

УДК 53.043

МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНЕТРОННОГО ОСАЖДЕНИЯ НА ДЕТАЛИ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

Орхан Эльдар оглы Алиханов ⁽¹⁾

*Студент 2 курса магистратуры ⁽¹⁾,
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»,
Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана
Научный руководитель: А.И. Беликов,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в
машиностроении»*

Технологии нанесения тонких пленок с использованием вакуумных методов (PVD) и, в частности, метода магнетронного нанесения широко используются в различных отраслях промышленности. В машиностроении тонкопленочные покрытия наносятся на инструмент и детали узлов трения, в качестве упрочняющих и антифрикционных, в энергомашиностроении используются твердые и твердосмазочные покрытия. Изделия, на которые наносятся тонкие пленки, зачастую имеют сложную геометрию поверхности, при этом предъявляются высокие требования по неравномерности толщины покрытия. Проблема обеспечения равномерности связана со сложной геометрией некоторых видов деталей, таких, например, как резьбовые. Поэтому существует проблема определения взаимного пространственного расположения источника, формирующего поток осаждаемого материала, и изделия, с целью обеспечения требуемой толщины с заданным допуском на всей поверхности детали. При осаждении тонких пленок, одним из параметров, определяющих толщину пленки, является угол осаждения, а у поверхности детали со сложной геометрией он существенно изменяется по сложному закону [1]. Таким образом, использование разработанной методики расчета и программного обеспечения для моделирования, за счет определения распределения толщины покрытий на поверхности 3D-объекта, позволит выбрать наиболее удачную конфигурацию оборудования для обеспечения требуемой равномерности покрытия в пределах допуска на толщину.

Программа «TFDepositionR» предназначена для расчета параметров осаждения тонких пленок магнетронным методом и моделирования распределения толщины осажденного покрытия на поверхностях модели произвольного 3D-объекта с учетом возможности его вращения вокруг собственной оси симметрии [2]. Загрузив файл трехмерной модели, пользователь задает параметры магнетронного распыления, геометрию мишени, а также ее положение относительно детали. Функционал программы позволяет добавить дополнительные источники распыления. По завершении расчета программа выдает распределение толщины на трехмерной цветовой карте. Также можно уточнить толщину покрытия в конкретной точке поверхности.

В качестве исходной модели анализируемой детали используется 3D-модель, изначально подготовленная в САПР, с выгрузкой в stl формат. На этапе экспорта задаются нужные параметры дискретизации поверхности на основе триангуляции с указанием количества и размера треугольников.

Были проведены процессы осаждения покрытий при варьировании режимами распыления и взаимным геометрическим расположением детали и источника распыления. Достоверность результатов расчета программы была подтверждена на основании полученных экспериментальных данных. Эксперименты представляли собой

осаждение покрытия на кремниевые подложки, расположенные относительно магнетрона на разных расстояниях до плоскости мишени, а также с разными радиальными смещениями. Толщина полученных покрытий замерялась с помощью профилометра. С помощью программы были произведены расчеты при тех же параметрах распыления и геометрии расположения подложек относительно мишени. Результаты показали, что реальные значения меньше расчетных на одну и ту же величину – в среднем в 1.43 раза. Данный коэффициент можно объяснить неточностью расчета скорости распыления, которая прямо пропорционально влияет на толщину получаемого покрытия. Теоретический расчет скорости распыления не учитывает энергии каждого атома в отдельности, коэффициенты прилипания и энергии сублимации молекул также требуют уточнения. Таким образом, в модели возникает постоянное отклонение, определяемое постоянным коэффициентом. Учитывая это, средний разброс погрешности толщин покрытий оказался равным 2.87%.

Литература

1. *Никоненко В. А.* Математическое моделирование технологических процессов. Моделирование в среде MathCad: практикум / под ред. Г. Д. Кузнецова. М.: МиСиС, 2001. 48 с.7;
2. Свидетельство 2022685121. Программа моделирования магнетронного нанесения тонких пленок на детали сложной геометрии «TFDepositionR»: программа для ЭВМ / *А.И. Беликов, О.Э.Алиханов* (RU). № 2022684191; заявл. 06.12.22 ; опубл. 21.12.2022.