

Исследование механизма структурообразования в процессе интенсивного уплотнения порошков с использованием эффекта межчастичного сращивания

д.т.н. Кокорин В.Н., д.т.н. Филимонов В.И., Сизов Н.А., Кокорин А.В., Брызгин М.А.
Ульяновский государственный технический университет
omd@mf.ulstu.ru

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы структурообразования при интенсивном пластическом деформировании гетерофазных механических смесей. Произведен расчет коэффициента преодоления энергетического барьера, определена минимально допустимая величина увеличения площади межчастичного контакта в момент образования поверхностного схватывания.

Ключевые слова: гетерофазные механические смеси, межчастичный контакт, энергетический барьер

Несмотря на огромное количество работ, связанных с моделированием и прогнозированием остаточной пористости материала при одноосном нагружении; оценкой уровня физико-механических свойств и качества образуемой структуры, моделирование поведения объекта, находящегося в условиях воздействия как внешних, так и внутренних факторов, продолжает оставаться актуальным. Существует ряд подходов к решению данной проблемы: прямые (опытные) методы определения уровня остаточной пористости и качества структуры; косвенные, основанные на теоретических моделях взаимосвязи дефектов структуры, давления прессования и рядом механических и технологических свойств материала основы тела; статические, основанные на предположении об постоянстве распределения функций пакета объекта и т.д., но ни один из них не может рассматриваться как универсальный, т.к. все эти методы содержат гипотезы лишь с очень большой степенью приближения, описывающие реальные процессы с тем или иным уровнем искажения.

Существенным недостатком опытных (прямых и косвенных) методов является проведение большого числа экспериментов при фиксированных значениях факторов, определяющих состояние структуры механической смеси (гранулометрический состав порошка, состояние его поверхности, вязкость и плотность заполняющей фазы и др.).

В статистических методах предполагается, что заведомо известны функции распределения параметров объекта (остаточная пористость, вид и качество межчастичных контактов и др.), определяющие его поведение в поле внешних и внутренних воздействующих факторов.

Однако следует согласиться, что в некоторых случаях выбранное распределение не в полной мере корректно согласуется с реальной природой исследуемого объекта, например, в нагруженном исходном образце предполагается известной функция распределения единичных элементов (форма пор и контактов между частицами, текущая плотность и вязкость заполняющей жидкой фазы, поверхностная смачиваемость и адсорбционная способность частиц и т.д.), но очевидно, что истинные значения и их распределение может существенно отличаться от принятого.

Так, текущее распределение пористости при нагружении в различных зонах образца может определяться различными механизмами уплотнения, отличием в природе образования межчастичных контактов и т.д., поэтому приходится обращаться к аппарату теории вероятности и использовать одно из классических распределений дефектов структуры. Таким образом, прямое моделирование уплотнения и структурообразования при нагружении механической смеси с различными единичными по природе кластерными образованиями (металл, жидкость, газ) и сложными межфазными деструктивными явлениями (разрушение одних контактов и одновременное создание устойчивых связей с другими) приводит к синтезу неадекватных моделей. Поэтому теоретико-эмпирическая модель, связывающая все факторы структурообразования в процессе уплотнения и интегрально описывающая взаимосвязь единичных кластеров тела, определение его мгновенной равновесной структуры, имеет кор-

ректную основу.

Моделирование структурообразования при интенсивном пластическом деформировании гетерофазных увлажненных механических смесях

Введём некоторые определяющие показатели структуры. Под N -мерной уплотняемостью материала механической смеси понимается способность её кластерных единичных элементов образовывать новые межчастичные контакты при воздействии N -факторов деструкционного (повреждающего) потока: взаимное перемещение частиц; сжатие жидкости в кавернах в условиях закрытой пористости; фильтрация жидкости и газа в условиях открытой пористости; мгновенное разрушение и эрозия межчастичных контактов; локальные образования мозаичных блоков и др.

Можно предположить, что в процессе нагружения происходит исчерпание мгновенной равновесности структуры тела с изменением мгновенных топологий как дискретных частиц твердой матрицы, оболочковой (в состоянии засыпки) формы жидкой фазы, так и порового пространства, что приводит к появлению иной (мгновенной) равновесной структуры с новыми межчастичными контактами обладающей более высоким уровнем относительной плотности и качеством межчастичных соединений [1].

Полная энергия, необходимая для обеспечения сплошности объекта, как единого целого, в каждый мгновенный этап, интегральная энергия условно исчезает при мгновенном разрушении межчастичных контактов, и далее аккумулируется на следующем этапе образования новых контактов (эффект схватывания – «правило бритвы» Оккама) (рисунок 1) [2], что даёт право на интерпретацию явления схватывания металлов как процесса, во многом противоположного разрушению, как антитезу разрушения [3, 4].

