

ЛИТЕРАТУРА

1. Вейко, В.П. Лазерная обработка / В.П. Вейко, М.Н. Либенсон. – Л.: Лениздат. – 1973. – 152 с.
2. Вейко, В.П. Лазерная микрообработка / В.П. Вейко. – С.-Пб.: Изд-во ИТМО. – 2005. – 100 с.
3. Горный, С.Г. Специфика поверхностной обработки металла сериями лазерных импульсов наносекундной длительности / С.Г. Горный [и др.] // Кв. электроника, 32, № 10. – 2002. – с. 929-932.
4. Токарев, В.Н. Выталкивание вязкой жидкости при наносекундной УФ лазерной абляции: от «чистой» обработки к наноструктурам / В.Н. Токарев // Лаз. физика. – т.16, № 9. – 2006. – с.1291-1307.

УДК 621.793.18

Каланда Д.С.

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ
ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ**

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск,
Республика Беларусь*

Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Иванов И.А.

Надежность деталей машин и приборов в значительной степени определяется не объемными, а их поверхностными свойствами. Широкие возможности управления составом, структурой, качеством поверхности и ее , химическими и физическими свойствами обеспечивает применение вакуумных плазменных методов, основанных на обработке поверхностей ускоренными ионными и плазменными потоками.

Цель работы – изучение технологического этапа генерации рабочего вещества вакуумных плазменных устройств и свойств формируемых плазменных потоков.

При создании плазменных устройств необходима организация трех основных стадий рабочего процесса: генерации (производство) атомарного потока вещества, его ионизации, ускорения и фокусировки. Пути организации двух последних стадий достаточно хорошо изучены – это техника плазменных ускорителей и источников ионов. Решение же многих технологических задач связано с необходимостью генерации потоков плазмы различных твердых веществ. В этом случае важное значение приобретает разработка простых и эффективных методов генерации вещества, т.к. характер протекания этого процесса оказывает сильное влияние на все последующие стадии и по существу определяет облик плазменного устройства. В основу классификации

Секция «Новые материалы и перспективные технологии обработки материалов»

плазменных устройств положен принцип разделения по методам генерации (рис. 1). Внутри каждого из видов может существовать большое количество устройств, отличающихся по различным признакам: геометрии электродной системы, использованным принципам ионизации и ускорения, режиму работы (импульсный или стационарный), технологическому назначению и т.д.

Способ катодного распыления заключается в бомбардировке мишени ионами газоразрядной плазмы и осаждении распыленных частиц на поверхности деталей. Наиболее простая система катодного распыления состоит из двух электродов, помещенных в вакуумную камеру. Распыляемую мишень располагают на катоде, анодом служит поверхность детали. Давление рабочего газа ($\sim 1,3 \cdot 10^{-1}$ Па). В качестве рабочего газа используют аргон, азот или другой реактивный газ. На электрод-деталь подают отрицательный потенциал и бомбардировкой ионами проводят ее очистку. Распыляемые частицы мишени осаждаются на поверхности детали и формируют покрытие.

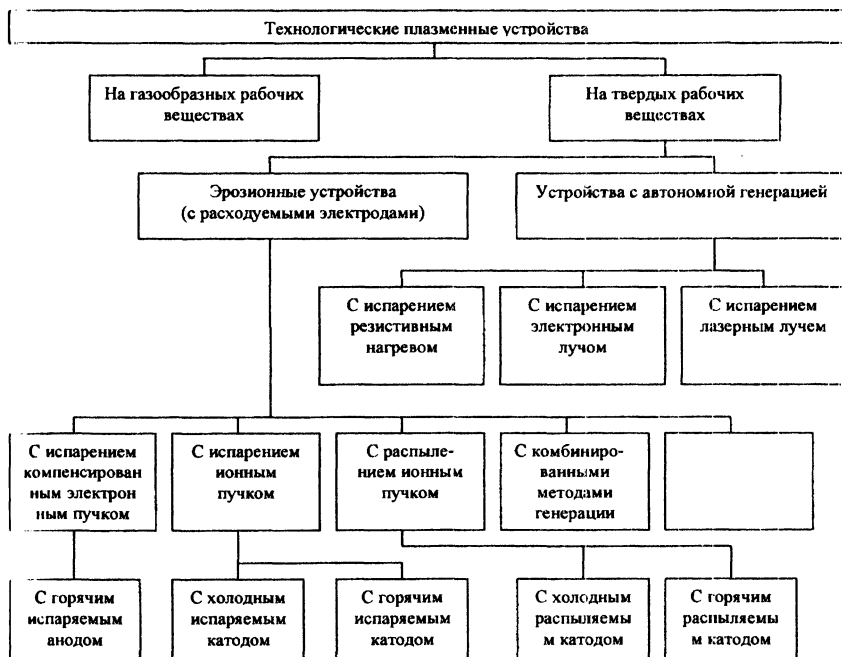


Рисунок 1 – Классификация методов нанесения покрытий

При реализации процесса формирования покрытий термическим испарением в вакууме теплоту к испарителю подводят различными методами: резистивным, индукционным или электронно-лучевым. Изделия располагают

на пути потока паров металла, которые, конденсируясь, образуют при соответствующих условиях прочно сцепленное с основой покрытие.

