

могут образовываться трудно распыляемые соединения. Соответственно полный флюенс облучения, необходимый для распыления таких соединений, может существенно возрасти. Увеличение дозы ионной очистки заметно повышает адгезию покрытия к основе и улучшает защитные свойства покрытия. На практике полный флюенс облучения обеспечивается за время очистки ~ 10 мин.

Плазма вакуумной дуги может содержать ионы металлов с зарядностью +1, +2, +3 и даже +5 (для молибдена). Это означает, что энергия ионов металлов при ускоряющем напряжении на подложке 1ч1,5 кэВ может превышать величину 3ч5 кэВ. Такие энергии лежат далеко за пределами области максимальной энергетической эффективности процесса распыления. Поэтому, ионная очистка ионами металлов сопровождается сильным нагревом подложки с образцами или изделиями. Для того, чтобы избежать перегрева подложки > 500°С, очистку проводят импульсно, с перерывами для остывания подложки, что сильно затягивает общее время очистки. Возможность регулирования тока подложки при бомбардировке ионами металлов сильно ограничена. Процесс очистки сопровождается появлением микродуг, вызывающих повреждения поверхности.

УДК 621.793.18

Лесниковская Т.Н.

## **ЭЛЕКТРОДУГОВЫЕ ИСТОЧНИКИ ПЛАЗМЫ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ В ВАКУУМЕ**

*БНТУ, Минск*

*Научный руководитель: Иванов И.А.*

Назначение электродуговых источников плазмы для нанесения покрытий в вакууме.

Электродуговые источники предназначены для генерации потоков металлической и углеродной плазмы, в среде которой осуществляется плазмохимический синтез уникальных соединений и осаждение их в качестве функциональных покрытий.

Покрытия, получаемы при помощи электродуговых источников плазмы могут обеспечивать свойства: износостойких, антикоррозионных, термостойких, защитных, антиэмиссионных, декоративных. Такие свойства поверхности обеспечивают покрытия: металлами, нитридами металлов, карбидами металлов, оксидами металлов, полупроводящими структурами, алмазоподобными структурами.

Принцип процесса нанесения покрытий электродуговыми источниками.

Вакуумно-дуговой процесс испарения начинается с зажигания вакуумной дуги (характеризующейся высоким током и низким напряжением), которая формирует на поверхности катода (мишени) одну или несколько точечных (размерами от единиц микрон до десятков микрон) эмиссионных зон (так называемые «катодные пятна»), в которых концентрируется вся мощность разряда. Локальная температура катодного пятна чрезвычайно высока (около  $15000^{\circ}\text{C}$ ), что вызывает интенсивное испарение и ионизацию в них материала катода и образование высокоскоростных (до  $10000\text{ м/с}$ ) потоков плазмы, распространяющихся из катодного пятна в окружающее пространство. Отдельное катодное пятно существует только в течение очень короткого промежутка времени (микросекунды), оставляя на поверхности катода характерный микрократер, затем происходит его самопогасание и самоинициация нового катодного пятна в новой области на катоде, близкой к предыдущему кратеру. Визуально это воспринимается как перемещение дуги по поверхности катода.

Так как дуга, по существу, является проводником с током, на неё можно воздействовать наложением электромагнитного

поля, что используется на практике для управления перемещением дуги по поверхности катода, для обеспечения его равномерной эрозии.

В вакуумной дуге в катодных пятнах концентрируется крайне высокая плотность мощности, результатом чего является высокий уровень ионизации (30–100%) образующихся плазменных потоков, состоящих из многократно заряженных ионов, нейтральных частиц, кластеров (макрочастиц, капель). Если в процессе испарения в вакуумную камеру вводится химически активный газ, при взаимодействии с потоком плазмы может происходить его диссоциация, ионизация и возбуждение с последующим протеканием плазмохимических реакций на поверхности с образованием новых химических соединений.

Заметная трудность в процессе вакуумно-дугового испарения заключается в том, что если катодное пятно остаётся в точке испарения слишком долго (катодные пятна II рода), оно эмитирует большое количество макрочастиц или капельной фазы. Эти макровключения снижают характеристики покрытий, так как они имеют плохое сцепление с подложкой и могут по размерам превосходить толщину покрытия (проступать сквозь покрытие). Ещё хуже, если материал катода-мишени имеет низкую температуру плавления (например, алюминий): в этом случае необходимо регулировать величину тока дугового разряда. При большом токе разряда мишень под катодным пятном может проплавиться насквозь, в результате чего или начнёт испаряться материал опорного держателя катода, или охлаждающая катод вода начнёт поступать в вакуумную камеру, приводя к возникновению аварийной ситуации.

Для решения данной проблемы производят тем или иным способом непрерывное перемещение катодного пятна по большому и массивному катоду, имеющему достаточно большие линейные размеры. В основном, как уже упоминалось

выше, для управляемого перемещения катодных пятен по поверхности катода используются внешние магнитные поля. Не позволяя катодному пятну оставаться на одном месте слишком долго, можно использовать катоды из легкоплавких металлов, и при этом уменьшить количество нежелательной капельной фазы.

Виды электродуговых источников.



Рисунок 1 – Электродуговой источник металлической и углеродной плазмы (катодная и анодная части) с магнитным удержанием дуги на торце катода и магнитной фокусировкой плазменного потока



Рисунок 2 – Электродуговой источник металлической плазмы с магнитным удержанием дуги на торце катода



Рисунок 3 – Многокомпонентный электродуговой источник металлической плазмы

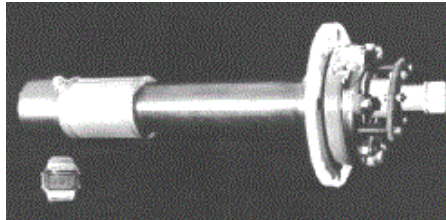


Рисунок 4 – Электродуговой источник металлической плазмы с магнитным удержанием дуги на поверхности цилиндрического катода

УДК 621.7

Лицкий Д.А.

## **ВАКУУМНАЯ ДЕГАЗАЦИЯ СТАЛИ**

*БНТУ, Минск*

*Научный руководитель: Бабук В.В.*

Дегазация стали – удаление газов из жидкой стали. Газы оказывают вредное влияние на физико-механические свойства стали. Решить задачу получения стали с минимальным содержанием газов удалось только в начале 50-х гг. 20 в. благодаря