

Плазменно-пучковый комплекс для модификации поверхности потоками заряженных частиц

В. Т. Барченко, Л. П. Вересов, О. Л. Вересов

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет имени В.И. Ульянова (Ленина)

197376 Россия, Санкт-Петербург

e-mail: vtbarchenko@yandex.ru

Рассматривается структура построения опытно-лабораторной установки, позволяющей в едином технологическом цикле последовательно проводить несколько технологических операций без разгерметизации технологической камеры. Приводится описание основных технологических модулей, установленных в ней.

Введение

Модификация поверхности конструкционных материалов в различных отраслях машиностроения пучково-плазменными методами с целью повышения их функциональных характеристик, таких как твёрдость, износостойкость, жаропрочность, жаростойкость, коррозионная стойкость и др. сегодня является одним из наиболее перспективных направлений применения ионно-плазменных технологий.

Очистка поверхности ускоренными нейтральными частицами, её легирование методом ионной имплантации или нанесение тонких плёнок ионно-плазменными методами, а также термообработка электронным пучком в едином технологическом цикле без разгерметизации вакуумной камеры представляется весьма эффективным технологическим процессом, позволяющим существенно изменять характеристики поверхности.

В Сухумском физико-техническом институте (СФТИ) при консультативной помощи сотрудников кафедры электронных приборов и устройств Санкт – Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» в настоящее время заканчивается строительство электрофизической установки Т-50. Установка предназначена для изучения процессов при разработке новых методик воздействия на поверхность материалов потоками заряженных частиц и плазмы и разработки конкретных технологических процессов на базе ионно-плазменных технологий.

Описание установки и её частей

Электрофизическая установка Т-50 состоит из двух вакуумных камер, изготовленных из нержавеющей стали. Камеры соединяются друг с другом трубопроводом с шиберным затвором (см. рис.1).

Первая камера представляет собой цилиндр диаметром 400 мм с четырьмя патрубками, установленный вертикально. К ней крепится источник ионов с ионно-оптической системой для экстракции и формирования пучка. К нижнему торцу через шиберный затвор подвешен турбомолекулярный насос со скоростью откачки 1000 л/с. В этой камере размещается подвижный модуль, с помощью которого измеряются: эмиттанс, распределение плотности тока в пучке и его диаметр, полный ток пучка, его массовый и зарядовый составы.

Вторая камера выполняет роль технологического объема, в котором осуществляются технологические процессы. В ней расположен планетарный механизм, позволяющий крепить, перемещать и вращать обрабатываемые объекты. Она представляет собой сферу диаметром 250 мм с шестью патрубками диаметром 160 мм каждый. На верхнем патрубке крепится планетарный механизм. К нижнему фланцу, через шиберный затвор подвешен турбомолекулярный насос со скоростью откачки 500 л/с.

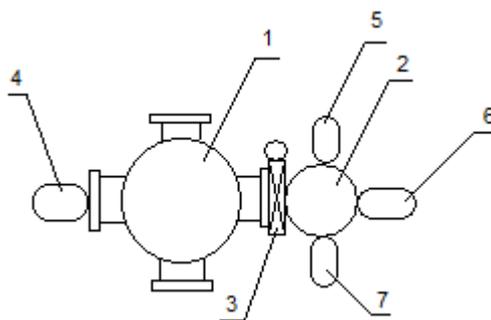


Рис. 1. Схема установки Т-50 (вид сверху). Здесь: 1 – первая вакуумная камера; 2 – вторая вакуумная камера; 3 – шиберный затвор; 4 – ионный источник; 5 – плазменный источник (дуговой или магнетронный); 6 – электронный источник; 7 – источник быстрых нейтралов.

Один из боковых патрубков подсоединен к шиберному затвору, отсекающему первую камеру от второй. На трёх оставшихся патрубках установлены источники электронов, плазмы и быстрых нейтральных частиц.

Для строящейся установки к настоящему времени разработаны источники ионов двух типов. Ионный источник дуоплазматронного типа с холодным магнетронным катодом [1, 2] и источник на базе газоразрядной камеры типа Пеннинга с холодным катодом [3, 4]. Первый формирует импульсные пучки ионов газа. Второй как импульсные, так и непрерывные многокомпонентные пучки ионов газа и металла. Благодаря применению холодных катодов оба источника могут работать с агрессивными плазмообразующими газами, в том числе и кислородом. Оба типа источников имеют внутрикамерное исполнение, что упрощает их конструкцию. Для экстракции и первичного формирования пучка применена система ускорения – замедления. Для финишной фокусировки пучка на обрабатываемом изделии используется одиночная электростатическая линза, работающая в режиме торможения. Оба источника являются новыми разработками.

