

УДК 621.791

Регрессионные модели бейнитного превращения легированных сталей

Фу Чжи

zhiyi.fu@mail.ru

SPIN-код: 3240-2364

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. На основе опубликованных атласов диаграмм изотермического и анизотермического распада аустенита разработаны математические модели кинетики бейнитного превращения легированных сталей. Получены регрессионные зависимости параметров моделей превращения от химического состава сталей.

Ключевые слова: сталь, легирование, аустенит, бейнит, кинетика превращения, регрессионная модель

Введение. В связи с сочетанием высокой прочности и пластичности бейнитной структуры, ее получение является основной целью термической обработки легированных сталей. Экспериментальное исследование структурных превращений каждой новой марки стали требует значительных материальных и временных затрат, поэтому необходимо разработать метод математического моделирования этого превращения.

Методы и материалы; результаты. Поскольку бейнитное превращение обладает характерными чертами как перлитного, так и мартенситного превращений, С-образную кривую этого превращения можно разделить на две части: бездиффузионную и диффузионную (см. рисунок). Для описания бездиффузионного процесса разработана модель на основе уравнения Остина — Рикетта [2, 3], позволяющая рассчитать максимальную степень превращения в зависимости от температуры. С помощью программы Statistics обработаны анизотермические диаграммы 87 марок сталей из работы [1] и получены регрессионные зависимости параметров модели от химического состава стали [4].

Уравнение кинетики диффузионного превращения имеет вид

$$F(p) = (vt)^n, \quad (1)$$

где p — степень превращения; t — время от начала превращения; n — параметр процесса; $v = C \left(\frac{T_0 - T}{T} \right)^k \exp \left(-\frac{u}{T} \right)$ — коэффициент скорости превращения [2]. Уравнение С-образной кривой для фиксированного значения степени превращения p :

$$t = t_N \exp[L(T) - L(T_N)], \quad (2)$$

где $L(T) = k \ln \frac{T}{T_0 - T} + \frac{u}{T}$.

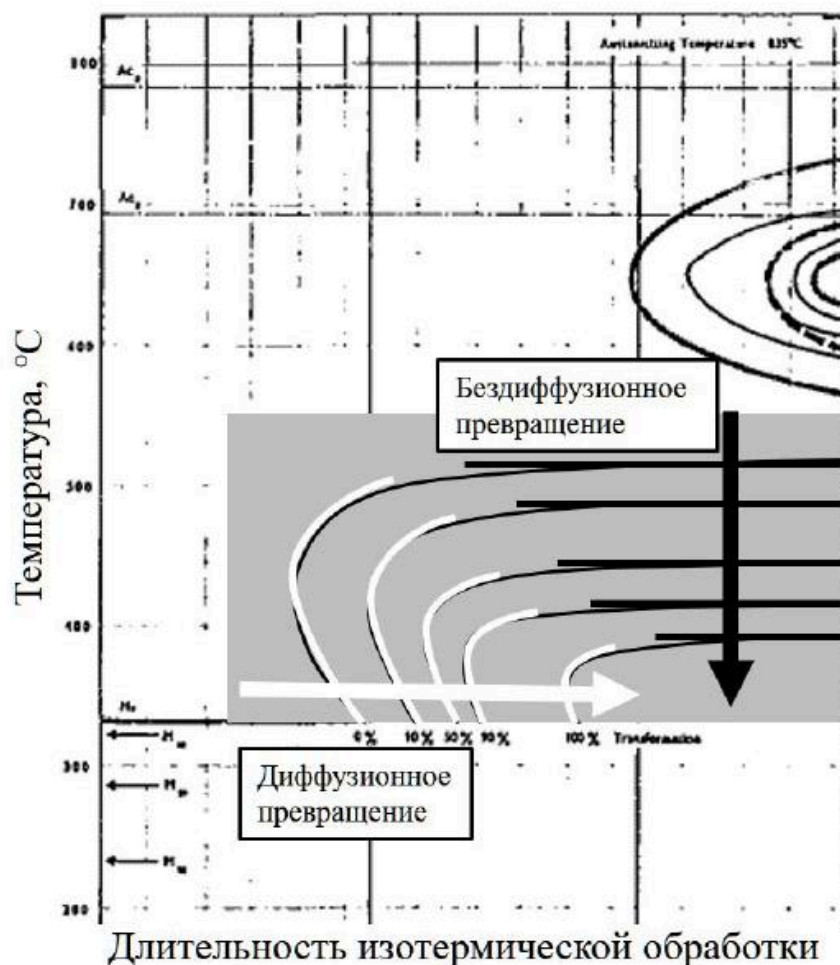


Диаграмма изотермического распада аустенита стали B.S.En25 [1]

Для построения С-образной кривой превращения необходимо знать температуру T_N и время t_N «носа» кривой, температуру начала превращения T_0 и параметр диффузионной подвижности u . Обработка диаграмм 54 марок сталей из работ [1, 5] с пределами легирования: $0,2 \% < C < 0,8 \%$; $0,5 \% < Mn < 1,4 \%$; $Si < 0,3 \%$; $Ni < 3 \%$; $Cr < 2 \%$; $Mo < 1 \%$ позволила получить следующие регрессионные модели параметров уравнения:

$$T_N = 500 + C(38C - 213Mo) - Ni(19Cr + 21Mo) - 26Cr^2; \quad R = 0,97, S = 12;$$

$$t_N = 12 + Ni(9Ni + 179C - 16Cr - 34) + 119C \cdot Si; \quad R = 0,99, S = 6;$$

$$u = 11232 + C(16929C - 37250Mo - 9263Cr) + 8692Cr \cdot Mo; \quad R = 0,86, S = 1712.$$

Заключение. Обработка массива опубликованных экспериментальных данных позволила разработать и идентифицировать комплекс математических моделей для расчетной оценки кинетики бейнитного превращения. Ре-

зультаты работы могут быть использованы для изучения кинетики более сложных процессов с одновременным протеканием нескольких различных превращений аустенитной структуры легированных сталей.

Список источников

- [1] Vander Voort G.F. Atlas of Time-Temperature Diagrams for Irons and Steels. ASM International, 1991, 766 p.
- [2] Куркин А.С. Исследование кинетики фазовых превращений легированной стали методами математического моделирования. *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*, 2019, т. 85, № 12, с. 25–32.
- [3] Austin J.B., Rickett R.L. Kinetics of the decomposition of austenite at constant temperature. Transactions of the American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, 1939, vol. 135, pp. 396–443.
- [4] Фу Ч., Куркин А.С., Приходько П.А. Регрессионные модели бездиффузионных превращений легированных сталей. *Цифровое материаловедение. II Всерос. науч.-практ. конф.: сб. ст.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2025, с. 130–133.
- [5] Atlas of Isothermal Transformation Diagrams. United States Steel Company, 1951, 143 p.