В работе Подвойского А.О. и Боровских В.Е. [5] устанавливается, что вектор \bar{F} - есть вектор интегральной энергии \bar{E}_s , которую необходимо затратить для сохранения целостности системы, т.е.

$$\bar{F} = \text{grad}(E_s). \quad (1)$$

Таким образом, системный линейный переход: $E_{s0} \xrightarrow{P} E_{si} \xrightarrow{P} E_{s0i} \xrightarrow{P} \dots \xrightarrow{P} E_{s0}^k$ определяет перманентную изменчивость энергетического баланса системы в условиях: равновесное \rightarrow неравновесное \rightarrow равновесное состояние механических поверхностных контактов, где: p - внешний элемент повреждающего потока, в частности, прикладываемое давление.

Рассматриваемая система энергетического баланса носит необратимый характер последовательности единичных повреждений и создания межзёренных границ при достижении энергетического барьера схлопывания.

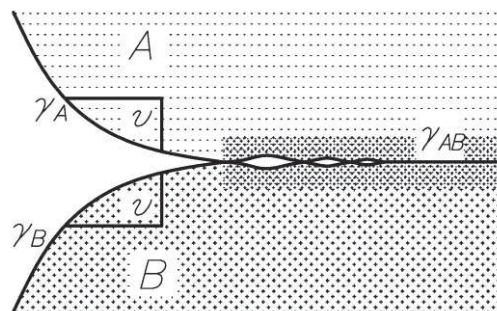


Рисунок 1. К выводу критерия схватывания по правилу «бритвы» Оккама [2]

В работах [6 -8] установлена величина удельной поверхностной энергии совершенной (новой) межзёренной границы, образованной при совместной пластической деформации двух одинаковых металлов:

$$\gamma'_s = \gamma_{si} = \Delta\gamma_s = 0,5\gamma_s; \quad (2)$$

где: γ'_s – удельная поверхностная энергия новой межзёренной границы; γ_s – удельная свободная поверхность [Дж/м²].

Энергетический (потенциальный) барьер образования границ (барьер схватывания ме-

таллов) при образовании новой межзёрненной границы ($\Delta\gamma_s/a_{zp}$) - это напряжение, соответствующее образованию новой границы в объёме металла и определяющееся как предельное (когда сумма напряжений от действия внешних сил и внутренних напряжений превысит критическое значение), - возникает при пластической деформации и соответствует, согласно положению, выдвинутому Колбасниковым Н.Г., условию [2]:

$$\sigma_p \geq \Delta\gamma_s/a_{zp} = 0,5\gamma_s/a_{zp}; \quad (3)$$

где: σ_p - значение истинных напряжений в месте разрыва структуры; a_{zp} - толщина слоя металла, участвующая в образовании новой границы; $(\Delta\gamma_s/a_{zp}; a_{zp}) = f$ (система соединяемых металлов); для системы (Fe - Fe) имеем [2]: $\Delta\gamma_s/a_{zp} = 1480 \text{ МПа}$; $a_{zp} = 0,316 \text{ Нм}$.

Очевидно, при некотором значении деформации ε в объёме V образуются условия возникновения новой границы. Для преодоления энергетического барьера при межчастичном схлопывании интегральное изменение энергии системы контактирующих поверхностей: $\Delta W_\Sigma = (W_0 - W_i)$ должно иметь определённую величину:

$$\Delta W_\Sigma \geq V \frac{\Delta\gamma_s}{a_{zp}} \quad (4)$$

При выполнении данного условия энергетический барьер образования границ превысит критическое значение, т.е. произойдёт изменение поверхности и, соответственно, площади контакта (S_k).

Умножая левую и правую части уравнений (4) на 0,5, получим:

$$0,5\Delta W_\Sigma \geq V \left(\frac{0,5\Delta\gamma_s}{a_{zp}} \right) \quad (5)$$

С учётом уравнения энергетического барьера (3) и уравнения (1) преобразуем выражение (5). Получим:

$$0,5\Delta W_\Sigma \geq V[E_s] \quad (6)$$

или:

$$\frac{0,5\Delta W_\Sigma}{V} \geq [E_s] \quad (7)$$

Учитывая, что в исходном состоянии каждый из объёмов имеет свободную поверхность, по которой происходит взаимодействие ($S = V^{2/3}$ [2]) после соответствующих преобразований запишем окончательное выражение критерия, определяющего условие образования новой контактной поверхности (S_i) при преодолении энергетического барьера:

$$0,5 \frac{\Delta W_\Sigma}{S_i^{3/2}} \geq [E_s] \quad (8)$$

Таким образом, для образования новой межчастичной границы необходимо иметь энергию не менее чем та, что определяет критерий (8).

