

## **ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ОСАЖДЕНИЯ ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ**

**Иванов И.А., Ковалевич Э.В.**

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

Среди различных методов формирования на поверхностях деталей машин и инструмента сложнолегированных функциональных покрытий широкое применение нашли методы осаждения потоков низкотемпературной плазмы в вакууме [1]. Высокая степень ионизации и энергии конденсируемых частиц определяет простоту управления потоком, высокую силу сцепления осаждаемых покрытий с основой и формирование плотных конденсатов. Использование вакуума гарантирует чистоту процесса, а использование в качестве рабочей среды реакционноспособных газов позволяет формировать покрытия на основе тугоплавких соединений (таких как нитриды, силициды, карбиды тугоплавких металлов) при относительно низких температурах основы (100...300 °С) [2]. Установки нанесения покрытий данными методами могут быть легко автоматизированы, однако правильность выбора технологических режимов осаждения и качество получаемых покрытий все еще зависит от квалификации оператора.

Задача данного исследования - разработать подходы к построению численных моделей многофакторных технологических процессов на этапе постановки задачи. На основе этих моделей в последующем будет разработано программное средство управления процессом осаждения покрытий.

Процесс формирования покрытий вакуумно-плазменным способом представляет собой последовательность трех последовательных взаимосвязанных технологических этапов: генерация ионно-плазменного потока (рабочего вещества); перенос рабочего вещества от генератора к поверхности конденсации и взаимодействие рабочего вещества и рабочей среды (атомов остаточного или легирующего газов); взаимодействие рабочего вещества с поверхностью детали, формирование покрытия. В зависимости от энергии ионов потока взаимодействие плазменного потока с поверхностью детали может идти в режимах распыления или конденсации. Проектирование технологического перехода есть одновременное построение последовательности этих трех технологических этапов, каждый из которых имеет свои параметры, однозначно описывающие его. Структурно-функциональный анализ процесса нанесения вакуумно-плазменных покрытий показал, что помимо трех основных технологических этапов данный технологический процесс включает три подготовительные операции: обеспечение

требуемого качества поверхности детали, на которую наносится покрытие (так называемая, вне вакуумная подготовка); выбор состава материала катода и способа его изготовления; установка детали в технологической оснастке в рабочем объеме вакуумной камеры [3].

В целом проблема моделирования может быть представлена как проблема оптимизации целевой функции с детерминированными параметрами, либо со случайными параметрами, значения которых можно получить с любой степенью достоверности. Решение имеет матрицу вероятных решений:  $X = (X_{ij})$ ,  $i = 1..n$ ,  $j = 1..m$ , где  $m$  – число возможных решений;  $n$  – число параметров, определяющих решение. В общем случае эти параметры могут быть функциями.

Компоненты этой матрицы связаны множеством ограничений  $Y$ , вызванных физическими процессами и принятой схемой реализации технологических этапов. Правильность выбора решения оценивается набором критериев  $e_1, e_2, \dots, e_q$ , каждый из которых имеет фактор относительной важности  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_q$  (вектор важности  $A$ ). Выбранное оптимальное решение из матрицы  $X$  должно соответствовать принципу оптимальности вектора критериев  $E$  ввиду вектора важности  $A$  и при выполнении ограничений  $Y$ :  $E = \text{optimum}\{E(A, X), A\}$ .

Компьютерное моделирование таких многофакторных процессов направлено на построение “сквозной” модели всех стадий процесса нанесения покрытий в виде аналитического описания имеющихся экспериментальных результатов [4]. Упрощение компьютерной реализации математических моделей при сохранении точности вычисления может быть достигнуто за счёт модульного построения программного комплекса и привлечением технологии объектно-ориентированного программирования с учетом независимости внутреннего логического построения модулей [5].

1. Sultan, S.A, Ivanou, I.A. Alternative technologies of metal deposition and its mathematical simulation// Машиностроение и техносфера XXI века: сборник трудов междунар. науч.-техн. конф. в г. Севастополе, 2004: в 4 т. - Донецк: Донецкий НТУ, 2004.- Т.4. - С. 241-244.
2. Плазменно-вакуумные покрытия /Под общ. ред. Ж.А. Мрочка. - Минск: УПТехнопринт, 2004. - 369 с.
3. Султан, С.А.И., Иванов, И.А. Технологические стадии PVD процессов и их компьютерное моделирование// Новые материалы оборудование и технологии в промышленности: материалы респ. науч.-техн. конф.- Могилев: ГУ ВПО «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ», 2005.-С. 129.
4. Компьютерное моделирование процессов плазменного напыления покрытий / С.П. Кундас [и др.] - Минск: Бестпринт, 1998. - 212 с.
5. Султан, С.А.И., Иванов, И.А., Иващенко, С.А., Голушко, В.М. Разработка программного модуля для расчёта скорости осаждения титано-вой плазмы в среде технологического газа// Вестник БНТУ.- 2006. - №5. - С.21-24.