

полнять карты наладки инструмента, комплектовать его в наборы, определить режимы обработки и т. д.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гречишников, В.А., Маслов, А.Р., Соломенцев, Ю.М. Инструментальное обеспечение автоматизированного производства: учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов. – М.: Издательство «Станкин», 2000.
2. Гжиров, Р.И. Программирование обработки на станках с ЧПУ. – Ленинград: Машиностроение, 1990.
3. Марголит, Р.Б. Эксплуатация и наладка станков с программным управлением и промышленных роботов. – М.: Машиностроение, 1991.
4. www.iskar.com; www.kobelcotool.com; www.mitsubishicarbide.com

УДК 621.793.18

Салем Султан

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ПОТОКА ТИТАНОВОЙ ПЛАЗМЫ

*Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь*

*Научный руководитель докт. техн. наук профессор Мрочек Ж.А.,
докт. техн. наук профессор Иванов И.А.*

Толщина защитного слоя – это один из факторов, который влияет на его функциональные свойства. Например, известно, что вакуумно-плазменные покрытия обладают высокой сквозной пористостью при толщине менее 10 – 14 мкм. Это требует нанесения подслоев при использовании тонких вакуумно-плазменных покрытий в качестве защитно-декоративных или коррозионно-стойких. Одним из факторов влияющих на скорость осаждения, а следовательно, и на толщину осаждаемых покрытий является неоднородность плотности плазменного потока в объеме вакуумной камеры.

Цель статьи – анализ ранее полученных экспериментальных данных по распределению толщины однокомпонентного титанового покрытия с учетом изменения расстояния от испаряемой поверхности катода до поверхности основы.

В качестве материала катода вакуумного электродугового испарителя выбран титан. Испарение катода проводилось в среде остаточного газа 10^{-3} Па при токах дугового разряда 70 А и 115 А. Для анализа экспериментальных результатов использовались методы статистической обработки. Компьютерное моделирование распределения плотности плазменного по-

тока вдоль оси и перпендикулярно оси испарителя проведено с использованием компьютерной программы MATLAB. Процесс осаждения титановых покрытий проводился с использованием установки вакуумного напыления типа «Юнион». Скорость осаждения титанового покрытия (или его толщина) оценивались весовым методом или по поперечным шлифам. При моделировании за источник плазмы (центр испарения) принималась точка пересечения оси испарителя с испаряемой поверхностью катода.

Как известно, все вакуумно-плазменные методы состоят из трех последовательных взаимосвязанных технологических этапов, среди которых определяющим является этап генерации плазменного потока. В вакуумных электродуговых источниках плазмы с интегрально холодным катодом генерация плазменного потока (рабочего вещества) происходит в очень маленьких катодных пятнах (размер пятен от 10^{-6} до 10^{-4} м), за счет концентрации в них большого количества энергии дугового разряда (плотность тока дугового разряда $10^{10} \dots 10^{11}$ А/м²).

Для титановой плазмы дугового разряда распределение плотности плазменного потока подчиняется закону косинуса. Скорость роста покрытия может быть описана полиномиальной зависимостью для случая представленного на рис. 1:

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

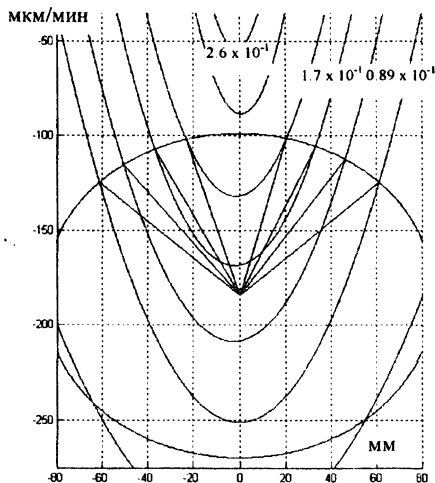


Рис. 1. Горизонтальное сечение плазменного потока, представленное линиями одинаковой скорости осаждения покрытий (I д.р = 70А)

где y — скорость осаждения; X — радиус-вектор, характеризующий положение измеряемой точки.

Каждая из линий одинаковой скорости осаждения покрытий характеризуется своими значениями параметров $P(i)$ (табл. 1).

Скорость осаждения покрытия, у	P(1)	P(2)	P(3)
$2,6 \times 10^{-1}$	0,0338	-0,000	-251,00
$1,7 \times 10^{-1}$	0,0642	0,1818	-132,00
$0,89 \times 10^{-1}$	0,2187	0,5840	-53,670

Уменьшение скорости роста покрытия с удалением от поверхности катода представлено на рис. 2. Полученные экспериментальные кривые могут быть описаны следующими уравнениями.

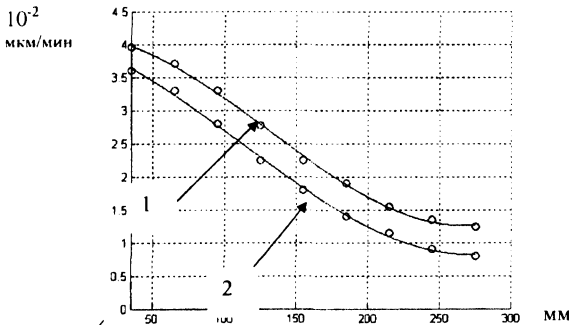


Рис. 2 Изменение скорости осаждения титанового покрытия в зависимости от расстояния между катодом и основой. Величина тока дугового разряда: 1 – 115А; 2 – 70А

Для тока дугового разряда 115 А скорость роста покрытия у зависит от расстояния основы от испаряемой поверхности катода h:

$$y_1 = 2.09 \cdot 10^{-7} \cdot h^3 - 6.95 \cdot 10^{-5} \cdot h^2 - 8.25 \cdot 10^{-3} \cdot h + 4.005.$$

Для тока дугового разряда 70 А эта зависимость будет описываться следующим уравнением:

$$y_2 = 2.88 \cdot 10^{-7} \cdot h^3 - 1,12 \cdot 10^{-4} \cdot h^2 - 1,28 \cdot 10^{-3} \cdot h + 4.147.$$

Используя полученные уравнения можно рассчитать толщину осажденного покрытия с учетом положения основы в вакуумной камере.

Выводы: 1. Использованный метод статистической обработки результатов экспериментов позволяет получить уравнения для расчета скорости осаждения покрытия на неподвижную основу.

2. Полученные компьютерные статистические модели позволяют учесть пространственное распределение плотности титановой плазмы.

ЛИТЕРАТУРА

1. G.A. Devis et al. The product side of pollution prevention. – Cincinnati, 1994.
2. H.J.Freeman Industrial pollution prevention handbook, New York. – 1995.
3. Емельянов, В.А. и др. Вакуумно-плазменные способы формирования защитных и упрочняющих покрытий. – Мн, 1998. – 284 с.
4. Мрочек, Ж.А. и др. Плазменно-вакуумные покрытия. – Мн, 2004 – 369с.