

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ

13 декабря 2002 г., 9.00 – 13.00

1-й учебный корпус БНТУ

аудитория 202

Руководители секции:

Василевич Ю.В. – д.ф.-м.н., профессор

Демьянушко И.В. – д.т.н., профессор

Чичко А.Н. – д.ф.-м.н., профессор

Секретарь: **Кравчук А.С.** – к.т.н., доцент

УДК 621.001+536.75

П.И. Ящерицын, М.Л. Хейфец, С.В. Кухта, В.В. Яскевич

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНТЕНСИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА КОНСТРУКЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ ДЕТАЛИ

*НАН Беларуси, Минск, Беларусь
Полоцкий государственный университет
Новополоцк, Беларусь*

В последнее время процессы интенсивной обработки рассматриваются с системных позиций, как последовательности преобразований вещества, энергии и энтропии в материальных и информационных подсистемах, направленные на изменение точности и качества поверхностей детали и физико-механических свойств материала. Для анализа путей интенсификации формирования структур и фаз поверхностных слоев деталей в обрабатывающей системе выделяются нестабильные переменные, которые подчиняют себе развитие, эволюцию стабильных в данном процессе параметров. Такой подход позволяет рассматривать любую структуру, как самостабилизирующийся энергетической обусловленностью комплекс [1]. При эволюции чередование переходов системы из устойчивого в неустойчивое состояние сопровождается сменой масштабного уровня процесса поглощения энергии и образованием диссипативных структур.

Изучение явлений наследования свойств, состояний, фаз и структур поверхностных слоев, формируемых в процессах интенсивной обработки, проводится на основании физико-химического анализа, с использованием топологических моделей - геометрических образов соотношений: состав - свойство системы [2]. Для описания процессов модифицирования поверхностных слоев при воздействиях концентрированными потоками энергии исследуется открытая технологическая система с дополнительными тер-

модинамическими степенями свободы (С) и рассматривается формирование диссипативных структур и фаз (Ф), рассеивающих избыток подводимой энергии.

Для получения модифицированных слоев с определенными структурами или фазами на основании физико-химического анализа [2]: 1) рассматривается связь степеней свободы системы С с формирующимися фазами Ф; 2) определяется рациональное число С и структура взаимосвязи степеней свободы; 3) по результатам оптимизации числа степеней свободы С, конструируется расположение фаз Ф в поверхностных слоях металла.

Основными принципами анализа физико-химических диаграмм являются предложенные Н.С. Курнаковым принципы непрерывности и соответствия. Принцип непрерывности затрагивает образование и распад фаз физико-химической системы при введении компонентов (К) и наложении полей (П), описываемые уравнением Гиббса:

$$K+П-Ф-С = 0,$$

где К - число компонентов, т.е. число веществ достаточных для того, чтобы определить состав любой фазы, П - число переменных налагаемых полей параметров (температуры, давления, гравитационных, электрических, магнитных и др.), Ф - число однородных фаз, под которыми подразумеваются массы, отличающиеся по составу и по термодинамическим свойствам, С - число термодинамических степеней свободы, т.е. число независимых переменных (скорости, мощности, интенсивности и т.п.) которые можно произвольно изменять без нарушения числа фаз системы.

Принцип соответствия, позволяет представить: компоненты К физико-химической системы - точками диаграммы, которые образуют для комплекса узлы графа или вершины (В) многогранника; переменные налагаемые на систему поля П - поверхностями или гранями (Г) комплексов. Тогда, образующиеся при появлении новых и исчезающие при распаде старых фаз Ф линии соединения вершин В или пересечения граней Г целесообразно обозначить ребрами (Р) формируемого графа или многогранника [2].

Таким образом, между физико-химической системой произвольного, неограниченного состава, описываемой уравнением Гиббса и диаграммой состояния – геометрическим образом системы любой размерности, описываемой формулой Эйлера:

$$В+Г-Р-Х = 0,$$

существует соответствие, позволяющее рассматривать степени свободы С системы, как эйлеровы характеристики (Х) многогранника [2].

Возникновение новых и исчезновение старых фаз и структур прерывисто, скачком изменяющие состояние системы, при использовании принципа непрерывности, ставят вопрос о структурно-фазовой устойчивости физико-химической системы в целом. Это требует исследования системы в окрестностях особых точек диаграмм (минимумов, максимумов, точек перегиба, эвтектических), главным образом сингулярных точек, в которых физико-химический состав сохраняется с изменением внешних условий. Так как образование сингулярных точек создает предпосылки для формирования новых связей (фаз, структур и т.п.), это отражается на числе ребер Р и может изменить число степеней свободы С системы.

