

УДК 621.793

Методы уменьшения капельной фазы в установках с эрозионными генераторами плазмы

Кромов П.В., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Плазменные энергетические установки»*

*Научный руководитель: **Ивашкин А.Б.**, к.т.н, доцент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Плазменные энергетические установки»*

e8@power.bmstu.ru

Введение

Формирование покрытий методом напыления из плазмы электродугового разряда в вакууме или в разреженной атмосфере реакционных газов (0,001-0,01 Па) в последние десятилетия стало одним из наиболее перспективных направлений поверхностного модифицирования материалов в производстве инструментов и в некоторых отраслях машиностроения. Результаты исследований, полученные отечественными и зарубежными специалистами, свидетельствуют о том, что достоинства метода могли бы быть реализованы в значительно более широком круге практических применений, но этого пока что не произошло из-за некоторых недостатков, свойственных дуговым источникам плазмы. Так, из-за отсутствия достаточно эффективных фильтрующих устройств для очистки эрозионной плазмы от капельной фазы катодного материала вакуумно-дуговой метод до сих пор практически не используется в таких важнейших отраслях, как микроэлектроника, оптика, медицина (микрохирургический инструментарий, протезирование) и точная механика, где этот метод мог бы способствовать существенному прогрессу [1].

Принципиальная конструкция фильтра

Рассмотрим метод уменьшения капельной фазы в установках с эрозионными генераторами плазмы. Один из ионных источников установки предлагается модернизировать, добавив в конструкцию плазменный фильтр. Задача фильтра – отделить нейтральные капли материала катода от ионной компоненты.

Принцип очистки плазмы от микрокапель с помощью магнитного фильтра заключается в следующем: между катодом источника плазмы и подложкой размещается некая преграда, исключающая прямую видимость между этой подложкой и активной поверхностью катода, являющейся источником эрозионной плазмы с каплями. Такой преградой может служить экран или стенки изогнутой трубы – плазмоведа (рис. 1), на котором размещаются магнитные катушки.



Рис. 1. Плазменный источник с криволинейным фильтром

Микрокапли, двигаясь прямолинейно, наталкиваются на эту преграду и не попадают на подложку, в то время как ионная компонента плазменного потока с помощью магнитного поля направляется на подложку по направлению магнитных силовых линий. Вследствие того, что не все микрокапли полностью теряют кинетическую энергию, даже при нескольких последовательных столкновениях со стенками плазмоведа, некоторая их часть проходит до выхода из плазмоведа и, следовательно, до подложки. Очевидно, что эффективность очистки плазмы в таком случае тем выше, чем длиннее плазмовод, чем он уже и чем больше угол его суммарного изгиба. Но при этом непременно возрастают потери полезной (ионной) компоненты транспортируемого потока, производительность системы падает, а сложность её изготовления и стоимость возрастают.

Воспользуемся одним из важнейших свойств плазмы, а именно, электрической проводимостью. Принципиальная конструкция плазменного фильтра вытекает из следующих соображений:

Запишем обобщённый закон Ома для электронной компоненты:

$$\mathbf{j} = G(\bar{E} + \bar{v}_e \times \bar{B} + \frac{1}{ne} \nabla p_e), \quad (1)$$

где $\mathbf{j}$ – плотность тока, G – проводимость плазмы, E – напряженность электрического поля, v_e – скорость электронов, B – индукция магнитного поля, n – концентрация плазмы, ∇p_e – градиент электронного давления.

Умножим выражение (1) скалярно на $\bar{B}$:

$$\frac{B \cdot \mathbf{j}}{G} = (v_e \times B)B + B(E + \frac{1}{ne} \nabla p_e) \quad (2)$$

Учитывая, что $(v_e \times B)B = 0$, и пренебрегая малым членом $\frac{B \cdot \mathbf{j}}{G}$, получим:

$$(E + \frac{1}{ne} \nabla p_e)B = E^* \cdot B = 0 \quad (3)$$

Отсюда следует, что проекция напряженности электрического поля E^* на направление магнитного поля обращается в ноль, то есть магнитные силовые линии эквипотенциальны. Это важное свойство позволяет управлять распределением электрического поля в системе с фокусировкой ионного пучка путём подбора нужной геометрии магнитного поля.

