

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ ЭФФЕКТИВНОЙ ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ ИЗДЕЛИЙ

Д.П. Борисов¹⁾, А.Д. Коротаев¹⁾, В.М. Кузнецов¹⁾, В.Я. Романов¹⁾, П.Н. Сильченко²⁾, П.А. Терехов¹⁾

¹⁾Томский государственный университет, пр. Ленина, 36, Томск, 634050, Россия,
тел: +79138858245, e-mail: borengin@mail.ru

²⁾Сибирский федеральный университет, пр. Свободный, 79, Красноярск, 660041, Россия

Представлены характеристики и особенности конструкций новых вакуумно-плазменных установок с большими рабочими вакуумными объемами. Продемонстрирована возможность создания эффективных способов и технологических процессов улучшения поверхностных свойств изделий методами очистки, легирования и формирования многокомпонентных композитных покрытий, основанных на новых образцах вакуумно-плазменной техники с применением дугового газового разряда низкого давления.

Введение

В начале 90-х годов прошлого столетия был создан генератор низкотемпературной плазмы газов, обеспечивающий получение газоразрядной плазмы высокой концентрации в больших вакуумных объемах и позволяющий решить многие проблемы в повышении эффективности вакуумных технологий обработки изделий [1]. За счёт возможности гибкой вариации плотности плазмы различных газов с однородным распределением последней во всём внутреннем пространстве вакуумных камер с помощью указанного плазмогенератора удаётся реализовывать высококачественные процессы очистки, травления, азотирования, легирования поверхности различных изделий, а также плазмоассистированного нанесения различных функциональных покрытий. Авторами этой работы осуществляется усовершенствование данного устройства [2] с целью удовлетворения высоких требований качества промышленных вакуумно-плазменных технологий. Достигнутые достоинства плазмогенератора новой модели [2] – возможность получения ещё более однородной в достаточно большом вакуумном объёме изотропной газоразрядной плазмы высокой концентрации с возможностью гибкого регулирования её плотности были положены авторами в основу новых технологических вакуумно-плазменных установок “LEGEND@” и “SPRUT” и способов, описание которых представлено ниже.

Вакуумно-плазменные установки

Общий вид со структурными схемами установок “LEGEND@” и “SPRUT” представлены на рис. 1 и 2 соответственно. Генератор газоразрядной плазмы с распределённым катодом состоит из двух расположенных на диаметрально противоположных фланцах вакуумной камеры 1 (рис. 1 и 2) катодных узлов 2 с термоэмиссионными и полыми катодами. При напуске рабочего газа 3 и зажигании разряда плазмогенератора вся внутренняя полость вакуумной камеры (анода разряда) заполняется однородной газоразрядной плазмой 4, в которой обрабатываются изделия 5. Обе установки оснащены магнетронно-распылительными системами 6, а установка “SPRUT” имеет в своём составе и электродуговые испарители 7 (рис. 2).

Расположение технологических источников

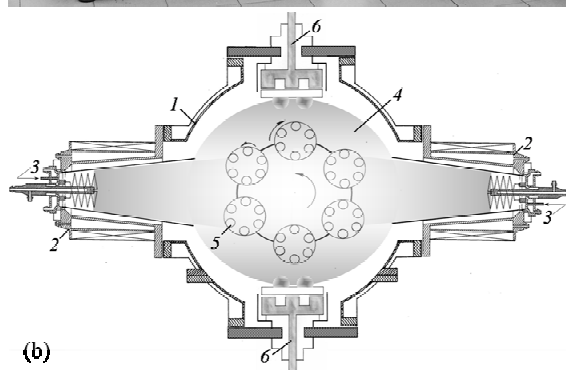
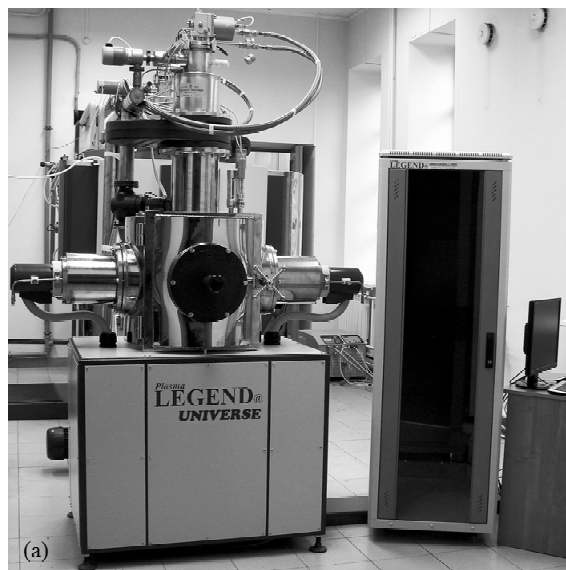


