

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СТРУКТУРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ В СТАЛИ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ**И. Ю. Карякин (Тюмень)**

При изготовлении различных деталей применяются методы порошковой металлургии. Детали из порошковых сталей используют при больших нагрузках, что требует их высоких механических свойств. Для достижения этих свойств используется термическая обработка.

Для описания процесса фазовых превращений аустенита строится векторная модель, поскольку растровые модели имеют ряд недостатков, связанных с ростом количества обрабатываемой информации, вследствие чего экспоненциально растут используемые ресурсы, а также не представляется возможным рассмотрение полной картины структуры стали.

Предлагаемая имитационная модель представляет собой событийную модель структурных превращений. С течением времени в случайной точке пространства, не занятой объектом (аустенитом), создается новый объект (структурная составляющая) – шар с радиусом заданной величины. Радиус шара со временем растет линейно. Через определенные промежутки времени таким же образом в свободной области создаются новые структурные составляющие.

При возникновении события зарождения или распада объекта вычисляется объем области, занятой структурными составляющими методом Монте-Карло по формуле:

$$V = \frac{N_p}{N} \cdot 100\% , \quad (1)$$

где N_p – количество точек, попавших в объекты, N – общее число точек.

Точки выбрасываются в случайные области исследуемого пространства и анализируются их попадание в структурную составляющую. Величина N_p есть количество точек, координаты которых удовлетворяют неравенству:

$$(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2 \leq r_i^2 , \quad (2)$$

где x, y, z – координаты проверяемой точки; x_i, y_i, z_i, r_i – координаты центра и радиус шара, моделирующего зерно аустенита.

Предполагается, что все вновь возникающие объекты принадлежат одной и той же новой фазе (двухфазная модель). Рассмотренную схему можно обобщить, предположив, что в области, занятой старой фазой, могут возникать новые объекты двух типов, и получить, таким образом, трехфазную модель. Для этого следует повторить все построения, сохраняя для каждого вновь образованного объекта информацию о том, к какой именно из двух новых фаз принадлежит объект.

Процесс моделирования зарождения, роста и распада структурных составляющих (зерен аустенита) осуществляется с применением теории массового обслуживания.

Выбранная модель массового обслуживания является многоканальной системой с моментальным временем обслуживания и четырьмя потоками заявок.

Функция плотности интервала между событиями для простейшего потока имеет вид

$$f(z) = \lambda e^{-\lambda z} , \quad (3)$$

где λ – скорость образования объектов.

При поступлении заявки на распад зерен определенной фазы проверяются все структурные составляющие этой фазы на критический размер. Если зерно меньше критического размера, то оно распадается.

После обработки каждого события вычисляется занятый аустенитом объем.

Процесс моделирования завершается в момент заполнения аустенитом всей исследуемой области.

В целях получения исходной изотермической кривой рассматривается задача нахождения значений параметров системы массового обслуживания, при которых минимизируется сумма квадратов отклонений экспериментальных данных от результатов компьютерного моделирования

$$\sum_{k=1}^n (Vm(\lambda_{create}, \lambda_{raspada}, sk_{rosta}, t_k) - V_k)^2 \rightarrow \min, \quad (4)$$

где n – число экспериментальных точек; t_k – время после начала выдержки стальной детали (сек); V_k – доля распавшегося аустенита после времени t_k , полученная в результате натурального эксперимента (%); λ_{create} – интенсивность возникновения зародышей аустенита (1/сек); $\lambda_{raspada}$ – интенсивность появления событий проверки на свертывание зародышей аустенита (1/сек); sk_{rosta} – линейная скорость роста зародышей; $Vm(\lambda_{create}, \lambda_{raspada}, sk_{rosta}, t_k)$ – доля распавшегося аустенита после времени t_k , полученная в результате компьютерного эксперимента.

Значения долей распавшегося аустенита, полученные в результате натурального эксперимента, заданы таблично. Вследствие чего никакой формулы для целевой функции нет, а имеется лишь возможность аппроксимировать ее значения. Для нахождения минимума целевой функции в данном случае оказалось целесообразным применить метод Хука-Дживса, относящийся к методам прямого поиска.

На базе модели реализовано программное приложение, позволяющее находить параметры модели по существующим кривым и получать изотермические кривые при различных параметрах имитационной модели.

На рис. 1, 2 приведены результаты моделирования процесса образования и распада аустенита.

На рис. 3 приведен результат работы приложения по построению изотермических кривых.

