

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПРОЦЕССОВ ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННОГО ЛЕГИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛОИЗДЕЛИЙ «ЛЕГЕНДА»

Д.П. Борисов, А.А. Зенин, А.Д. Коротаев, В.М. Кузнецов, А.Н. Тюменцев
Томский государственный университет, пр. Ленина, 36, Томск, 634050, Россия,
тел: +79138858245, e-mail: borengin@mail.ru

Представлена вакуумная установка для высококачественной реализации таких видов технологических процессов ионно-плазменной обработки поверхности металлоизделий как очистка, травление, полировка, азотирование, легирование и имплантация ионами газов и осаждение углеводородных тонких плёнок. Представленный технологический вакуумно-плазменный комплекс основан на высокоэффективном генераторе низкотемпературной газоразрядной плазмы с полым анодом, которым является внутренняя поверхность самой вакуумной технологической камеры большого объёма. Генерация однородно распределённой газоразрядной плазмы высокой концентрации осуществляется за счёт стационарного горения несамостоятельного газового дугового разряда низкого давления с катодом, состоящим из двух комбинированных (термоэмиссионного и полого) катодных узлов, расположенных каждый на диаметрально противоположных фланцах цилиндрической вакуумной камеры

Введение

Для широкого распространения вакуумных ионно-плазменных методов в технологиях машино-, приборостроения, микроэлектроники, получения новых материалов, нанотехнологии и др. требуется совершенствование существующих, разработка и внедрение новых видов ионно-плазменного оборудования и соответствующих им новых способов обработки материалов и изделий. Это вызвано, во-первых, необходимостью достижения нужных результатов модифицирующего ионно-плазменного воздействия, определяемого современными требованиями к различным свойствам материалов и изделий, которые, в свою очередь, определяются задачами повышения набора функциональных и потребительских характеристик. Во-вторых, создание новой ионно-плазменной техники призвано способствовать повышению качества процессов ионно-плазменной обработки изделий различной сложности и геометрической конфигурации: однородность, производительность, высокий уровень контроля и повторяемости результатов.

Представленная в данной публикации разработка относится к области уже издавна используемых и внедрённых во многих отраслях производства методов модифицирующего воздействия на поверхность материалов и изделий низкотемпературной газоразрядной плазмы. Методики с применением низкотемпературной газоразрядной плазмы позволяют осуществлять большой ряд важных технологических процессов, например, таких как: травление полупроводниковых структур в микроэлектронике [1]; формование, тонкая заточка и полировка инструмента различного назначения [2]; ионные азотирование [3] и цементация [4]. Разработанная нами вакуумно-плазменная установка, внешний вид которой представлен на рис. 1, имеет возможность реализации многих видов технологических процессов с применением низкотемпературной газоразрядной плазмы, в том числе всех перечисленных выше, что определило наименование данной разработки как технологического комплекса процессов вакуумно-плазменной поверхностной обработки.



Рис. 1. Внешний вид технологического комплекса процессов вакуумно-плазменного легирования поверхности металлоизделий «ЛЕГЕНДА»

Преимуществом комплекса является то, что в нём реализовано условие повышения качества процессов ионно-плазменного легирования, в том числе азотирования, за счёт применения новых принципов и физико-технических элементов организации технологических процессов: оригинальная откачка для обеспечения чистого вакуума, автоматизированная система контроля параметров всех технологических устройств и стадий, высокоэффективный генератор плазмы.

Генератор низкотемпературной плазмы газов, являясь основным технологическим элементом комплекса, должен обеспечивать создание газоразрядной плазмы с высокой степенью ионизации, с возможностью вариации плотности и однородным распределением во всём внутреннем пространстве вакуумной камеры, которое является рабочим технологическим объёмом. Ввиду этого, генерация газоразрядной плазмы комплекса осуществляется за счёт стационарного диффузного горения несамостоятельного газово-

го дугового разряда низкого давления с большим полым анодом, которым является внутренняя поверхность самой вакуумной технологической камеры. Назначение и физический метод, формирующий весь комплекс технологий, кратко отражены в названии установки – «ЛЕГЕНДА» (легирование генерацией дуги в большом полом аноде).

Описание оборудования и принципов работы комплекса

Устройство генератора плазмы рабочих газов, являющегося основой всего технологического комплекса, показано на структурной электрофизической схеме (рис. 2).

