

атмосферного в регенерируемый адсорбер, для охлаждения которого нужен осушенный сжатый воздух. Потери в этом случае тоже присутствует, но их количество достигает лишь 2,5 %. Подобное устройство стоит дорого, поэтому с экономической точки зрения оправдывается при больших объемах воздуха.



Рисунок 2 – Принцип работы

3. Горячая регенерация под вакуумом. Этот вид отличается от предыдущего тем, что горячий воздух подается под вакуумом, то есть давление ниже атмосферного, а не выше. Также охлаждение адсорберов может быть сделано с использованием атмосферного воздуха. Потерь в этом случае не будет никаких.

УДК 621.793

Воронина А.В.

## **СИСТЕМА СЕПАРАЦИИ ПЛАЗМЫ ПРИ ОСАЖДЕНИИ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ПОКРЫТИЙ**

*БНТУ, Минск*

*Научный руководитель: Латушкина С.Д.*

Плазменный источник с фильтром для удаления макрочастиц – ключевой инструмент, от степени совершенства которого зависят перспективы практического применения такой уникальной технологии, как вакуумно-дуговое осаждение покрытий, позволяющей формировать поверхностные микро- и наноструктуры с уникальными физико-механическими свойствами. Необходимость осаждения высококачественных конденсатов с широким диапазоном свойств, с помощью

генераторов низкотемпературной плазмы, работающих на основе вакуумной дуги, обусловила разработку большого числа разнообразных конструкций систем сепарации плазмы.

Наиболее надежным способом разделения капельной и заряженной компонент плазменного потока, генерируемого электродуговым испарителем, является сепарация составляющих потока в магнитном поле. Способ основан на том явлении, что плазма распространяется вдоль силовых линий магнитного поля. Механизм транспортировки плазмы в криволинейной плазмооптической системе следующий. При положительном потенциале стенки плазмоведа и наличии продольного магнитного поля в плазме возникает азимутальный холловский ток электронов, что обеспечивает существование в плазме радиального электрического поля, направленного к оси системы. Вследствие эквипотенциальности магнитных силовых линий ионы совершают колебания внутри определенной силовой магнитной трубки и продвигаются к выходу плазмоведа. В результате, на выход системы проходят только заряженные частицы плазменного потока, нейтралы и макрочастицы движутся прямолинейно и оседают на внутренней поверхности плазмоведа. Очевидно, что эффективность очистки плазмы 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 ее изготовления и стоимость возрастают.

Предпринимались попытки повысить эффективность систем и упростить их конструкцию минимизацией длины и угла изгиба плазмоведущего канала при относительно широком его поперечном сечении или путем использования простейшей магнитной системы в виде двух последовательных прямолинейных соленоидов с малым углом между осями. Однако к желаемому результату не приводили, так как значительные конструктивные

упрощения системы не сопровождались адекватным повышением ее эффективности. Упрощение магнитной системы в рассматриваемых случаях приводило к ухудшению ее транспортирующих свойств. Но самым серьезным негативным последствием таких «упрощений» является снижение фильтрующих качеств систем, так как перечисленные пути «упрощения» вступают в противоречие с требованиями, выполнение которых необходимо для эффективной очистки плазмы.

Использование криволинейного плазмооптического сепаратора плазмы в процессах электродугового осаждения покрытий позволяет расширить технологические возможности метода как в области улучшения функциональных свойств покрытий, так и в области расширения класса материалов, подвергаемых воздействию низкотемпературной плазмы.

Исходя из физических принципов осаждения покрытий при использовании вакуумно-дугового разряда и учитывая технологические возможности установки в качестве сепаратора макрочастиц испаряемого материала катодов был изготовлен двухканальный Y-образный плазменный фильтр (рисунок 1), магнитная система которого позволяла осаждать слои при периодической работе дуговых испарителей.

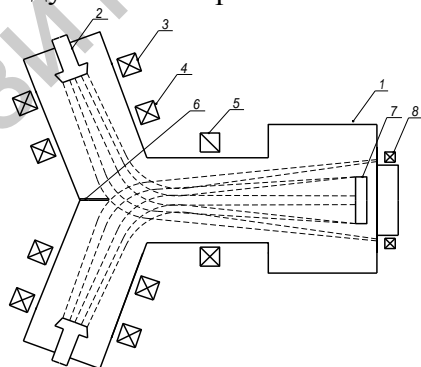
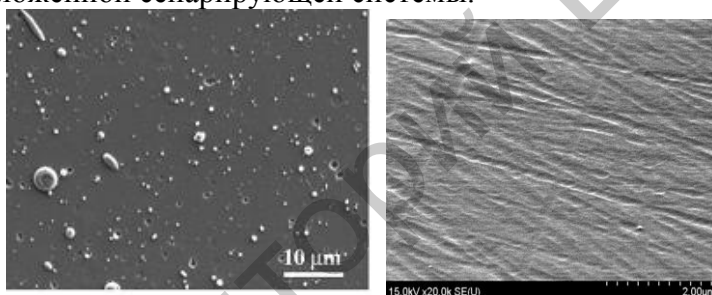


Рисунок 1 – Схема осаждения многослойных пленок с сепарацией плазменных потоков

Два разноименных дуговых испарителя (2), симметрично располагались под углом  $120^\circ$  к оси падения общего плазменного потока на подложку (7). Ионизированная часть каждого из плазменных потоков отклонялась также на  $120^\circ$  помощью электромагнитных катушек (5) и (8) и в виде общего потока попадала в вакуумную камеру. Фокусировка каждого из двух плазменных потоков производилась с помощью электромагнитных катушек (3) и (4). Экран (6) обеспечивал удаление капельной фазы каждого из плазменных потоков и осаждение на стенках камеры.

Исследования морфологии и структуры осаждаемых покрытий (рисунок 2) свидетельствуют об эффективной работе предложенной сепарирующей системы.



а

б

а – покрытия без использования сепарирующей системы;

б – покрытия с использованием сепарирующей системы

Рисунок 2 – Морфология поверхности осаждаемых покрытий

Методом вакуумно-дугового осаждения из сепарированных плазменных потоков осаждались покрытия на основе тугоплавких соединений титана, легированных хромом, алюминием, медью. Как показали проведенные исследования, морфология поверхности покрытий характеризуется микроячеистой структурой, с размером кристаллитов 10-20 нм. Отсутствие капель на поверхности покрытия свидетельствует об эффективной работе сепарирующей системы.