Поверхности раздела структур и градиенты свойств слоев формирующих композиционный материал изделия, определяются технологическими барьерами, которые дают возможность установить граничные условия процессов послойного синтеза. Воздействия концентрированными потоками энергии сообщают обрабатываемой поверхности импульсы, при этом скорость и ускорение распространения фиксируются на всех участках их прохождения. Так, о скорости распространения энергии можно судить по распределению значений параметров упрочнения по глубине поверхностного слоя. Величина энергии импульса пропорциональна площади, расположенной под кривой упрочнения, которую можно

определить графическим интегрированием. Ускорение, то есть первая производная от скорости, получаемая графическим дифференцированием, характеризует величину и положение силы, сопротивления проникновению импульса в поверхностный слой [2].

При фазовых переходах II рода теплота переходов равна нулю, первые производные свободной энергии по параметрам состояния непрерывны, а вторые производные меняются скачкообразно. Поэтому, рассматривают вторую производную от импульса энергии $P\tau$ по глубине H поверхностного слоя. Для глубины распространения $H=f^*(P\tau)$, согласно правилу дифференцирования функции, обратной данной $P\tau=\varphi^*(H)$:

$$\frac{\partial^2(P\tau)}{\partial H^2} = \frac{\partial P \cdot \partial \tau}{\partial^2 H};$$

так как ускорение – производная скорости: $\frac{\partial v}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 H}{\partial \tau^2}$,

$$\text{то } \frac{\partial^2 H}{\partial \tau} = \partial v \text{ и тогда } \frac{\partial^2(P\tau)}{\partial H^2} = \frac{\partial P}{\partial v}$$

То есть вторая производная от импульса энергии по глубине распространения равна производной от необратимой силы по скорости и описывает условие устойчивости Г.Циглера $\partial P/\partial v \geq 0$, показывающее, что стационарное состояние обрабатываемой системы асимптотически устойчиво по А.М.Ляпунову. Следовательно, вторую производную от импульса энергии по глубине поверхностного слоя можно рассматривать как технологический барьер, выделяющий условные поверхности раздела слоев с различными структурами [2].

Конфигурацию границ позволяет рассмотреть компьютерное поверхностное и твердотельное моделирование, при этом задачи моделирования послойно формируемых оболочек не сводится к простому масштабированию, а учитывают конструктивные особенности и специфические условия технологий, связанные с устойчивостью процессов, взаимопроникновением слоев и другими поверхностными явлениями.

Для изучения явлений пространственно-временного распределения результатов технологических воздействий в конструкционном материале необходимо исследовать материал изделия как распределенную систему с позиции общей теории систем. Общая теория систем изучает роль локальных свойств элементов и организации их связей в определении глобальных свойств системы. Теория распределенных систем важна для технологических приложений, поскольку конструкционные материалы имеют два основных уровня организации: атомно-молекулярный и структурно-фазовый. Свойства элементов этих уровней принципиально различны, тем не менее на каждом из уровней могут решаться одинаковые задачи. Для описания свойств конструкционного материала в первую очередь рассмотрим распределенную систему взаимодействующих элементов в структурно-фазовом масштабе технологической среды, то есть на уровне ткани [3].

Состояние и простейшие акты поведения формально возбудимой среды можно моделировать на дискретной однородной среде логических функций. Этот класс моделей возбудимых тканей называют «непрерывными средами», а дискретные модификации — «типа непрерывных сред», поскольку они удовлетворяют следующему основному принципу: функционально связными по передаче возбуждения являются только геометрически соседние точки.

В общем случае дискретные модели имеют структуру простых сетей N_s^n , а непрерывные модели определяются на непрерывных многообразиях типа действительного пространства R^n с использованием естественных «топологических связей» точек-клеток этого пространства. Для выделения моделей тканей с локальными взаимодействиями точек-клеток используют название «точечная ткань», поскольку передача возбуждения здесь осуществляется по принципу «от точки к точке». Точечная ткань – это множество локально взаимодействующих точек-клеток. Как модель непрерывной воз-

будимой среды точечная ткань является кинематической моделью и удобна для изучения глобальных свойств распространения волн возбуждения без учета динамических эффектов, присущих реальным технологическим средам.

Дискретные модели ткани определяют на сетевых графах. Задание некоторого графа G означает задание возможных функциональных связей в множестве клеток-вершин X . Дальнейший переход от данной структурной схемы $G(X)$ к некоторой модели ткани $T(X)$ связан с выбором формы функционального оснащения структурных элементов графа. При формальном подходе вершинам приписываются некоторые свойства клеток, а ребрам — свойства передачи некоторых воздействий, влияющих на свойства вершин-клеток [3].

В общем случае свойства каждой вершины $x \in X$ можно описывать некоторым множеством состояний $Z = \{z_1, \dots, z_m\}$ с указанием: 1) графа переходов $P(Z)$ в этом множестве состояний; 2) свойств переходов в P для разных воздействий действующих на данную клетку x через внутренние или внешние связи; 3) связи состояний ребер-связей, выходящих из x , с состоянием клетки x .

