

жидкости на выходе из батареи может быть ниже заданной. Модулирующий трехходовой вентиль разделяет поток охлаждаемой жидкости и часть его направляет непосредственно в испаритель, а часть – в батарею сухого охладителя. Далее эти потоки смешиваются, и на выходе из машины температура жидкости достигнет заданного значения. Таким образом, обеспечивается надежная работоспособность установки при низких – вплоть до минус 40 °С окружающего воздуха.

Системы свободного охлаждения позволяют в значительной мере сократить затраты на электроэнергию, потребляемую системой охлаждения помещений и технологических нужд. Повышение эффективности работы систем и снижение их эксплуатационных затрат является наиболее важным направлением в условиях современного конкурентного рынка. Использование данных систем, а также привлечение опытных инженеров для их установки и эксплуатации значительно увеличивает производительность и эффективность работы современных предприятий и повышает его конкурентоспособность. Кроме того, данные системы являются экологически чистыми, что также не менее важно в настоящее время.

УДК 421.25.

Грицук А. А.

ЭЛЕКТРОДУГОВОЕ ИСПАРЕНИЕ В ВАКУУМЕ (КИБ)

БНТУ, Минск

Научный руководитель Латушкина С. Д.

Вакуумно-дуговое нанесение покрытий (катодно-дуговое осаждение) – это физический метод нанесения покрытий (тонких пленок) в вакууме, путём конденсации на подложку (изделие, деталь) материала из плазменных потоков, генерируемых на катоде-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.

Метод также известен под названиями: катодно-дуговое осаждение, метод КИБ – катодно-ионной бомбардировки или, по-другому, метод конденсации вещества из плазменной фазы в вакууме с ионной бомбардировкой поверхности (последнее – оригинальное авторское название создателей метода). Также известны названия «Ионно плазменное напыление», «Конденсация с ионной бомбардировкой».

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 (микросекунд), 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 (20–80%) 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).

Катодно-дуговое осаждение активно используется для синтеза на поверхности режущего инструмента очень твёрдых износостойких и защитных покрытий, значительно продлевающих срок его службы.

Помимо прочего, например, нитрид титана популярен ещё в качестве стойкого декоративного покрытия «под золото». При помощи данной технологии может быть синтезирован широкий спектр сверхтвёрдых и нанокompозитных покрытий, включая TiN, TiAlN, CrN, ZrN, AlCrTiN и TiAlSiN.

Также эта технология достаточно широко используется для осаждения алмазоподобных углеродных плёнок.

Так как нанесение покрытий этого типа особенно чувствительно к паразитным включениям макрочастицам, в оборудовании для данной технологии обязательно применяется фильтрация плазменного пучка.