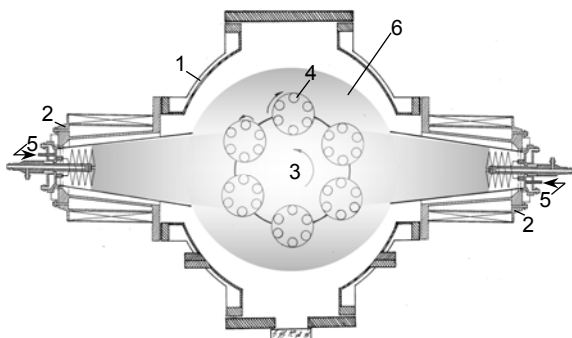


Рис. 2. Структурная электрофизическая схема технологического комплекса «ЛЕГЕНДА» (генератора газоразрядной плазмы): 1 – вакуумная камера – анод генератора плазмы; 2 – катодные узлы генератора плазмы; 3 – манипулятор вращения обрабатываемых изделий; 4 – обрабатываемое изделие; 5 – подача рабочего газа; 6 – газоразрядная плазма

Создание газоразрядной плазмы во всём внутреннем пространстве вакуумной камеры технологического комплекса обеспечивается за счёт горения газового дугового разряда низкого давления с термоэмиссионным катодом. Выбор разряда этого типа обусловлен тем, что дуговые разряды низкого давления имеют диффузный характер горения с расширенной областью положительного столба, занимающей весь разрядный объём. Применение термоэмиссионного катода создаёт условие несамостоятельности газового разряда. При этом облегчается зажигание такого разряда и появляется возможность широкой и не зависящей от давления рабочего газа регулировки его параметров, в частности тока разряда и концентрации плазмы, за счёт широкого диапазона изменения накала катода и значения термоэлектронной эмиссии. Приведённые особенности генератора плазмы создают условия для реализации хорошо контролируемых технологических процессов обработки изделий газоразрядной плазмой.

Главной особенностью разрядной схемы генератора плазмы является применение в ней распределённого катода, состоящего из двух комбинированных (электрически соединённых

термоэмиссионного и полого) катодных узлов, расположенных на диаметрально противоположных фланцах цилиндрической вакуумной камеры – анода разряда. Основанием применения такого принципа организации разряда является требование повышения эффективности генерации плазмы и обеспечения однородности её распределения в объёме вакуумной камеры.

Известны эффективные генераторы газоразрядной плазмы, обеспечивающие степень ионизации, близкую к 100%, например, источники плазмы дуопигатронного типа [5]. Однако, такие источники имеют малый размер выходной апертуры генерируемой плазмы, вследствие чего имеют большую неоднородность её распределения с максимумом в центре и значительным падением плотности к периферии плазменного потока, диаметр которого, как правило, имеет сравнительно небольшую величину (0,05 – 0,2 м). Данное обстоятельство исключает применение источников плазмы этого типа для создания высокопроизводительных (с большим рабочим объёмом) технологий плазменной обработки изделий, а также заключённых в них принципов повышения эффективности генерации плазмы – для реализации высокопроизводительных ионно-плазменных технологий требуется однородное заполнения плазмой больших технологических объёмов.

Генерация газоразрядной плазмы в цилиндрической вакуумной камере (с внутренними размерами: диаметр 600 мм, высота 500 мм) представляемого комплекса осуществляется следующим образом (рис. 2). После накала термоэмиссионных катодов и обеспечения одинакового напуска рабочего газа в оба катодных узла 2, прикладывается постоянное напряжение между электрически соединёнными друг с другом катодными узлами 2 и вакуумной камерой – анодом 1. При этом эмитируемые термоэмиссионными катодами электроны ионизируют газ, и, вследствие провисания потенциала анода в полости конических полых катодов катодных узлов, возникает эффект полого катода, состоящий в образовании катодного падения потенциала у внутренних стенок катодных полостей обоих катодных узлов. Электроны, отражаясь от потенциального барьера, создаваемого катодными полостями, совершают колебательные движения в полостях и эффективно ионизируют газ. Ионы, ускоренные в прикатодном слое положительного пространственного заряда, бомбардируют поверхность внутренних стенок катодных полостей, вызывая эмиссию вторичных электронов, которые усиливают ионизацию газа. Расширяющаяся плазма создаёт условия для зажигания дугового разряда между комбинированными катодными узлами 2 и стенками вакуумной камеры 1, которая заполняется однородной плазмой, являясь полым анодом разряда. Наличие магнитного поля с индукцией 0,01 – 0,02 Т в полостях катодных узлов необходимо для поддержания и стабилизации разряда при низких давлениях рабочего газа.