Математическое содержание этих общих формальных отношений может широко варьироваться. Ограничимся упрощенной формальной схемой процесса миграции одиночного акта смены состояний клеток. Рассмотрим какую-либо одну возбудимую клетку и определим ее поведение как поведение конечного автомата. Идея метода клеточных автоматов заключается в дискретном описании реальной физико-химической системы большим числом составляющих ее элементов — клеток. Каждая из этих клеток изменяет свое состояние при новом шаге дискретного времени в зависимости от того, какими были эта клетка и ее ближайшее окружение прежде.

Модель методов изготовления деталей машин без формообразующей оснастки представляет собой конечный автомат. Приняв за функциональные состояния технологической системы различные способы наращивания слоев строится кинетическая схема конечного автомата при: I) прямом получении деталей; II) послойном синтезе; III) быстром прототипировании; IV) формировании трехмерных объектов;

Представив блок-схемами совокупности режимов для каждого функционального состояния, получают алгоритмические схемы состояний технологической среды. Соединив алгоритмические схемы состояний строят клеточный автомат технологической среды при прямом выращивании изделий. Рассматривая взаимосвязи состояний конечного автомата, получают граф состояний клетки-элемента технологической среды.

Графы состояний, возбудимой клетки-автомата в совокупности описывают поведение клеточного автомата технологической среды при прямом выращивании изделий, представимое графом состояний клетки - элемента технологической среды. Так граф состояний для: I) прямого получения деталей, главным образом будет представляться режимами с разбиением состояния покоя; II) послойного синтеза, прежде всего будет описываться разбиениями состояний рефрактивности и возбуждения; III) быстрого прототипирования, в первом приближении - общей схемой.

В результате граф состояний может быть эффективно использован для описания функциональных состояний элементарных клеток технологической среды. Для понимания функциональной организации технологических сред моделируемых точечными тканями в первую очередь требуется определить необходимые и достаточные условия невырожденного распространения, инициированного начальным возбуждением точек, со своей конфигурацией связей, а затем выявить топологию траектории фронта волны возбуждения при тех же начальных условиях. Индивидуально каждая точка-клетка континуальной модели точечной ткани не отличается по свойствам своего поведения от клеток дискретной модели и может находиться в одном из трех состояний: покоя, возбуждения, рефрактивности. В результате волны возбуждения ткани могут описывать с

применением классических волновых принципов распространение интенсивных воздействий в технологической среде и моделировать изменение и передачу состояния и свойств конструкционного материала.

Таким образом, с позиций теории распределенных систем границу распространения технологических воздействий в конструкционном материале – технологический барьер, целесообразно представить вырождением распространения фронта волны возбуждения, для определения которого требуется знать необходимые и достаточные условия невырожденного распространения и топологию связей фронта волны возбуждения.

Литература. 1. Иванова В.С., Баланкина А.С., Бунин И.Ж., Оксогоев А.А Синергетика и фракталы в материаловедении.-М.: Наука, 1994.-383с. 2. Хейфец М.Л., Кожуро Л.М., Мрочек Ж.А. Процессы самоорганизации при формировании поверхностей.- Гомель: ИММС, 1999.-276с. 3. Смолянинов В.В. Математические модели биологических тканей.-М.: Наука, 1980.-368с.

УДК 539.3

Ю.В. Василевич, С.В. Акимова, О.И. Алейникова

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НОВЫХ АНИЗОТРОПНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Разработка многих новых аналитических решений трехмерных граничных задач анизотропного тела основывается на подходе и методах построения решений для изотропных тел.

При решении задачи об определении напряженно-деформированного состояния в изотропном полупространстве в зависимости от заданной нормальной нагрузки на поверхности $z = 0$, Галин Л.А., следуя Лурье А.И. [2], воспользовался функциями, введенными Папковичем П.Ф. и Нейбером [3]. Компоненты перемещений были выражены через гармонические функции $\Phi_i (i = \overline{1,4})$. Вследствие отсутствия при $z = 0$ касательных напряжений $\tau_{xz} = \tau_{yz} = 0$ получены два соотношения, связывающие между собой Φ_i . Воспользовавшись свойством регулярности гармонических функций и введя новую гармоническую функцию, Галин Л.А. выразил Φ_i через нее. В итоге оказалось, что компоненты напряжений и перемещений выражены через одну гармоническую функцию [1].

Ниже излагается новый подход к решению вышеописанной задачи, который в дальнейшем положен в основу построения решения граничных задач для упругих тел, обладающих анизотропными свойствами материала.

Уравнением равновесия $\sigma_{ij,j} = 0 (i, j = 1, 2, 3)$ при отсутствии объемных сил удовлетворим, если положим