

СОВРЕМЕННЫЕ ВАКУУМНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ НАНЕСЕНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК, ОСНОВАННЫЕ НА МЕТОДЕ ИСПАРЕНИЯ МАТЕРИАЛА

Августовский П.А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

Современные вакуумные физические методы нанесения тонких плёнок PVD (Physical Vapour Deposition) применяются для создания на рабочих поверхностях инструментов, деталей, оборудования покрытий с улучшенными функциональными свойствами, по сравнению со свойствами основного материала изделия. PVD-методы позволяют получать покрытия практически с любыми заданными свойствами: коррозионностойкие, износостойкие, эрозионностойкие, изолирующие, барьерные, антифрикционные.

Отдельно можно выделить физические методы испарения. Они базируются на испарении материала, из которого формируется плёнка (подложка) путём нагрева. Общими преимуществами группы методов испарения являются: большая энергоэффективность; высокая скорость напыления; температура процесса не более 500°C; возможность селективного нанесения покрытий только на определённые части поверхности, оставляя другие без нанесенного слоя; в качестве подложки может выступать практически любой металл; небольшая толщина слоя, что позволяет сохранить острую режущую кромку инструмента (особенно важно для чистовой обработки); возможность получения многокомпонентных покрытий; малая вероятность появления дефектов в виде пор, трещин; небольшой размер партии деталей, что позволяет легко перепрофилировать производство или же расширить номенклатуру изделий.

Достоинства группы данных методов и сформировали области их применения: инструменты из быстрорежущей стали, т.к. температура процесса не превышает температуру отпуска закаленной стали (около 550°C); детали машин, испытывающие трение и износ; формообразующие штампы и пресс-формы; литевые формы для сплавов цветных металлов, алюминия, пластмасс и резины [1].

Одним из методов испарения является термическое испарение. Подложка, на которую проводится напыление, закреплена на держателе. К держателю примыкает нагреватель резистивного типа (напыление, как правило, проводится на нагретую подложку для улучшения адгезионных свойств покрытия). Испаритель включает в себя нагреватель и источник напыляемого вещества. Поворотная заслонка перекрывает поток паров от испарителя к подложке, напыление длится в течение времени, когда заслонка открыта. Достоинства резистивного нагрева – высокий КПД, низкая стоимость оборудования, безопасность в работе (низкое напряжение на зажимах), малые габаритные размеры, простота в эксплуатации. Недостаток – сложность испарения тугоплавких материалов.

При вакуумно-дуговом испарении (Arc-PVD), в камере создается вакуум с давлением порядка 10^3 Па. Между анодом, поджигающим электродом и катодом, выполненным из наносимого материала, подается напряжение. Поджигающий электрод служит для зажигания электрической дуги. Это действие производится кратковременным касанием поджигающего электрода поверхности катода. Локальная температура катодного пятна чрезвычайно высока (около 15000°C), что вызывает интенсивное испарение и ионизацию в них материала катода и образование высокоскоростных потоков плазмы (до 10 км/с), распространяющихся из катодного пятна в окружающее пространство. Испарение материала производится из области катодных микропятен вакуумной дуги. Достоинства метода вакуумно-дугового испарения: получаемые покрытия имеют высокую прочность сцепления с подложкой, дисперсную структуру и малую пористость; возможность распылять металлы и сложные сплавы; хорошая производительность. Недостатком – если катодное пятно остаётся в точке испарения слишком долго, оно эмитирует большое количество макрочастиц или капельной фазы.

Ещё одним из методов испарения является испарение электронным лучом (Electron-beam PVD). В установках, использующих испарение электронным лучом, к катоду с подводится высокое напряжение (от 1 до 10 кВ). В результате создается сфокусированный и ускоренный пучок электронов (около 200 А), который направляется на мишень с металлическим материалом покрытия. К мишени подведено положительное напряжение. К противоположной подставке с покрываемыми деталями подведено отрицательное напряжение, так называемое напряжение смещения. Положительные ионы испаренного вещества сразу осаждаются на подложке, либо сначала вступают в реакцию с активным газом, а затем осаждаются в виде какого-либо соединения. Достоинствами данного метода являются: высокая интенсивность процесса нанесения; возможность многослойного нанесения покрытий. Недостатки метода: неоднородность толщины получаемых плёнок; сложность аппаратуры питания и управления; трудность испарения металлов высокой теплопроводности (Cu, Al, Ag, Au); питание высоким напряжением; во время процесса нанесения происходит генерация электромагнитного излучения, которое является рентгеновским [2].