Конструкция и внешний вид ионного источника дуоплазматронного типа с холодным катодом приведена на рис. 2 и рис. 3.

В качестве основных особенностей ионного источника с холодным магнетронным катодом и магнитным сжатием плазмы (см. рис. 2, 3) можно отметить:

- применение цилиндрического обращённого многокамерного магнетронного катода [5];
- отсутствие промежуточного контрагирующего электрода и формирование неоднородного сжимающего магнитного поля у эмиссионного отверстия с помощью постоянных кольцевых магнитов;
- применение конусного экспандера с плавно изменяемым углом раствора, в который помещена конусная диафрагма.

Эти особенности позволили значительно улучшить эксплуатационные и эмиссионные характеристики прибора по сравнению с дуоплазматроном А-типа.

В ионном источнике с холодным катодом второго типа (см. рис.4, 5) рабочее вещество образуется с помощью ионного распыления катода-мишени. Его главная особенность заключается в том, что система отбора и формирования пучка является неотъемлемой частью генератора плазмы. Сравнение конструкции предложенного ионного источника с конструкцией РIG-источника ионов с продольным извлечением показывает, что основное отличие данной конструкции от прототипа заключается в отсутствии антикатада. В рассматриваемой конструкции антикатод является виртуальным. Его функции выполняет поверхность в промежутке анод - ускоряющий электрод (экстрактор), имеющая потенциал катода газоразрядной камеры. От этой поверхности происходит отражение наиболее быстрых электронов, выбитых из катода и не успевающих отдать энергию, приобретенную в катодном слое.

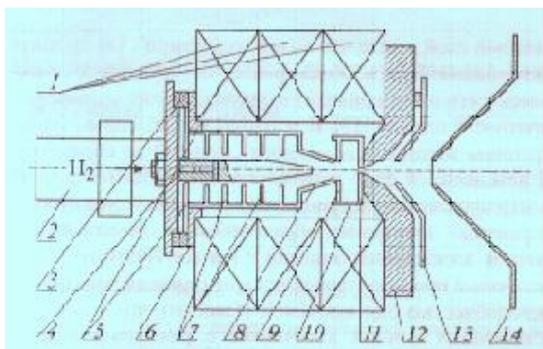


Рис. 2 Конструкция ионного источника

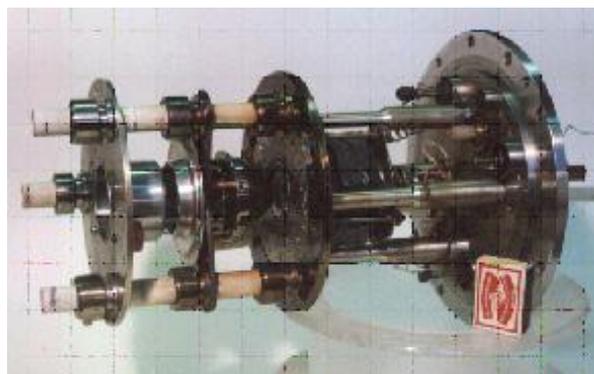


Рис. 3 Внешний вид источника газовых ионов

1 – кольцевые феррит-баритовые магниты, 2 – электромагнитный клапан для импульсного напуска газа, 3 – кольцевой керамический изолятор, 4 – анод магнетрона, 5 – обойма катода магнетрона, 6 – опорное центрирующее кольцо, 7 – катодные диафрагмы, 8 – конусная вставка магнетронного катода, 9 – анодная диафрагма, 10 – защитный экран, 11 – коллимирующая диафрагма, 12 – эмиссионный электрод, 13 – конусная вставка, 14 – извлекающий электрод.

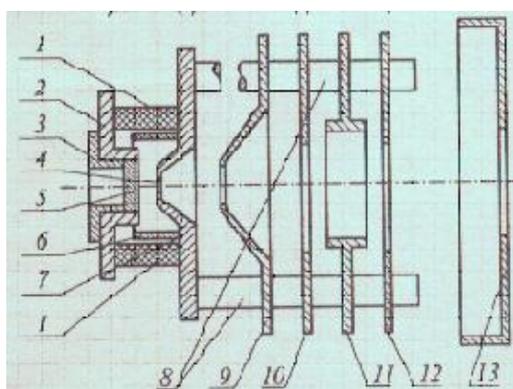


Рис. 4 Конструкция инжектора:

