

ВАКУУМНОЕ НАПЫЛЕНИЕ ПРЕЦИЗИОННЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ЛЕГКОПЛАВКИХ МЕТАЛЛОВ, ПОЛУЧЕНИЕ КАДМИЕВОГО ПОКРЫТИЯ С КОНТРОЛИРУЕМЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ТОЛЩИНЫ НА ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛИ СИММЕТРИЧНОЙ ФОРМЫ

С. А. Сырвачев

ФГУП «Комбинат «Электрохимприбор», г. Лесной Свердловской обл.

Большой выбор материалов, используемых для создания покрытий, позволяет обеспечить заданные свойства поверхности для любых деталей современного машиностроения. Обычные конструкционные материалы не всегда способны удовлетворить требованиям условий эксплуатации. Применение более дорогих конструкционных материалов не всегда экономически целесообразно. Возникающие затруднения решаются при получении на рабочей поверхности покрытий, способных обеспечить требуемые эксплуатационные характеристики деталей. Незначительный расход материала, необходимый для нанесения покрытия обеспечил повышенный интерес к разработке методов нанесения покрытий целевого назначения и обширное внедрение покрытий в производственную практику.

Покрытие представляет собой целенаправленно создаваемый поверхностный слой детали, характеризующийся конечной толщиной, а также химическим составом и структурно-фазовым состоянием, качественно отличающимися от аналогичных характеристик материала основы.

В 2016 г. перед лабораторией материаловедения ФГУП «Комбинат «Электрохимприбор» была поставлена задача по нанесению прецизионного кадмиевого покрытия заданной геометрии на деталь типа полусфера. Материал подложки – сталь, с нанесенным подслоем меди толщиной от 2 до 5 мкм. Основными требованиями, которые предъявляются к прецизионному покрытию, являются: получение покрытия без отслоений, обеспечение требований по распределению толщины и плотности в заданных секторах поверхности детали с плавным переходом толщины от одного сектора в другой. Геометрия покрытия (рис. 1) задана его толщиной по секторам нанесения. Толщина покрытия варьируется от 25 ± 2 мкм до 100 ± 6 мкм. Сектора нанесения на внутреннюю поверхность заданы сферическими углами с точностью ± 1 градус.

На первом этапе был проведен предварительный анализ и сравнение методов с целью выбора наиболее простого, экономичного, экологичного и оперативного при внедрении, исходя из которого был выбран метод термовакуумного напыления. Суть метода заключается в испарении под действием источника нагрева и дальнейшем осаждении металла

на подложку в вакууме. Необходимо отметить, что так как данный вариант получения разнотолщинного покрытия по имеющимся публикациям не применяется, его необходимо было разработать вновь. Процесс происходит при непрерывном вращении детали вокруг собственной оси симметрии с применением внешнего привода, при этом расстояние от напыляемой поверхности до источника пара неизменно. Основными узлами рабочей установки являются: вакуумная камера, устройство напылительное и источник питания.

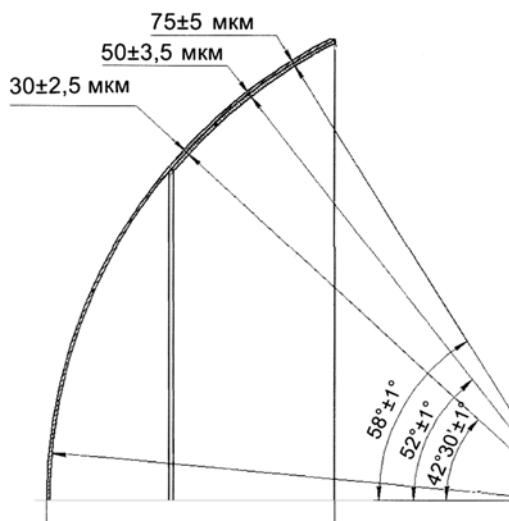


Рис. 1. Геометрия покрытия

Испаритель является основным объектом, участвующим в процессе вакуумного напыления покрытий. Для обеспечения требуемой толщины и распределения покрытия была применена монолитная, многотигельная конструкция испарителя. Кадмий в виде цилиндрических навесок массой от 0,56 до 0,68 г помещается в цилиндрический испаритель согласно схеме, показанной на рис. 2. Предварительная подготовка испаряемого материала включает в себя термовакуумную плавку и травление в азотной кислоте. В качестве материала испарителя был выбран молибден, так как обладает высокой теплопроводностью и термостойкостью, высокой эрозийной стойкостью, а также он не взаимодействует с кадмием.