Рис. 1. Общий вид (а) и структурная схема (б) технологической установки “LEGEND@”: 1 – вакуумная камера; 2 – катодные узлы генератора газоразрядной плазмы; 3 – напуск рабочего газа; 4 – объемная плазма; 5 – обрабатываемые изделия; 6 – магнетронно-распылительные системы

плазмы равномерно по всей боковой поверхности вакуумных камер обеспечивает постоянное (без перерывов) нахождение обрабатываемого изделия в зоне плазменной обработки. Такая схема позволяет повысить контроль протекания плазмохимических реакций на поверхности обрабатываемых изделий.

Кроме эффективного генератора газоразрядной плазмы в представленных установках ис-

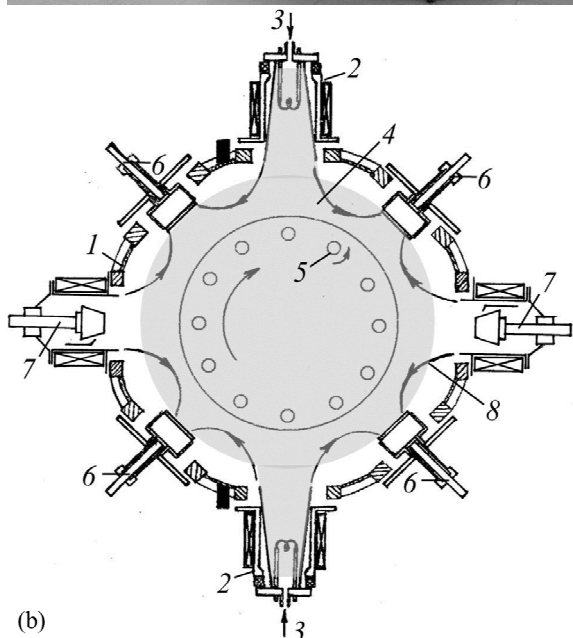
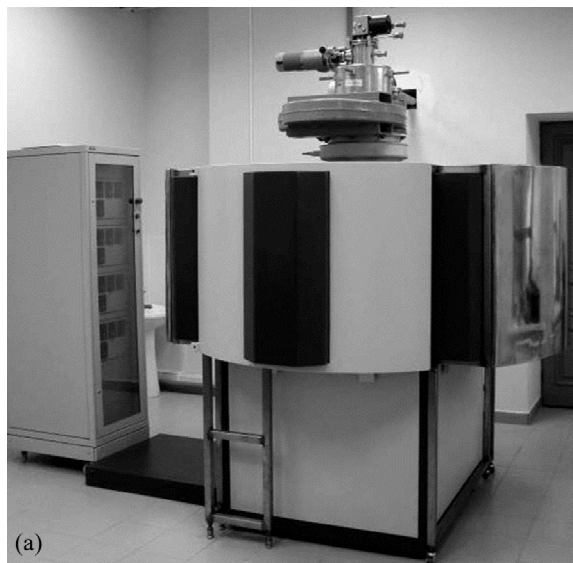


Рис. 2. Общий вид (а) и структурная схема (б) технологической установки "SPRUT": 1 – вакуумная камера; 2 – катодные узлы генератора газоразрядной плазмы; 3 – напуск рабочего газа; 4 – объемная плазма; 5 – обрабатываемые изделия; 6 – магнетронно-распылительные системы; 7 – электродуговые испарители; 8 – линии замкнутого магнитного поля («магнитная стенка»)

пользуются криогенная откачка для повышения контроля вакуумных условий и качества технологических плазменных процессов.

