

движения молекул является возникновение тепловой энергии. Причем, чем больше влаги содержится в заданном объеме продукта, тем больше молекул участвует в колебательном движении, а значит, выделяется больше тепловой энергии. В результате влага, содержащаяся в продукте, нагревается и закипает. При этом нагрев происходит во всём объеме продукта, и чем больше влаги содержится в данном участке продукта, тем больше тепловой энергии он получает. Это позволяет не только удалить влагу и высушить продукт, но и способствует равномерному распределению влаги по всему объёму продукта. Все это обеспечивает быстроту сушки.

УДК 621.762.4

Харлан Ю. А., Мартинкевич Я. Ю.

## **ОСОБЕННОСТИ ВАКУУМНО-ДУГОВОГО НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ**

*БНТУ, Минск*

*Научный руководитель Комаровская В. М.*

Вакуумно-дуговое нанесение покрытий – это физический метод нанесения покрытий в вакууме, путем конденсации на подложку (изделие, деталь) материала из плазменных потоков, генерируемых на катод-мишени в катодном пятне вакуумной дуги сильноточного низковольтного разряда, развивающегося исключительно в парах материала электрода. Метод используется для нанесения металлических, керамических и композитных пленок на различные изделия.

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 15 000 °С), что вызывает интенсивное испарение и ионизацию в них материала катода и образование высокоскоростных (до 10 км/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 погасание и появление 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 нее 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 с образованием новых химических соединений и осаждением их в виде пленки (покрытия).

Заметная трудность в процессе вакуумно-дугового испарения заключается в том, что, если катодное пятно остается в точке испарения слишком долго, 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 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 магнитные поля. С этой же целью, при применении цилиндрических катодов, во время работы (испарения) им можно сообщать вращательное движение. Не позволяя катодному пятну оставаться на одном месте слишком долго, можно использовать катоды из легкоплавких металлов, и при этом уменьшить количество нежелательной капельной фазы.

УДК 621.762.4

Харлан Ю. А., Мартинкевич Я. Ю.

## **ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА ВАКУУМНО-ДУГОВОГО ОСАЖДЕНИЯ ПОКРЫТИЙ**

*БНТУ, Минск*

*Научный руководитель Комаровская В. М.*

Способ вакуумно-дугового нанесения покрытий в настоящее время находит широкое применение в технике. В частности, этот метод перспективен для осаждения покрытий