — № 3. — С. 12–14.
9. Авдеев, И. В. Модификация поверхности силикатного стекла ионно-плазменной обработкой [Текст] / И. В. Авдеев, С. П. Лушин, А. А. Шрам // Физика и химия обработки материалов. — Москва, 2009. — № 2. — С. 54–57.
10. Способ поверхностной модификации стекла и стеклоизделий: Декларационный патент на полезную модель № 11329, С 03 С 17/06 / Авдеев И. В., Шрам А. А., Малышко С. Е., Выхованец В. В. — Бюл. № 12. — 2005.

ПЛАЗМОТРОН ДЛЯ ИОННО-ПЛАЗМОВОЙ ОБРОБКИ ПОВЕРХНІ СКЛА ПРИ АТМОСФЕРНОМУ ТИСКУ

Запропоновано конструкцію і досліджені режими роботи електродугового плазмотрона постійного струму, який усуває необхідність у використанні порошкового матеріалу покриття певного гранулометричного складу, дозволяє використовувати в якості вихідного матеріалу впровадження водні розчини солей і підвищує ефективний коефіцієнт використання матеріалу впровадження при поверхневій обробці скла.

Ключові слова: плазмотрон, скло, матеріал впровадження, модифікація поверхні, покриття.

Шрам Александр Анатольевич, кандидат технических наук, доцент, кафедра электроснабжения промышленных предприятий, Запорожский национальный технический университет, Украина, e-mail: alexshrum@yahoo.com.

Шрам Олександр Анатолійович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра електропостачання промислових підприємств, Запорізький національний технічний університет, Україна.

Shram Alexander, Zaporizhzhya National Technical University, Ukraine, e-mail: alexshrum@yahoo.com

УДК 621.362.192

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.44212

**Зайков В. П.,
Мещеряков В. И.,
Журавлев Ю. И.**

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ МАТЕРИАЛОВ НА ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ ДВУХКАСКАДНЫХ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Проведен сравнительный анализ основных параметров и показателей надежности двухкаскадных термоэлектрических устройств (ТЭУ) при использовании различных вариантов сочетаний параметров исходных материалов, отличающихся коэффициентами термоЭДС $\bar{\epsilon}$ и электропроводности $\bar{\sigma}$, для перепадов температуры ΔT от $\Delta T = 60$ К до $\Delta T = 90$ К и режимов работы от Q_{0max} до λ_{min} , и показана возможность уменьшения суммарной интенсивности отказов двухкаскадных ТЭУ.

Ключевые слова: надежность, термоэлектрические устройства, материалы, температура, интенсивность отказов.

1. Введение

Термоэлектрические охлаждающие устройства относятся к перспективным системам обеспечения тепловых режимов радиоэлектронной аппаратуры, которые имеют преимущество по сравнению с воздушными и жид-

костными системами по массогабаритным параметрам, динамическим характеристикам и показателям надежности, что обусловлено отсутствием подвижных частей и твердотельной природе генерации холода.

Основными параметрами и показателями термоэлектрических охладителей являются: перепад температур,