

УДК 621.771.01

Д.В.Сабреев (асп., каф. ПОМ), В.В.Ялымов (6 курс, каф. ПОМ),
Н.Г.Колбасников, д.т.н., проф.

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ ПОДХОД К ОПИСАНИЮ КИНЕТИКИ ДИФФУЗИОННЫХ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ И РАСЧЕТУ С-ОБРАЗНЫХ КРИВЫХ

Для управления свойствами металлов в процессе их изготовления необходима информация о фазовых превращениях. Кинетика фазовых превращений обычно описывается С-образными кривыми изотермического распада, для описания которых проводится большой объем экспериментальных работ. В теории диффузионных фазовых превращений их кинетика описывается при помощи уравнений Авраами, которые представляют собой экспоненциальную аппроксимацию экспериментальных данных.

В данной работе разработана новая методика для расчета кинетики фазовых превращений и построения С-образных кривых. Для ее использования необходима информация, которую используют в интегрально-вероятностной модели формирования свойств металлов, а именно:

- результаты опытов на растяжение при комнатной температуре;
- результаты опытов на релаксацию при нескольких повышенных температурах;
- справочные данные о температурном изменении модуля упругости металла $E(T)$ и о характеристиках фазовых превращений в сплаве $T_{ф.п.}, \Delta Q_{ф.п.}$;

Время изотермического превращения для произвольной температуры $T=T_i$ может быть рассчитано при помощи соотношения

$$t_i = -\lambda_i \ln \left(1 - \frac{\bar{l}_i}{2l_\infty} \right), \quad (1)$$

где λ_i – время релаксации; \bar{l} – расстояние между зародышами новой фазы, которое определяется по вероятности образования зародышей P_3 и равно

$$\bar{l} = \frac{1}{\sqrt[3]{N_3}} = \frac{1}{\sqrt[3]{P_{ф.п.} a^3}} = \frac{a}{\sqrt[3]{P_{ф.п.}}},$$

где N_3 – количество зародышей в единице объема; a – параметр кристаллической решетки;

$$P_{ф.п.} = \int_{\sigma_{гр}^*}^{\sigma_{ф.п.}^*} f_i(\sigma^*) d\sigma^*,$$

где $f(\sigma^*)$ – плотность распределения вероятности безразмерных пределов текучести, определяется по зависимости истинных напряжений от деформаций:

$$f(\sigma^*) = -\frac{(1-h) d^2 \sigma}{E d\varepsilon^2},$$

где h – параметр упрочнения; E – модуль упругости; l_∞ – длина свободного пробега новой межфазной границы, определяется движущими силами превращения, температурой и релаксационными свойствами металла:

$$l_\infty = \frac{\sigma_{дв1} a^2 \lambda_1 D_1}{kT_1},$$

где T_1 – температура, при которой было определено время релаксации λ_1 .

На рис. 1(а) представлена аппроксимация температурной зависимости времени релаксации для стали 17Г1С, использованная для построения С-образных кривых (рис. 1, б).

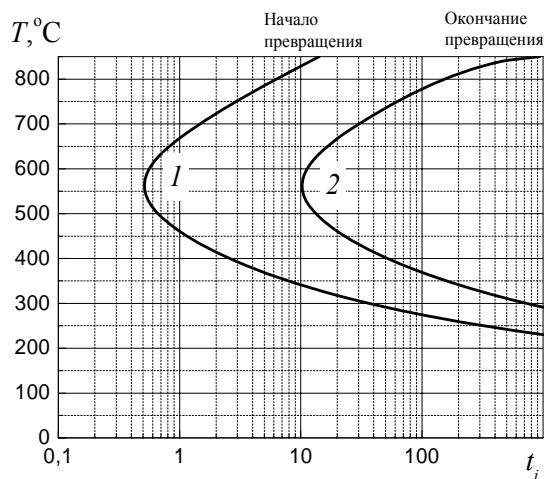


Рис. 1. Расчетные кривые изотермического распада аустенита в стали 17 Г1С (б)

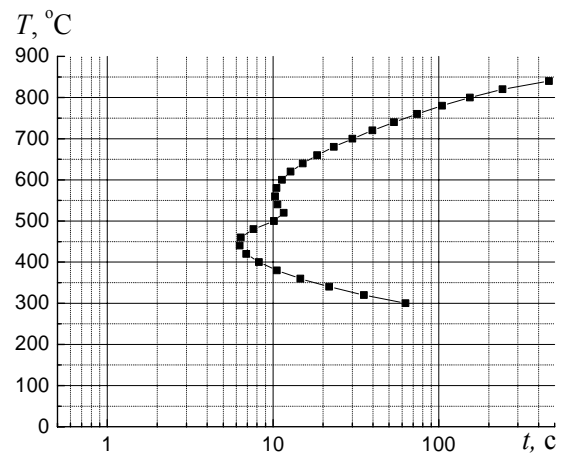


Рис. 2. Появление дополнительной выпуклости на С-образной кривой, которая может быть интерпретирована как «дополнительная»

С-образная кривая бейнитного превращения

Представленная модель (1), описывающая кинетику распада высокотемпературной фазы, позволяет выполнить анализ влияния различных факторов, таких как деформационное упрочнение и степень пластической деформации, изменение времени релаксации, появление второго семейства С-образных кривых промежуточного (бейнитного) превращения, рис. 2