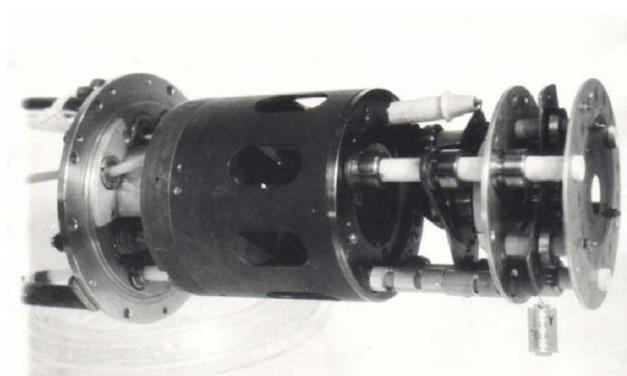


Рис. 5 Внешний вид инжектора

1-керамический изолятор; 2-катодный пучков ионов газов и металлов. блок 3- держатель диска-катода; 4- эмиссионное отверстие; 5-катод-диск; 6-экран изолятора; 7-анод; 8-керамические стержни; 9-ускоряющий электрод (экстрактор); 10-замедляющий электрод (земляной электрод линзы); 11-центральный (фокусирующий) электрод одиночной электростатической линзы; 12-земляной электрод линзы; 13-экран.

В разработанном источнике эмиссионная поверхность «не привязана» к какому-либо электроду, а располагается в промежутке анод-экстрактор.

Важное обстоятельство, которое также нужно учитывать при рассмотрении процессов в источнике - отсутствие диафрагмы, которая бы обеспечивала резкий перепад давления между областью генератора плазмы и областью экстракции и первичного формирования пучка.

Указанные особенности позволяют использовать только один высоковольтный источник питания, как для зажигания и поддержания горения разряда, так и для извлечения ионного пучка, что делает предлагаемый ионный источник одним из самых экономичных по энергопотреблению.

Для финишной ионной очистки поверхности деталей предусмотрено применение плазменного ускорителя с анодным слоем, или источника быстрых нейтралов, описанного в работе [6]. Его внешний вид показан на рис.6.

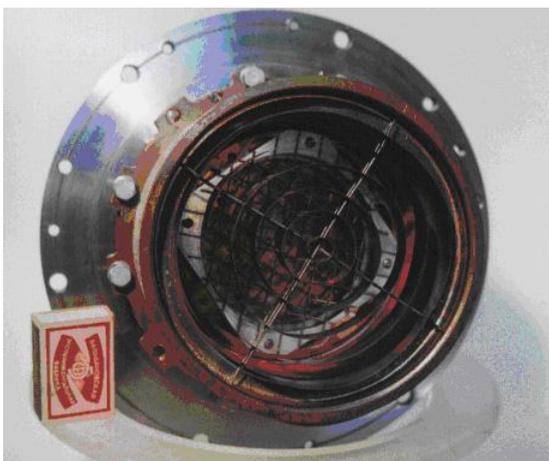


Рис. 6. Вид источника быстрых нейтралов



Рис. 7. Вид установки У-100

Источник электронов построен на базе генератора плазмы ионного источника с холодным магнетронным катодом и магнитным сжатием плазмы.

Для нанесения тонких плёнок в установке предусмотрена возможность установки как вакуумно-дугового испарителя, так и магнетронной распылительной системы.

Заключение

К настоящему моменту физико-технологический модуль установки Т-50 собран и произведен ее физический запуск вакуумной системы, заканчивается монтаж систем питания и управления. Доработка и испытания технологических модулей проводится на ранее построенной установке (см. рис. 7).

Список литературы

- [1] Вересов Л. П., Вересов О. Л. Ионный источник с холодным магнетронным катодом и магнитным сжатием плазмы. // ЖТФ. 2003. Т.73. Вып. 10. С. 122 – 129.
- [2] Вересов Л. П., Вересов О. Л., Чачаков А. Ф. Источник ионов водорода с холодным магнетронным катодом и магнитным сжатием плазмы. // ЖТФ. 2006. Т.76. Вып. 1. С. 132 – 135.
- [3] Вересов Л. П., Вересов О. Л., Литвинов П. А. Исследование ионного источника, предназначенного для пучковых технологий. // ЖТФ. 2000. Т.70. Вып.4. С. 111 – 117.
- [4] Barchenko V. T., Veresov L. P., Veresov O. L. and Grigorenko S. V. Plasma Ion Source for Modification of Materials. // 5th Conference on Modification of Materials with Particle Beams and Plasma Flows. Tomsk. 2000. P. 220 – 223.
- [5] Вересов Л. П., Вересов О. Л., Дзкуя М. И. и др. Исследование холодных катодов плазменных источников, генерирующих пучки ионов водорода. // ЖТФ. 2001. Т.71. Вып. 10. С. 50 – 53.
- [6] Барченко В. Т., Ю. А. Быстров Ю. А., Колгин Е. А. Ионно-плазменные технологии в электронном производстве. С-Пб, Энергоатомиздат, 2001.