Применение разрядной схемы с двумя расположенными напротив друг друга на диаметрально противоположных фланцах вакуумной камеры

катодными узлами с коническими полыми катодами [6] позволило достичь высокой эффективности генератора газоразрядной плазмы. Разряд в данной конфигурации разрядной схемы инициируется при таком низком давлении в вакуумной камере как $p=(1,2 - 4) \times 10^{-2}$ Па в зависимости от рода рабочего газа, при этом, функционируя с применением в качестве рабочего газа аргона, генератор плазмы при давлении $p=1,2 \times 10^{-2}$ Па обеспечивал разрядный ток на уровне $I_d=50$ А. Вероятной причиной такого повышения эффективности является используемая оригинальная разрядная схема, которая должна приводить к осцилляции электронов между двумя полыми катодными узлами в объёме вакуумной камеры с обрабатываемыми изделиями, что приводит к более эффективной наработке плазмы при низких давлениях. При этом распределение плазмы в объёме вакуумной камеры характеризовалось высокой степенью однородности. В центральной области вакуумной камеры диаметром 400 мм, где располагаются обрабатываемые изделия, неоднородность плотности плазмы была не более 5 %.

Заключение

Разработанная новая установка позволяет повысить уровень качества технологических процессов технологических процессов вакуумно-плазменной модификации материалов и изделий, в том числе легирования (азотирования), как наиболее эффективной технологии упрочнения изделий из стали и сплавов. Полученные при испытаниях технологического комплекса установки результаты можно изложить в следующих тезисах.

1. Применение нового принципа генерации плазмы позволило повысить однородность распределения газоразрядной плазмы в объёме вакуумной камеры и степень её ионизации.

2. Повышение степени ионизации плазмы позволяет снизить давление технологических процессов при сохранении на высоком уровне таких параметров как ток разряда и концентрация генерируемой плазмы.

3. Уменьшение рабочего давления приводит к снижению скорости роста паразитных инородных полимерных плёнок, образующихся на поверхности обрабатываемых изделий из остаточной атмосферы, что обуславливает улучшение качества технологических процессов.

4. Улучшению чистоты вакуумных условий технологического комплекса также способствует применение безмасляной системы откачки на основе криогенного высоковакуумного насоса.

5. Указанные выше условия проведения технологических процессов позволяют снизить значение отрицательного напряжения смещения изделий во время обработки в плазме, что приводит к уменьшению распыления, величины микрорельефа и уровня поверхностных дефектов.

6. Сочетание положительных физико-технических характеристик комплекса позволяет разрабатывать эффективные плазменные процессы, такие как очистка, травление, полировка, азотирование, имплантация ионами газов и осаждение углеводородных плёнок при использовании аргоно-ацетиленовой смеси газов.

7. Применение автоматизированной системы управления позволяет повысить качество процессов, их повторяемость и безопасность работы персонала.

Список литературы

1. Данилин Б.С., Киреев В.Ю. Применение низкотемпературной плазмы для травления и очистки материалов. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 263 с.
2. Uemura K., Shalnov K.V., Kukhta V.R., Purwadi R., and Ochi T. // Proc. 10th International Conference on Modification of Materials with Particle Beams and Plasma Flows, September 19-24, Tomsk, Russia, 2010.- P. 278.
3. Борисов Д.П., Гончарова В.В., Кузьмиченко В.М., Савостиков В.М., Сергеев С.М. // Металловедение и термическая обработка металлов. - 2006. - 12. - С. 11.
4. Bong-Seok Suh, Won-Jong Lee // Thin Solid Films. – 1997. – 295. – С.185.
5. Форрестер А.Т. Интенсивные ионные пучки. Пер. с англ. – М.: Мир, 1991. – 358 с.
6. Борисов Д.П. Устройство для создания однородной газоразрядной плазмы в технологических вакуумных камерах больших объёмов. Патент РФ № 87065, 2009.

«LEGENDA» VACUUM-PLASMA COMPLEX FOR TECHNOLOGICAL SURFACE TREATMENT OF METALWARE

D.P. Borisov, A.A. Zenin, A.D. Korotaev, V.M. Kuznetsov, and A.N. Tyumentsev
Tomsk State University, 36 Lenin Ave., Tomsk, 634050, Russia,
tel. +79138858245, e-mail: borengin@mail.ru

The paper describes a vacuum-plasma complex for highly efficient technological ion-plasma metalware surface treatment that includes cleaning, etching, polishing, nitriding, doping and implantation with gas ions, and deposition of thin hydrocarbon films. The technological vacuum-plasma complex is based on a high-efficiency low-temperature gas discharge plasma generator with a hollow cathode in which the latter is the inner surface a large-volume cylindrical vacuum chamber. Uniformly distributed high-density gas discharge plasma is generated due to a steady-state non-self-sustained low-pressure arc gas discharge with a cathode consisting of two combined (thermionic and hollow) units located on diametrically opposite flanges of the vacuum chamber.