М.Ю. Бальшиным [9] при изучении структурообразования отмечено существенное растяжение контактной поверхности при увеличении пограничной энергии.

Введём коррелирующий коэффициент χ , учитывающий растяжение контактной поверхности при увеличении пограничной энергии и выражающий соотношение текущей и начальной поверхности межчастичного контакта:

$$\chi = \frac{S_i}{S_0} = \frac{S_0^{3/2}}{S_0} = 1,5 \quad (9)$$

где s_0 - начальная поверхность контакта; s_i - площадь поверхности, по которой происходит взаимодействие (из $v^{2/3} = s_i$ [2]).

Выражение (9) является аналогом критерия, определяющего условие образования новой контактной поверхности при преодолении энергетического барьера (8) и определяет ми-

нимально допустимую величину увеличения площади межчастичного контакта в момент образования поверхностного схватывания [10, 11].

Таким образом, энергетический барьер будет преодолён, т.е. при изменении энергии системы, превышающей величину, необходимую для увеличения площади межчастичного контакта более чем в 1,5 раза, будут образованы в объёме новые межчастичные (межзёренные) контакты.

Уравнение (9) позволит оценить качество межчастичных контактов при изучении структуры в процессе интенсивного уплотнения порошков, являясь условием образования связной межчастичной блочной структуры.

Литература

1. Научные основы и технологическое сопровождение процесса прессования порошков на основе железа в присутствии жидкой фазы/ В.Н. Кокорин, В.И. Филимонов, А.С. Марков, К.К. Мертенс: Изв. Самарского НЦ РАН. – 2008, т.4. – с. 65–73.
2. Теория обработки металлов давлением. Сопротивление деформации и пластичности/ Н.Г. Колбасников: СПб, СПбГТУ, 2000 – с. 314.
3. Соединение металлов в твёрдой фазе/ Э.С. Карагозов: М.: Металлургия, 1976 – с. 264.
4. Схватывание металлов/ А.П. Семенов.: М.: Машиностроение, 1958. – с. 280.
5. Регрессионная модель истощения m -мерной стойкости объекта/ А.О. Подвойский, В.Е. Боровских: Вестник СГТУ. – Саратов, СГТУ, 2008, №4(36) – с.44–46.
6. Границы зёрен в металлах/ А.Н. Орлов, В.Н. Переверзевцев, В.В. Рыбин.: М.: Металлургия, 1980 с – 154.
7. Поверхностная энергия раздела фаз в металлах/ В. Мисол: М.: Металлургия, 1978г.
8. Основы порошковой металлургии/ М.Ю. Бальшин, С.С. Кипарисов: М. Металлургия, 1978 с – 184.
9. Методика определения критерия срачивания частиц в процессе интенсивного уплотнения/ В.Н. Кокорин, Н.А.Сизов: МНТК «Павловские чтения»: М. ИМЕТ РАН , 2010 с – 21–24.
10. Структурообразование в процессе консолидации порошковых материалов в присутствии жидкой фазы/ В.Н. Кокорин, А.А. Скворцов: Вестник СГТУ, Саратов, 2010, №3(37) с. – 71–74.

Использование методов искусственного интеллекта для построения математической модели детали с целью дальнейшего технологического проектирования

к.т.н. Кордюков А. В.
РГАТУ им. П. А. Соловьёва, Рыбинск
8 (4855) 22-20-91, kordukovant@mail.ru

Аннотация. В статье обоснована необходимость применения методов искусственного интеллекта при технологическом проектировании. Рассмотрены методы получения технологической модели детали. Определена информация необходимая для последующего технологического проектирования. Выбраны методы автоматизированного построения технологической модели детали на основе чертежа и трёхмерной модели.

Ключевые слова: САПР ТП, технологическое проектирование; методы искусственного интеллекта; технологическая модель детали; нейронная сеть; нечёткая логика; распознавание геометрии

При технологической подготовке производства практически на всех этапах существуют задачи, которые невозможно решать в автоматическом режиме. Например, отработку конструкции на технологичность более всего можно отнести к акту творчества, который практически невозможно свести к последовательности, выполняемой компьютерной программой.

Трудно формализуема задача синтеза структуры маршрутного технологического про-