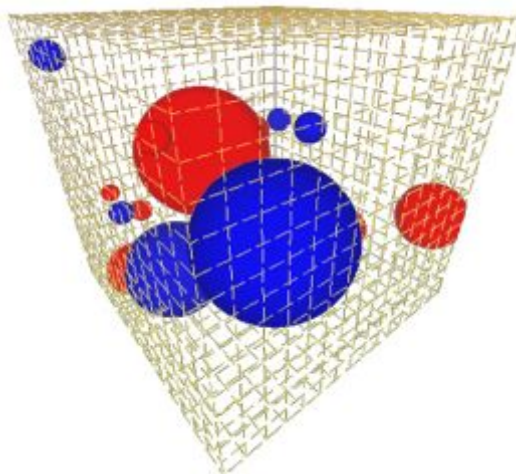


Рис. 1. Состояние модели в промежуточный момент времени

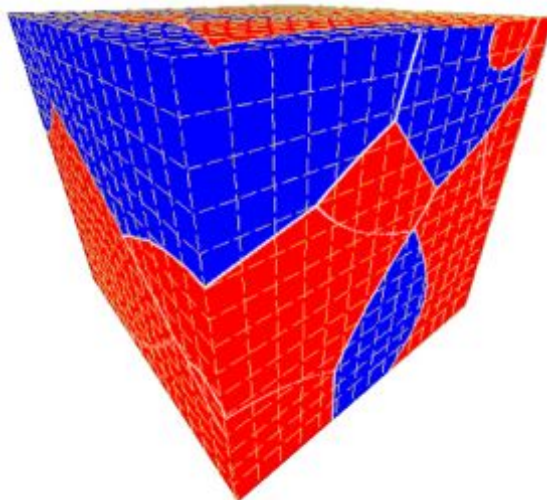


Рис. 2. Конечное состояние модели

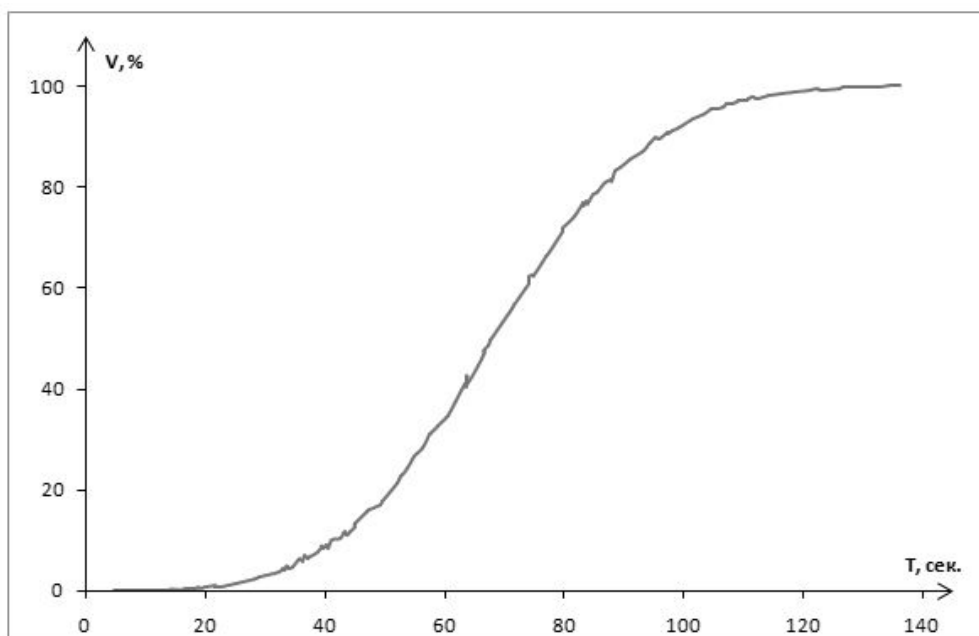


Рис. 3. График изотермической кривой

Построенная имитационная модель, во-первых, является векторной и адекватно описывает процесс распада аустенита, во-вторых, использует современный математический аппарат, в частности, модель массового обслуживания, метод Монте-Карло, модифицированный метод Хука-Дживса, что дает преимущества перед другими моделями в вопросе необходимых вычислительных ресурсов.

Работа выполнена в соответствии с грантом НИР «Прогнозирование кинетики распада аустенита в порошковых сталях при непрерывном охлаждении», регистрационный номер 2.1.2/6498.

Литература

1. **Блантер М. Е.** Теория термической обработки. М.: Metallurgy, 1984. 328 с.
2. **Блантер М. Е.** Фазовые превращения при термической обработке стали. М.: Изд. литературы по черной и цветной металлургии, 1962.
3. **Ивашко А. Г., Цыганова М. С., Карякин И. Ю.** Имитационное моделирование фазовых превращений. // Математическое и информационное моделирование. Сборник научных трудов. Вып. 10. Тюмень, «Вектор Бук», 2008. С.106-113.
4. **Гмурман В. Е.** Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высшая школа, 1977.
5. **Гуревич Ю. Г., Цыганова М. С.** Построение изотермических и термокинетических диаграмм порошковых сталей различной пористости расчетным путем. // Известия вузов. Черная металлургия, 2006. № 1.
6. **Гуревич Ю. Г., Ивашко А. Г.** Кинетика распада переохлажденного аустенита порошковых сталей. Курган: Изд. Курган. гос. ун-та, 1998.
7. **Попов А. А., Попова Л. Е.** Справочник термиста. Изотермические и термокинетические диаграммы распада переохлажденного аустенита. М.: Изд. машиностроительной литературы, 1961. 430 с.
8. **Банди.** Методы оптимизации. М.: Радио и связь, 1988.