Особенностью систем вакуумной откачки обеих установок является то, что высоковакуумные криогенные насосы смонтированы сверху вакуумных камер. При такой организации откачки обеспечивается эффективная защита криогенных насосов от загрязнения продуктами плазменных процессов испарения, распыления материалов – макрочастицами (каплями, осколками, кластерами и др.), ввиду того, что под действием силы тяжести поток этих частиц к верхней части вакуумной камеры значительно снижен.

Основные характеристики и параметры представляемых установок приведены в таблице.

Таблица - Характеристики вакуумно-плазменных установок

Параметр	LEGEND@	SPRUT
Размеры (объём) вакуумной камеры	Диаметр - 600 мм, высота - 500 мм (0.14 м ³)	Диаметр - 1200 мм, высота - 660 мм (0.7 м ³)
Материал вакуумной камеры	Нержавеющая сталь	Нержавеющая сталь
Вакуумная откачка	Криогенный насос, 1200 л/с	Криогенный насос, 5000 л/с
Остаточное давление в вакуумной камере	6·10 ⁻⁴ Па	6·10 ⁻⁴ Па
Источник газоразрядной плазмы	Генератор плазмы с двумя катодными узлами с общим анодом – вакуумной камерой	Генератор плазмы с двумя катодными узлами с общим анодом – вакуумной камерой
Рабочее давление процессов	0.13-0.67 Па	0.13-0.67 Па
Концентрация газоразрядной плазмы	10 ¹⁰ -5·10 ¹¹ см ⁻³	10 ⁹ -10 ¹¹ см ⁻³
Число мест для размещения изделий	36, общий вес до 100 кг	72, общий вес до 300 кг
Рабочие газы	Ar, N ₂ , ацетилен и др.	Ar, N ₂ , ацетилен и др.

Закключение

Высокие характеристики и свойства генерации газоразрядной плазмы в представленных установках (изотропная однородно распределённая плазма высокой концентрации ~10¹¹ см⁻³ с возможностью её гибкого регулирования в широких пределах при низком рабочем давлении ~0,1 Па) позволяют довольно просто реализовывать процессы вакуумно-плазменной обработки поверхности изделий. В установках была получена высокая скорость азотирования стальных изделий с сохранением практически неизменной чистоты обработки поверхности на уровне первоначальной (рис. 3) ввиду повышенной плотности газоразрядной плазмы (10-15 мА/см²) и достаточно качественной очистки поверхности при невысоком отрицательном потенциале смещения подложек (≤30 В). При этом эффективная толщина упрочнённого за счёт азотирования слоя достигала значений в десятки микрон даже при продолжительности процесса 1 час при такой низкой температуре азотирования как 380⁰С, а поверхностная микротвёрдость обработанных изделий, измеренная при нагрузке 0,2 Н, возрастала в 3-4 раза по сравнению с твёрдостью сердцевин изделия.



Рис. 3. Фотография азотированного стального образца

Представленные установки позволяют осуществлять способы упрочнения металлоизделий методом плазменного легирования, реализуемые совместной работой магнетронно-распылительных систем и генератора газоразрядной плазмы. На рис. 4 представлено измеренное методом Оже-спектроскопии концентрационное изменение элементов в поверхностном слое образцов нержавеющей стали AISI 321 после часового по длительности процесса легирования при температуре 600°C ; мощности магнетронно-распылительной системы, распыляющей углерод, равной 1 кВт; плотности ассистирующей плазмы аргона $1,5 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}$ и импульсном напряжении смещения (амплитуда 700 В, длительность импульсов 5 мкс, частота повторения 20 кГц).

