

При включении привода станка (не показан) сообщается вращение шпинделю с планшайбой 1 и деталью 3 со скоростью  $\omega_d$ , а также относительное возвратно-поступательное перемещение штанги станка с жёстко закреплённым на ней поводком 10. Вследствие наличия сил трения и силы прижима Р вращение планшайбы 1 и детали 3 вызывает аналогичное движение трёх притиров со скоростью  $\omega_n$ , а колебание штанги станка через поводок 10 и нажимной диск 9 вызывает однонаправленное осциллирующее круговое движение последнего со скоростью  $\omega_n$  относительно оси детали и равномерно передает нагрузку на малые оси-поводки 8.

В ходе испытания данного устройства с учётом предлагаемых этапов финишной обработки изделия проводилась общая оценка состояния поверхностного слоя изделия (компакт-диска), которая показала значительное улучшение качества его поверхности, в частности снижение глубины исходных крупных и полное исчезновение мелких царапин, которые при эксплуатации вызывали рассеяние света на повреждённых участках CD.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Патент ВУ № 6642.

УДК 621.793.18

Султан С.А.

## **ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ РАСЧЁТА СКОРОСТИ ОСАЖДЕНИЯ ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ**

*Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Научные руководители доктор техн. наук профессор  
Иващенко С.А.,  
доктор техн. наук доцент Иванов И.А.*

Толщина защитного покрытия один из факторов, который влияет на его функциональные свойства. Ряд параметров тонких покрытий, которые влияют на его эксплуатационные характеристики, зависят

от толщины этих покрытий. К ним относятся структура покрытия, кристаллографическая ориентация, твердость, плотность упаковки кристаллической решетки и др. Поэтому умение обеспечить требуемую толщину и равномерность покрытия крайне важно с точки зрения надежности изделий с покрытиями [1].

Цель работы – разработка программного модуля, на базе пакета прикладных программ MATLAB, для расчета скорости осаждения покрытия на поверхности основы при конденсации однокомпонентной плазмы в среде технологического газа с визуализацией результатов расчетов.

Скорость осаждения однокомпонентного плазменного потока в среде технологического газа зависит от ряда технологических параметров. Кроме неоднородности плазменного потока скорость осаждения для конкретного положения заготовки в вакуумной камере будет определяться величиной отрицательного ускоряющего потенциала и другими параметрами. Для разработки программного модуля в качестве исходных данных использовали экспериментальные данные работы [2]. В качестве материала катода электродугового испарителя выбран титан ВТ1-0. Процесс осаждения покрытий проводили с использованием установки вакуумного напыления типа «Юнион» при давлении азота от  $2 \times 10^{-2}$  Па до  $2 \times 10^{-1}$  Па. Скорость осаждения титанового покрытия оценивалась весовым методом. Для решения задачи получения аналитического описания экспериментально полученных зависимостей эмпирические формулы подбирали в виде многочленов, степень которых заранее неизвестна. В MATLAB для построения численных алгоритмов нахождения коэффициентов интерполяционных полиномов пользуются методом неопределенных коэффициентов [3]. На рисунке 1 показаны исходные данные для интерполяции. Каждая из линий соответствует току фокусирующей катушки от 0 до 1.5 А. Для простоты обработки результатов эксперимента в качестве горизонтальной координатной оси (ось X) – брали ось испарителя. Вертикальная координатная ось (ось Y) – ось, вдоль которой измеряется толщина покрытия. Созданная функция MATLAB имеет следующий прототип:

function height = height interpolate (x1, current),

где в качестве параметров задается координата подложки (x1) и величина тока (произвольное значение от 0 до 1.5 А). Результат

расчёта - значение толщины осажденного покрытия для выбранной координаты и величины тока фокусирующей катушки - будет в переменной *height*. В докладе обсуждается содержание и принцип работы программы расчёта.

Для визуализации полученного результата интерполяции использовали в MATLAB- файл *data.m*. Результат визуализации (рис. 2) позволяет получить семейство кривых, описывающих зависимость скорости осаждения покрытия от тока фокусирующей катушки в виде 3-D изображения. «Кружками» (рис. 2) обозначены исходные оцифрованные линии (рис. 1).

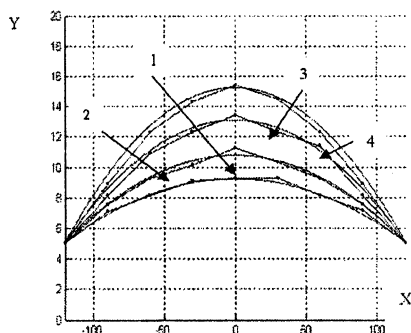


Рис. 1

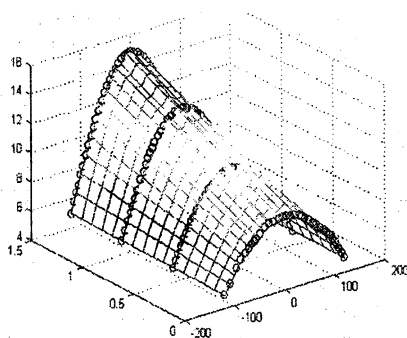


Рис. 2

В виде сетки показан результат интерполяции. Визуализированная модель расчета демонстрирует рост плотности ионно-плазменного потока вдоль оси испарителя и сужение этого потока с ростом тока фокусирующей катушки. Полученные результаты интерполяции могут быть скорректированы в зависимости от условий осаждения ионно-плазменного потока на поверхность детали. Так, экспериментально установлено, что с возрастанием тока дуги увеличивается скорость конденсации покрытия. Наиболее значительное увеличение данного показателя можно наблюдать, при токах более 90...100А, что объясняется увеличением доли капельной фазы понижения в продуктах эрозии катодного материала. Рост ускоряющего потенциала способствует незначительному уменьшению скорости конденсации покрытия и объясняется распыляющим эффектом. Повышение давления реактивного газа в пределах  $2 \times 10^{-2}$  Па...  $2 \times 10^{-1}$  Па вызывает немонотонное изменение скорости

конденсации. Полиномиальная интерполяционная функция, описывающая вклад тока дуги, ускоряющего потенциала, давления, имеет следующий вид:

$$h = P(1) \cdot X^N + P(2) \cdot X^{(N-1)} + \dots + P(N) \cdot X + P^{(N+1)},$$

где  $X$  – один из изменяемых корректирующих факторов (ток дуги, ускоряющий потенциала или давление);  $h$  – скорость роста покрытия, мкм/мин;  $N$  – положительное целое. В докладе обсуждаются содержание программ расчёта на базе пакета прикладных программ MATLAB, основные требования к подготовке исходных данных для расчёта, приводятся примеры расчётов.

Таким образом, разработан программный модуль, который позволяет рассчитать сечения плазменного потока по скорости осаждения с учетом влияния магнитного поля стабилизирующей катушки, и также позволяет полученную величину скорости осаждения скорректировать по величине отрицательного ускоряющего потенциала, тока дуги давления технологического газа.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Емельянов, В.А., Иванов, И.А., Мрочек, Ж.А. Вакуумно-плазменные способы формирования защитных и упрочняющих покрытий. – Мн.:БЕСТПРИНТ, 1998. – 284с.

2. Мрочек, Ж.А., Иващенко, С.А., Фролов, И.С. Газотермические и вакуумно-плазменные покрытия со специальными физико-механическими свойствами. – Мн:Технопринт, 2001. – 180с.

3. Кетков, Ю.Л., Кетков, А.Ю., Шульц, М.М. MATLAB 6.x.: программирование численных методов. – СПб.: БХВ – Петербург, 2004. – 672 с.