

Установки фирмы Leybold широко используются для получения среднего вакуума, а так же применяются в процессах напыления микрочипов, производства CD и DVD и производстве архитектурного стекла. Установки используют методики катодного распыления, электронно-лучевого распыления и термоиспарения, позволяя осаждать тонкие плёнки металлов (Nb, Al, Pb) и изоляторов, плёнки сложных оксидов, а также простых диэлектрических оксидных плёнок.

УДК 621.793

Петровский А.В.

**ИОННО-ПЛАЗМЕННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ
НАНЕСЕНИЯ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ
ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ НА ВНУТРЕННИЕ
ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ**

БНТУ, Минск

Научный руководитель Бабук В.В.

Для нанесения покрытий на поверхность обрабатываемого инструмента, деталей и узлов используются потоки ионов и плазмы, генерируемые в условиях вакуума или при атмосферном давлении.

Широкими возможностями для нанесения покрытий обладают вакуумные установки, содержащие дуговые испарители и распылительные магнетронные источники. Скорость нанесения защитных покрытий дуговым методом выше, чем магнетронным. Однако микрокапельный режим дугового испарения металла на катоде приводит к образованию микрокапель размером в единицы – десятки микрометров на поверхности обрабатываемых изделий. При этом шероховатость поверхности возрастает.

Традиционная конструкция вакуумной установки для нанесения покрытий включает в себя один или несколько плазменных источников магнетронного или дугового типов,

расположенных на боковой поверхности цилиндрической вакуумной камеры. Внутри вакуумной камеры находится карусельно-планетарный механизм вращения обрабатываемых образцов для получения однородного покрытия. Вакуумная камера оснащается ионным источником и нагревательным элементом для предварительной очистки и подготовки обрабатываемой поверхности.

Плазменные источники с плоскими катодами не совсем подходят для обработки внутренних рабочих поверхностей подшипников, втулок, труб, вентилях и других изделий, так как боковая поверхность находится в поперечном направлении к аксиальному направлению распространения плазменного потока. Ионы будут падать на внутреннюю поверхность деталей под скользящими углами, поэтому скорость осаждения покрытия, однородность, плотность и адгезия пленки будут низкими.

Для обработки внутренних поверхностей деталей и узлов больше всего подходят плазменные источники коаксиального типа, у которых радиальный поток плазмы распространяется от внутреннего цилиндрического катода к внутренней обрабатываемой поверхности цилиндрической формы, которая будет являться анодом плазменного источника.

Коаксиальный магнетрон – это базовый плазменный источник, на основе которого будет создаваться промышленная установка для обработки внутренних поверхностей деталей.

Для формирования слоя с заданными параметрами выбирают материал металлического катода и смесь реакционных газов (азот, метан, кислород) с аргоном, стабилизирующим газовый разряд. Нитриды, карбиды и бориды металлов TiN, TiC, CrN, TiBN, TiSiN, MoC и др. характеризуются высокой твердостью, коррозионной стойкостью, жаропрочностью, а по структурному составу могут иметь наноструктурное строение пленки. Такие твердые покрытия относительно большой

толщины могут иметь высокие внутренние напряжения, приводящие к отслаиванию пленки и появлению трещин. Поэтому используются многослойные и градиентные покрытия.

В многослойных покрытиях слои нитридов, карбидов или металлов чередуются. Это регулируется изменением вида реакционного газа или его отключением для получения металлической прослойки.

Двухслойные градиентные покрытия получают плавным или дискретным изменением потока реакционного газа во время процесса обработки.

Набор материалов, используемых для создания трибологических покрытий, известен и ограничен. В твердый слой могут входить тугоплавкие металлоподобные соединения (карбиды, нитриды, бориды металлов переходной группы), неметаллические тугоплавкие соединения (AlN , Si_3N_4 , кубический BN , BC), тугоплавкие оксиды металлов (Al_2O_3 , CrO). К антифрикционным материалам относятся дисульфиды (MoS_2 , WS_2), графит, гексагональный BN , оксиды свинца и титана, а также традиционные материалы на основе олова и свинца (алюминиево-оловянные сплавы, баббиты, бронзы). Другим фактором, влияющим на трибологические свойства покрытия, является внутренняя структура покрытия. Однокомпонентная углеродная алмазоподобная пленка (DLC) состоит из сверхтвердого кубического углерода и слоистого гексагонального углерода. Такое покрытие имеет высокую твердость и низкий коэффициент трения. Трибологические покрытия могут быть выполнены также в виде многослойных покрытий, в которых тонкие твердые и мягкие слои чередуются. Если толщина отдельных слоев имеет наноразмеры, то формируется наноструктура, состоящая из твердых нанокристаллов в мягкой матрице.

Для нанесения трибологических покрытий на внутренние поверхности деталей необходимо использовать двухслойное

покрытие с твердым внутренним и внешним антифрикционным слоем, который улучшает первоначальную приработку поверхностей. Выбор состава и структуры покрытий зависит от многих факторов: возможность нанесения в одном вакуумном цикле твердых и мягких слоев двухслойных и многослойных покрытий, доступность катода с необходимым составом легирующих элементов, экологическая безопасность технологического процесса нанесения покрытия. Магнетрон с плоским катодом может быть использован для исследования свойств многокомпонентных пленок и отработки технологии нанесения защитных покрытий. Использование вакуумной ионно-плазменной установки с коаксиальным магнетроном дает возможность наносить покрытия на внутренние поверхности подшипников скольжения.

УДК 621.514

Петровский А.В.

ПЕРЕОХЛАЖДЕНИЕ В УСТАНОВКАХ С ВИНТОВЫМИ КОМПРЕССОРАМИ

БНТУ, Минск

Научный руководитель Комаровская В.М.

Благодаря конструкционным особенностям винтовых компрессоров холодильные установки на их базе наиболее приспособлены для применения переохлаждения. Давление нагнетаемых паров хладагента возрастает вдоль винтовой пары по направлению от всасывания к нагнетанию. В корпусе винтового компрессора на боковой поверхности есть еще один специальный порт всасывания (ЭКО-порт, или порт экономайзера), расположенный в том месте по длине винтов, где достигается промежуточное давление – аналогично системам с двухступенчатым сжатием. Это позволяет при применении одноступенчатых винтовых компрессоров в холодильных