

ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 62-408.2

А. А. БЕРЕЗОВСКИЙ, А.Л. СТАНОВСКИЙ, д-р техн. наук,
В. М. ТОНКОНОГИЙ д-р техн. наук, Одесса, Україна

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ПОКРЫТИЙ НА ДЕТАЛЯХ МАШИН

Запропоновано стохастичну математичну модель процесу формування покриттів на деталях машин, яка містить прогнозуючий блок на нейронній мережі. Головною відмінною рисою запропонованої моделі є те, що до уваги приймаються практично всі параметри нанесення покриттів, що значною мірою впливають на пористість, від якої, в свою чергу, залежать майже усі фізико-механічні властивості покриттів.

Предложена стохастическая математическая модель процесса формирования покрытий на деталях машин, содержащая прогнозирующий блок на нейронной сети. Главной отличительной чертой предлагаемой модели является то, что во внимание принимаются практически все параметры нанесения покрытий, в значительной мере влияющие на пористость, от которой, в свою очередь, зависят почти все физико-механические свойства покрытий.

The stochastic mathematical model of a covering on machine details formation process which engages the forecast block on a neural network is offered. The main distinctive feature of offered model is that in attention almost all parameters of the coverings drawing are accepted, appreciably influencing porosity, from which almost all physic-mechanical properties of coverings, in turn, depend.

Покрyтия играют большую роль в современных технологиях упрочнения деталей машин. Качество этих покрытий зависит от многих факторов, но главными из них являются прочность и пористость. Обычно характер разрушения, например, напыленных газотермических покрытий при совместном деформировании с материалом основы зависит от соотношения адгезионной и когезионной прочности. Однако величины последних определяются, главным образом, пористостью и наличием окисленных зон в покрытии [1].

От пористости зависят почти все физико-механические свойства покрытий. Эта зависимость столь сильна, что часто пористость рассматривают в качестве параметра состояния в функциональной зависимости «численная характеристика свойства – пористость» [2]. Величины, определяющие проводимость (электро- и теплопроводность, магнитную и диэлектрическую проницаемости), упругость (нормальный и

сдвиговой модуль упругости), сопротивление пластической деформации (предел текучести, твердость), монотонно убывают с увеличением пористости и в общем виде могут описываться обобщенной степенной биномиальной функцией [3]

$$\beta = \beta_0 (1 - \Pi)^m, \quad (1)$$

где β – численная характеристика некоторого свойства пористого тела; β_0 – то же для материала, идентичного в структурном соотношении, но не содержащего пор; Π – пористость; m – показатель степени ($m > 1$).

Многообразие факторов, ответственных за формирование пористой структуры напыленных плазменных покрытий, обуславливает трудности постановки аналитических методов изучения пористости. Количество таких работ ограничено, и выполнены они при весьма вольных допущениях [4, 5]. Кроме того, в основном исследовалась зависимость пористости покрытия только от единичных параметров напыления.

В настоящей работе предложена следующая модель формирования плазменного покрытия на деталях машин. Ее основной задачей является определение пористости покрытия в зависимости от параметров процесса напыления.

Главной отличительной чертой предлагаемой модели является то, что во внимание принимаются практически все параметры напыления, в значительной мере влияющие на пористость. Это стало возможным, благодаря использованию нейронной сети в качестве «аппроксиматора» зависимостей пористости от отдельных параметров. При моделировании сделано допущение, что размер упрочняемой детали намного больше размера частицы напыляемого порошка.

На структурной схеме модели (рис. 1) первым блоком обработки входных данных является однородная трехслойная нейронная сеть с последовательными связями. Она обучается по результатам экспериментальных данных [2, 6] и аналитическим зависимостям пористости от отдельных параметров напыления [2, 6, 7].

На вход нейронной сети поступают значения технологических параметров напыления, требующие предварительной обработки перед подачей в блок стохастической обработки ($X_1 \dots X_{17}$): материал подложки, теплофизические свойства подложки, температура подогрева подложки, коэффициент сложности формы напыляемого изделия, состав напыляемого порошка, теплофизические свойства порошка, скорость частиц порошка, сила тока плазменной установки, напряжение плазменной установки, размер эффективного пятна термического воздействия на подложку, размер эффективного пятна напыления, температура газовой

струи, состав плазмообразующего газа, состав газовой среды напыления, дистанция напыления, расход распыляемого материала, место подачи материала в распылительную головку.

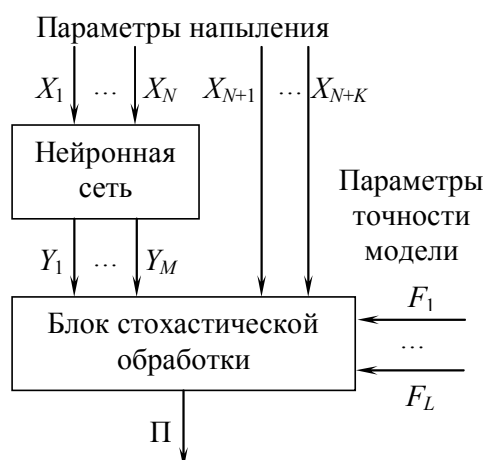


Рисунок 1 – Структурная схема модели напыления

Второй блок – блок стохастической обработки – моделирует послойное заполнение напыляемого покрытия отдельными частицами порошка. На каждом шаге моделирования добавляется некоторое количество частиц, располагаемых случайным образом на поверхности текущего фиксированного участка модели. Получено визуальное отображение модели в плоскости вертикального разреза покрытия (рис. 2).