При формировании покрытий ионным осаждением пары металла ионизируются в плазме газового разряда, и ионы осаждаются на заряженной поверхности основы, образуя покрытие с высокой степенью однородности по толщине. Характерная особенность ионного осаждения – возможность бомбардировки поверхности основы потоком ионов высокой энергии как перед осаждением покрытия, для очистки поверхности, так и в процессе формирования покрытия. Ионизация протекает в газовом разряде (в среде аргона, неона, гелия), а термическое испарение материала покрытия – резистивным, электронно-лучевым или электродуговым способами в вакууме порядка 10^{-1} Па.

На стадии очистки основа служит распыляемым катодом тлеющего разряда и подвергается бомбардировке положительными ионами остаточных газов. В отличие от процесса термического осаждения покрытий пары металла рассеиваются (в результате многочисленных столкновений) по всем направлениям, происходит ионизация части атомов испарившегося материала при столкновении с электронами, атомами и ионами плазмы. Ионы металла, ускоряясь в электрическом поле основы, достигают ее, обладая большой энергией и улучшая адгезию покрытия.

Генерация высокоионизированного плазменного потока происходит при эрозии материала катода в катодных пятнах вакуумной дуги. Для поддержания стационарного разряда в вакууме проводящая среда формируется в результате испарения и последующей ионизации паров материала катода. Катодные пятна хаотически перемещаются по поверхности катода с достаточно большой скоростью (до 10^2 м/с). Их возникновение обусловлено необходимостью переноса больших токов (до 10^3 А) через поверхность холодного и практически не эмитирующего проводника. Такая возможность реализуется в катодном пятне за счет высокой концентрации энергии (плотность тока $j=10^6\dots 10^7$ А/см²) в малой (от 10^{-6} до 10^{-4} м) области на поверхности электрода.

Механизм эрозии определяет состав плазменного потока – степень ионизации паров и долю капельной фазы. В случае многокомпонентных катодов переход к тепловому механизму эрозии может приводить и к существенному различию в интенсивности испарения одного из элементов с поверхности эродирующего катода.

Эрозия катода в вакуумной дуге в основном связана с генерацией катодным пятном капель расплавленного материала катода и ионов. Количество микрокапельной фазы зависит от тока дуги, расстояние от плоскости катода до поверхности конденсации, давление газа в вакуумной камере и материала катода. Фазовый состав продуктов генерации определяется материалом катода. Распределение капельной фазы по пространству связано с формированием

крайера катодного пятна, которая происходит за счет выдавливания плазменным столбом жидкого металла на его край. Ионная составляющая плазменного потока имеет ярко выраженную осевую направленность. Распределение ее по пространству подчиняется закону косинуса или квадрата косинуса. Распределение ионов по заряду и энергии сильно зависит от материала катода и расстояния от поверхности эрозии и слабо – от тока дуги. В ионной составляющей плазменного потока, генерируемого при эрозии в вакуумной дуге многокомпонентных катодов, наблюдаются ионы всех элементов, входящих в состав материала катода. Процентные соотношения элементов в ионном потоке и в составе материала катода могут быть различными.

Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы: этап генерации плазменного потока является основным в технологическом процессе нанесения покрытий в вакууме; Наиболее высокая степень ионизации и энергия ионов потока соответствуют дуговому разряду.

ЛИТЕРАТУРА

1. Емельянов, В.А. Вакуумно-плазменные способы формирования защитных и упрочняющих покрытий / В.А. Емельянов [и др.]. – Минск: Бестпринт, 1998. – 284 с.
2. Мрочек, Ж.А. Плазменно-вакуумные покрытия / Ж.А. Мрочек. – Минск: Технопринт, 2004. – 369 с.

УДК 621.52

Каляда А.Н.

СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОСТРУЙНОГО ЭЖЕКТОРА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ НАПРАВЛЕНИЯ ЭЖЕКТИРУЕМОГО ПОТОКА

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск,
Республика Беларусь.*

Научный руководитель: ст. преподаватель Бабук В.В.

Основными расчетными величинами эжектора являются количество G_2 эжектируемого газа и площадь сечения F_a смесительного участка. Обычно эти величины определяются безразмерными параметрами: q – коэффициентом эжекции, равным соотношению эжектируемого и эжектирующего G_1 газов и $m_1 = F_a/F_1$ – отношение площади сечения F_a смесительного участка эжектора к площади F_1 выходного сечения сопла.