Следовательно, транспортировка ионов плазмы в криволинейном плазмоведущем канале в условиях замагниченности электронов происходит вдоль магнитных силовых линий, пересекающих активную поверхность катода. Причём эти линии нигде не должны пересекать стенки плазмоведа, чтобы ведомая этими линиями плазма также не уходила на стенки плазмоведа или других элементов плазмоведущего канала. Эффективность транспортировки зависит от уровня диффузионных и дрейфовых потерь плазмы при её прохождении через фильтрующий канал. Следовательно, условия прохождения плазмы через фильтр организовать тем проще, чем больше радиус плазмоведа a по отношению к радиусу катода r_k , чем короче путь L между входом и выходом системы, чем сильнее магнитное поле (до определённого предела), чем меньше угол изгиба плазмоведа и, следовательно, кривизна транспортирующего В-поля. Очевидно, что те из перечисленных требований, которые относятся к геометрическим параметрам, вступают в противоречие с требованиями, выполнение которых обеспечивает наилучшее фильтрующее качество

системы. В этой связи выбор геометрических параметров R , r_k , L и θ (суммарный угол изгиба плазмоведа) определяется допустимым компромиссом между "конфликтующими" требованиями. Что же касается потерь ионной компоненты, то при заданной геометрии проектируемой системы, обеспечивающей требуемую степень фильтрации, минимизировать эти потери возможно подбором оптимальных параметров индукции В-поля и топографии транспортирующего магнитного поля [2].

Предлагается следующая конструкция плазменного фильтра:

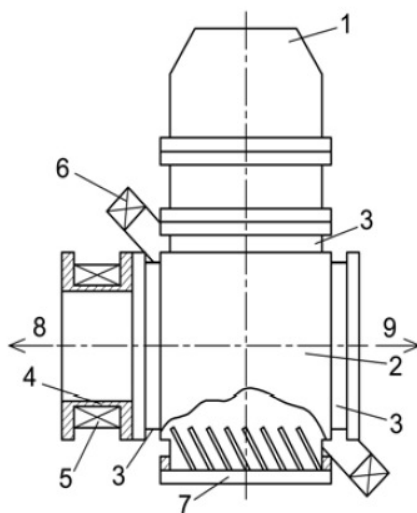


Рис. 2. Плазменный источник с фильтром: источник плазмы (1), плазмовод (2), горловина с фланцем (3), выходная секция плазмоведа (4), выходная катушка (5), отклоняющая катушка (6), ловушка для макрочастиц (7)

Плазмовод установлен так, что ось источника плазмы направлена горизонтально и составляет угол 90° с осью откачной горловины камеры. Между камерой и плазмоводом установлена фокусирующая выходная катушка (5), обеспечивающая транспортировку плазменного потока к обрабатываемому изделию. Плазмовод может быть выполнен в нескольких вариантах, отличающихся конструкцией отклоняющей магнитной системы. В описываемой установке используется вариант рамочной катушки, установленной в вертикальной плоскости, образующей угол 45° с осями источника плазмы и выходной катушки. Все катушки запитаны от автономных источников питания, что даёт возможность оптимизировать структуру магнитных полей и соответственно выходные характеристики фильтра. Кроме того, выходная катушка может быть снабжена сканирующими соленоидами, позволяющими развернуть плазменный поток в вертикальной плоскости. К аналогичному эффекту приводит периодическое

переключение направления полей, создаваемых катушками сепаратора (6). При этом используется отклонение плазменного потока поочередно вверх и вниз в такт переключениям. Отклонения плазменного потока в данном случае обусловлены явлением дрейфа плазмы в неоднородном криволинейном магнитном поле.

Результаты эксперимента

Предварительные эксперименты показали, что характерная величина индукции магнитного поля составляет 200-250 Гс. При этом количество капельной фазы на подложке снижается на (50-60)%, и качество полученного покрытия улучшается. Эксперименты проводились на медном катоде, при этом ток разряда составлял $I_p=120$ А, напряжение разряда $U_p=20$ В.

Вывод

Предложена конструкция плазменного источника с фильтром микрокапель. К достоинствам конструкции можно отнести относительную простоту и возможность регулирования величины магнитной индукции. К недостаткам относят значительное снижение массопереноса материала катода на подложку при заметном отсутствии капель [3]. Применимость данного узла установки нужно рассматривать тогда, когда есть необходимость в получении качественного бескапельного, равномерного покрытия. Об этом свидетельствуют предварительные результаты эксперимента.

Список литературы

1. Аксёнов И.И., Белоус В.А. Высокопроизводительная вакуумно-дуговая установка для осаждения покрытий // Вопросы атомной науки и техники. 2008. №3. С. 108-118.
2. Аксёнов И.И., Аксёнов Д.С., Стрельницкий В.Е. Вакуумно-дуговые источники эрозионной плазмы с магнитными фильтрами: обзор // Вопросы атомной науки и техники. 2007. №2. С. 190-202.
3. Хороших В.М., Комарь А.А., Бровина М.А. Об эффективности вакуумно-дуговых источников плазмы с сепарацией капельной фазы эрозии катода // ФИП. 2009. Т. 7. №1-2. С. 54-59.