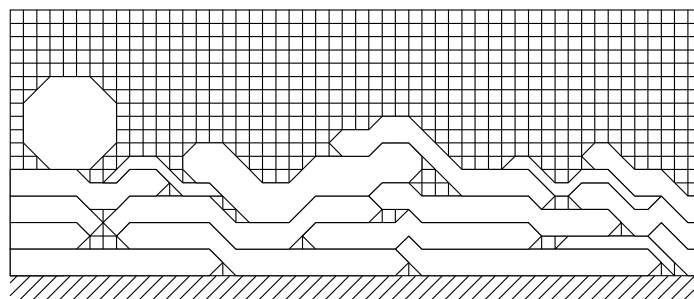


Рисунок 2 – Состояние стохастической модели после n -го шага нанесения покрытия

На входы $Y_1 \dots Y_7$ блока стохастической обработки поступают следующие выходы нейронной сети: коэффициент расплавленности частиц, коэффициент растекания (расплющивания) частиц, процент нерасплавленных частиц, среднее количество частиц, попадающих на поверхность за 1 с, скорость окисления подложки, скорость окисления материала порошка, средняя высота одного слоя.

Кроме того, на входы $X_{18} \dots X_{23}$ второго блока обработки подаются следующие параметры напыления: скорость перемещения газовой струи, средний размер частиц порошка, дисперсность частиц порошка, толщина

напыляемого покрытия, шероховатость поверхности подложки, время между нанесением слоев.

Для осуществления компьютерного моделирования двухмерное пространство разреза покрытия должно быть дискретным (рис. 2). Для этого его разбивали на квадратные ячейки. Поскольку все объекты модели (частицы порошка) имеют округлые формы, предложена дискретная сетка с тремя состояниями ячеек: пустая; наполовину заполненная; полностью заполненная.

Это позволяет, не уменьшая шаг дискретизации, резко увеличить точность модели.

При определении пористости покрытий учитывали степень окисления подложки и напыляемого порошка. Для этого после окончания моделирования напыления каждого слоя полученное значение пористости корректировали по ее зависимости от степени окисления материалов

$$\Pi_i' = \Pi_i t_{\text{сл}} v_{\text{оп}} / h_i, \quad (2)$$

где Π_i' – окончательная пористость i -го слоя; Π_i – пористость i -го слоя, полученная при моделировании; $t_{\text{сл}}$ – время между нанесением слоев; $v_{\text{оп}}$ – скорость окисления материала порошка; h_i – высота i -го слоя.

Точность стохастической модели управляется с помощью шага дискретизации пространства F_1 и шага дискретизации времени F_2 .

В практике газотермического напыления необходимые значения пористости подбираются экспериментально. Для этого затрачиваются большое количество материалов, энергии и времени.

Разработанная модель позволяет избежать этого. Она дает возможность быстро и удобно прогнозировать пористость плазменных покрытий для каждого конкретного случая. При этом точность прогноза достаточно высокая, что подтверждено опытами с молибденовыми покрытиями. Их пористость определяли методом гидростатического взвешивания и с помощью разработанной модели. Сравнение полученных значений дало отклонение в 10 – 12 %.

Список литературы: 1. *Онищенко А.Г.* Модель формирования покрытия при плазменном напылении порошковых материалов / *А.Г. Онищенко, А.Л. Становский.* – Материалы X семинара «Моделирование в прикладных научных исследованиях». – Одесса: ОНПУ, 2003. – С. 26 – 29. 2. *Петров С.В.* Плазменное газоздушное напыление / *С.В.Петров, И.Н. Карп* – К.: Наук. думка, 1993. – 494 с. 3. *Харламов Ю.А.* // Порошковая металлургия. – 1990. – № 12. – С. 36 – 41. 4. *Fukanuma H.* // Proc. Int. Thermal Spray Conf. (Orlando, Florida, 28 May – 5 June 1992). – P. 767 –772. 5. *Лазаренко Г.П.* Применение безразмерных комплексных параметров при анализе свойств плазменнонапыленного нихрома / *Г.П. Лазаренко, Л.И. Дехтярь, В.С. Лоскутов.* – Порошковая металлургия. – 1981. – № 2. – С. 41 – 44. 6. *Кудинов В.В.* Нанесение покрытий плазмой / *В.В. Кудинов, П.Ю. Пекшев, В.Е. Белащенко и др.* – М.: Наука, 1990. – 408 с. 7. *Тушинский Л.И.* Исследование структуры и физико-механических свойств покрытий / *Л.И. Тушинский, А.В. Плохов.* – Новосибирск: Наука, 1986. – 200 с.