Процессы легирования с помощью созданного оборудования являются возможными ввиду того, что вследствие высокой плотности газоразрядной плазмы на легируемой поверхности происходят эффективные процессы очистки, нагрева, ионной имплантации вторичных ионов и стравливания осаждающихся слоёв элементов распыления за счёт интенсивной бомбардировки ионами газа.

В зависимости от параметров (токов и мощностей) генераторов газоразрядной плазмы, магнетронно-распылительных систем и электродугowych испарителей, а также давления азот-аргоновой

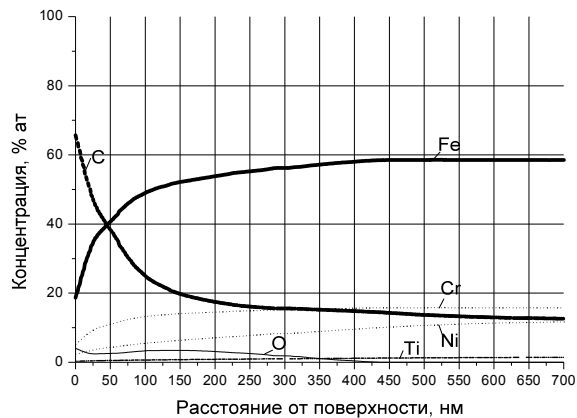


Рис. 4. Распределение элементов в поверхности образцов нержавеющей стали после легирования С

газовой смеси с помощью представленных установок были получены многокомпонентные покрытия самого различного состава, например, TiN/Cu, Ti-Si-B-N, (FeCrNi)N, Ti-Al-Si-Cu-O-C-N, Ti-Ni-Cr-Al-Si-Cu(Sn)-N, n-TiC/a-C(Ni, Cr, Al) и др. Указанные покрытия обладали значениями микротвёрдости от 26 до 60 ГПа, нанокристаллической структурой с размером зёрен от 4 до 50 нм, высокой величиной адгезии, низким коэффициентом трения (менее 0.3), а также высокой термической стабильностью твёрдости при отжиге в вакууме вплоть до температуры $T=900^{\circ}\text{C}$. При этом бомбардировка ионами газоразрядной плазмы в процессе осаждения покрытий позволяла управлять размерами и ориентацией зёрен растущего покрытия с контролем химико-фазового состава, кристаллической структуры, физико-механических свойств.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ (регистрационный номер 2.8575.2013)

Список литературы

1. Борисов Д.П., Коваль Н.Н., Щанин П.М. // Изв. вузов. Физика. – 1994. – 3. – С. 115.
2. Борисов Д.П., Зенин А.А. и др. // Взаимод. излучений с твёрдым телом: Материалы 9-й Международной конференции. – Мн., 2011. – С. 399.

TECHNOLOGICAL PROCESSES OF EFFECTIVE VACUUM-PLASMA TREATMENT OF PRODUCTS

D.P. Borisov¹), A.D. Korotaev¹), V.M. Kuznetsov¹), V.Ya. Romanov¹), P.N. Silchenko²), and P.A. Terekhov¹)

¹)Tomsk State University, 36 Lenin Ave., Tomsk, 634050, Russia,
Tel.: +79138858245, e-mail: borengin@mail.ru

²)Siberian Federal University, 79, Svobodny ave., Krasnoyarsk, 660041, Russia

The characteristics and design features of new vacuum plasma installations with large working vacuum volumes are presented. Effective techniques and technological processes designed for surface modification of metal parts by the methods of cleaning, alloying (doping) and forming multi-component composite coatings using low-pressure arc discharges are demonstrated.