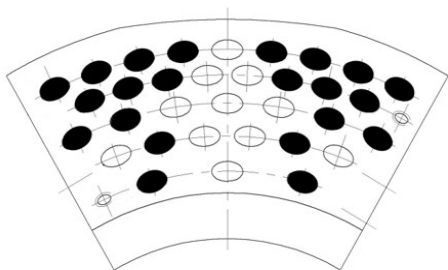


Рис. 2. Схема заполнения испарителя

Нагрев испарителя производится бомбардировкой электронами, эмитируемыми с вольфрамовой спирали. Ток эмиссии составляет 150 мА. Нагрев сферической детали осуществлялся снаружи. В качестве метода нагрева детали также использовалась электронная бомбардировка, так как осуществлять нагрев перемещающейся детали в вакууме с непосредственным контролем мощности другими способами невозможно. По сравнению с другими известными методами, например, резистивным, радиационным или нагревом током высокой частоты, она проще реализуется, обладает более высокой стабильностью, легче в управлении.

Результаты первых опытов по напылению были отрицательными. Происходило полное испарение навесок кадмия в тиглях с запылением стенок камеры и оснастки, а деталь при этом оставалась чистой. Чтобы добиться конденсации паров кадмия на поверхности детали, был разработан ряд технических решений, таких, как установка защитных экранов для минимизации попадания кадмия в камеру, а также предварительный подогрев детали перед напылением. В результате принятых решений и поиска оптимальной температуры детали для формирования покрытия опытным путем удалось выйти на режимы, при которых происходило напыление. Температурный режим нанесения покрытия показан на рис. 3.

Исходя из экспериментальных данных, для качественного осаждения покрытия необходимо обеспечить вакуум не хуже $2 \cdot 10^{-5}$ мм. рт. ст. Поскольку кадмий является легко летучим металлом, то при повышении температуры подложки происходит его реиспарение. Поэтому коэффициент конденсации кадмия (отношение числа атомов, осевших на поверхности детали, к числу атомов, достигших ее) уменьшается с повышением температуры. Опытным путем было обнаружено, что с изменением температуры подложки изменяется и структура получаемого покрытия. Так при повышении температуры под-

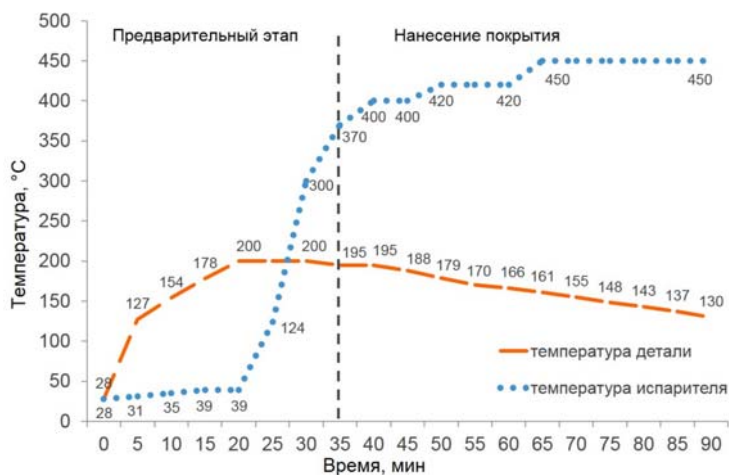


Рис. 3. Температурный режим нанесения покрытия

ложки от 125 °C до 180 °C увеличивается размер зерен кадмия, а цвет получаемого покрытия изменяется от светлого серебристого до серого. При температуре подложки от 180 °C до 200 °C за счет интенсивного реиспарения не удалось получить требуемую толщину покрытия. Однако, было замечено, что с увеличением температуры подложки увеличивается прочность сцепления покрытия с подложкой. Поэтому было принято решение установить температуру подложки для начала формирования покрытия в пределах от 190 °C до 200 °C на первые 2 минуты с дальнейшим постепенным уменьшением температуры до 125 °C–130 °C.

Важным параметром процесса является температура испарителя. Для обеспечения достаточно интенсивного потока кадмия из испарителя, необходимого для начала формирования видимого покрытия при указанной выше температуре подложки, следует поднять температуру испарителя до 370–380 °C. По достижении температуры испарителя, соответствующей началу процесса, следует уменьшить нагрев до 5–6 град/мин до достижения температуры 400 °C. Далее следует произвести выдержку испарителя на температуре 400 ± 5 °C в течение последующих 10 минут. Это делается во избежание возникновения капельного переноса кадмия из испарителя на поверхность детали с последующим образованием дефектов.

Описанный способ нанесения кадмиевого покрытия методом прецизионного вакуумного напыления опробован в производстве, способ оптимален с экологической точки зрения и позволяет получать покрытия детали типа полусфера с заданной контролируемой толщиной и требуемым распределением слоя по напыляемой поверхности. КПД осаждения кадмия на рабочей поверхности составляет 70 %.

Данный способ явился основанием для подачи заявки на изобретение № 2018102490 от 22.01.2018 г.