

процессам с применением термического нагрева деталей стать экономически эффективными, высокопроизводительными, рентабельными и безопасными.

УДК 621.793

Гладкий В.Ю., Комаровская В.М.,
Латушкина С.Д., Терещук О.И.

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННОГО ОСАЖДЕНИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ТИТАНА

БНТУ, Минск

Разработана математическая модель, учитывающая зависимость микротвердости многокомпонентного покрытия от технологических параметров процесса осаждения с целью их оптимизации при формировании конденсатов с высокими защитными свойствами.

В качестве параметра оптимизации при математическом моделировании была выбрана микротвердость покрытия как характеристика, позволяющая дать сравнительную оценку износостойких свойств покрытий. Ток дугового разряда титанового катода I_1 , ток дугового разряда цирконьевого катода I_2 , давление реакционного газа P , потенциал смещения на подложке U_n , являются факторами, влияющими на параметр оптимизации.

Выбранные уровни интервалов варьирования указанных факторов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Уровни варьирования факторов
в натуральном масштабе

Изучаемый фактор	I_1 , А	I_2 , А	P , Па	U_n , В
Верхний уровень	80	80	0,16	80
Нижний уровень	40	60	0,04	40

Для описания изменения микротвёрдости в зависимости от выбранных факторов выбираем регрессионную математическую модель, которая в данном случае выглядит следующим образом:

$$H = b_0 + b_1 I_1 + b_2 I_2 + b_3 P + b_4 U_n, \quad (1)$$

где H – микротвердость (МПа); b_0, b_1, b_2, b_3, b_4 – постоянные, подлежащие определению.

Для удобства расчетов масштаб факторов выбирают так, чтобы значение верхнего уровня было равно +1, а нижнего –1. С этой целью делают преобразование начала координат факторов и переходят к нормированному (стандартному) масштабу [1]

$$x_i = \frac{\left(\begin{matrix} \tilde{x}_i - \tilde{x}_{i0} \end{matrix} \right)}{I}, \quad (2)$$

где x_i – нормированное значение; \tilde{x}_i – натуральное значение; \tilde{x}_{i0} – основной уровень; I – интервал варьирования.

Интервал варьирования I равен [1]:

$$I = |\tilde{x}_i - \tilde{x}_{i0}|.$$

Уравнение (1) после подстановки (2) примет вид:

$$H = b_{0i} + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_4. \quad (3)$$

Во избежание влияния случайных ошибок использовалась рандомизированная матрица планирования экспериментов.

Коэффициенты уравнения определялись по формулам:

$$b_{0i} = \frac{\sum_{j=1}^{16} H_j}{16}, \quad b_i = \frac{\sum_{j=1}^{16} x_{ij} H_j}{16}. \quad (4)$$

Подставляя в (3) значения H_j и x_{ij} , получаем следующее соотношение:

$$H = 316,2 - 22,8x_1 + 26,8x_2 + 2,6x_3 - 0,4x_4. \quad (5)$$

Анализ последнего уравнения показывает, что наибольшее влияние на микротвердость осаждаемых покрытий оказывают такой технологический параметр, как ток дугового разряда циркониевого катода I_2 .

Увеличение процентного содержания циркония в составе покрытия за счет повышения I_2 должно увеличивать микротвердость формируемых покрытий, что находится в полном соответствии с экспериментальными данными. Согласно полученному уравнению повышению микротвердости осаждаемых покрытий способствует увеличение тока дугового разряда на цирконьевом катоде и уменьшение тока на титановом катоде.

Влияние давления реакционного газа и опорного напряжения на микротвердость покрытий в выбранном интервале значений не столь существенно, так как изначально оно было выбрано близким к оптимальному, когда высока вероятность прохождения плазмохимической реакции между Ti и N на поверхности подложки.

Статистический анализ уравнения (5) по F-критерию Фишера подтвердил математическую адекватность модели. Также были определены значимости критериев по t-критерию Стьюдента. Данный анализ показал значимость трех критериев из четырёх. Незначительным оказался критерий опорного напряжения U_n , который мы не включаем в конечную модель, так как его значением можно пренебречь.

В регрессионном анализе наиболее важными результатами являются: коэффициенты при переменных и Y-пересечение, являющиеся искомыми параметрами модели; множественный R, характеризующий точность модели для имеющихся исходных данных; F-критерий; t-статистика – величины, характеризующие степень значимости отдельных коэффициентов модели. В данном случае F-критерий Фишера гораздо больше критического (2,72), что подтверждает адекватность модели. Колонка t-статистика показывает значимость факторов. Для

определения значимости каждого фактора его надо сравнить с t-критическим, и если оно меньше t-критического – то фактором можно пренебречь. В данном случае t-критическое равно 2,201. Сравнивая данное значение со значениями в колонке видим, что четвёртый параметр меньше критического – значит его в основном уравнении модели можно не учитывать.

Для практического применения получим уравнение в натуральном масштабе, воспользовавшись преобразованием (2). Тогда уравнение (3) примет вид:

$$H=194-1,14I_1+2,68I_2+42,71P. \quad (6)$$

Анализируя полученное выражение, можно прийти к выводу, что одна и та же микротвердость может получаться при различных параметрах осаждения покрытия. Таким образом, появляется возможность управлять технологическим циклом.

УДК 621.941.1

Данильчик С.С.

КИНЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ДРОБЛЕНИЯ СТРУЖКИ В ПРОЦЕССЕ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ

БНТУ, Минск

Кинематические методы дробления сливной стружки основаны на изменении кинематики процесса резания. К ним относятся дискретное и релаксационное резание. Методы дискретного и релаксационного резания обеспечивают надежное стружкодробление при применении режущего инструмента обычной геометрии для разнообразных обрабатываемых материалов в широком диапазоне режимов обработки. Установлено, что шероховатость поверхности, обработанной при помощи дискретного и релаксационного методов, достигает Ra 5–10 мкм. Но эти методы применимы для обработки заготовок диаметром не более 170 мм. Кроме того, периодический