Примером оборудования, в котором одновременно реализовано 2 метода испарения (термическое испарение и испарение электронным лучом) является вакуумное технологическое оборудование «Stratnanotech Libra 700M» разработанное и произведённое компанией ООО «СтратНаноТек Инвест», предназначенное для нанесения неравнотолщинных многослойных прецизионных оптических покрытий на оптические детали в вакууме. Установка имеет вакуумную камеру размерами 750x750x950 мм, представленную на рисунке 1. Узел испарения электронным лучом расположен слева в камере, термического испарения – справа. Образцы (диаметр 7...154 мм, толщина 1...100 мм) фиксируются оператором на универсальном подложкодержателе купольного типа вручную, вакуумная камера откачивается до вакуума порядка

8×10^{-6} мБар, сначала механическим, а затем турбомолекулярным насосами. Далее включаются нагреватели и начинается вращение подложкодержателя (для улучшения адгезионных свойств покрытий). Затем производится напуск технологического газа и включаются технологические устройства: электронно-лучевой или резистивный испарители, ионный источник для очистки/ассистирования. Контроль процесса напыления осуществляют при помощи кварцевого измерителя толщины и/или системы оптического контроля.

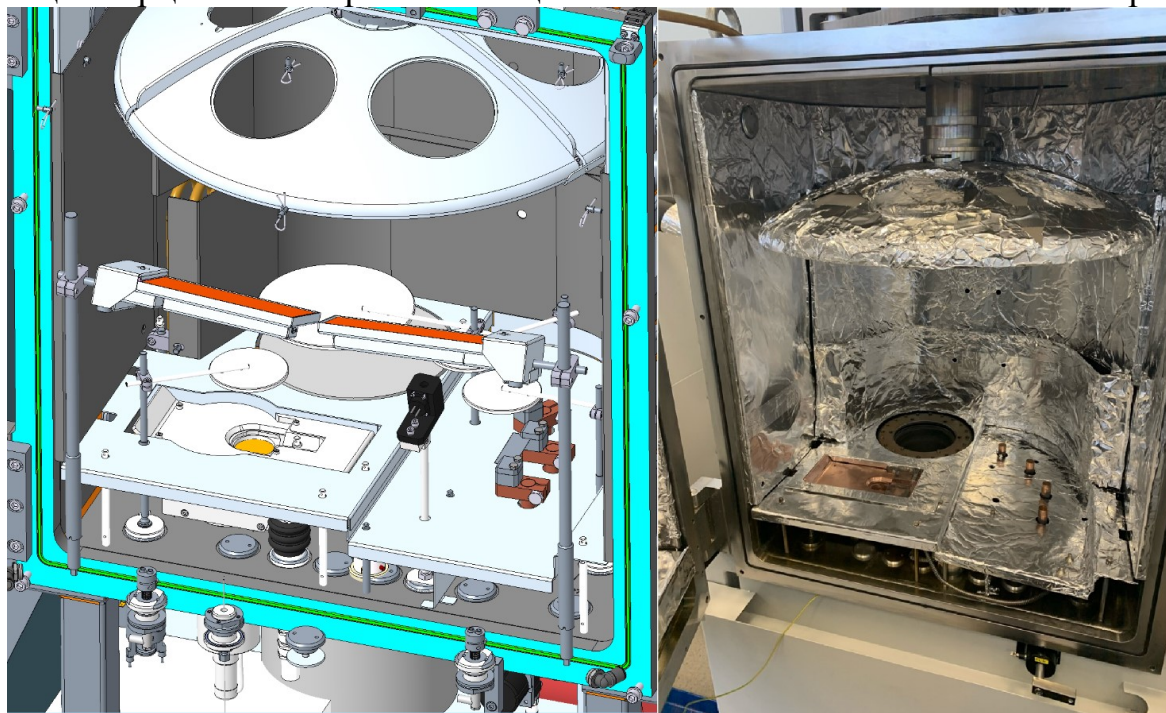


Рисунок 1 – Вакуумная камера установки «Stratnanotech Libra 700M» (слева – в CAD среде Creo Parametric, справа – во время пусконаладочных работ)

На основе описанных ранее характеристик и возможностей каждого из методов, а также рассмотрения установки «Stratnanotech Libra 700M» можно сделать следующие выводы: 1. Группа методов испарения широко применяется для получения тонких покрытий, благодаря малым ограничениям по напыляемым материалам, высокой энергоэффективности и производительности. 2. Максимальная эффективность достигается правильным выбором необходимой технологии для конкретной задачи. 3. Благодаря возможности совмещения в одном вакуумном технологическом оборудовании сразу нескольких методов испарения появляется возможность создания сложных многокомпонентных и многослойных покрытий в пределах одного рабочего пространства. В связи с чем актуальна задача автоматизации выбора необходимого метода или группы методов для получения требуемых покрытий с заданными свойствами.

1. Износостойкое покрытие инструмента PVD и CVD. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pitools.ru>. – Дата доступа: 24.02.2021.
2. Панин А.В. Металлы и полупроводники: Технологии и процессы : курс лекций / А.В. Панин. – Томск : ТПУ, 2016. – 433 с.