

М. В. Майсурадзе*, Е. Д. Белослудцева, А. А. Куклина, Ю. В. Юдин

Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург

*m.v.maisuradze@urfu.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ БЕЙНИТНОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ В СТАЛИ 20Х2Г2СНМА ПРИ ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ВЫДЕРЖКЕ

Проведено дилатометрическое исследование кинетики изотермического бейнитного превращения в стали марки 20Х2Г2СНМА при температуре 300–400 °С. Экспериментальная кинетика бейнитного превращения с высокой степенью адекватности описана логистической функцией. Определена зависимость коэффициентов логистической функции от температуры изотермической выдержки.

Ключевые слова: сталь, дилатометрия, изотермическая выдержка, бейнит, логистическая функция.

M. V. Maisuradze, E. D. Belosludtseva, A. A. Kuklina, Yu. V. Yudin

INVESTIGATION OF THE ISOTHERMAL BAINITE TRANSFORMATION IN STEEL 20CR2MN2SINIMO

A dilatometric study of the of the isothermal bainite transformation kinetics in steel 20CR2MN2SINIMO in the temperature range 300–400 °C is carried out. The experimental kinetics of bainite transformation is described by a logistic function with a high degree of adequacy. The dependence of the coefficients of the logistic function on the temperature of isothermal holding is obtained.

Key words: steel, dilatometry, isothermal transformation, bainite, logistic function.

Стали с бейнитной структурой обладают оптимальным сочетанием высокой прочности, пластичности и ударной вязкости в основном благодаря формированию структуры нижнего бейнита, поскольку верхний бейнит обладает весьма низким комплексом свойств [1]. Сталь 20Х2Г2СНМА может применяться для изготовления различных тяжело нагруженных деталей. По устойчивости переохлажденного аустенита исследуемая сталь может сравниться с такими дорогостоящими сталями, как 18Х2Н4МА, 25Х2Н4МА [2]. Однако наличие кремния в составе затрудняет карбидообразование при бейнитном превращении и способствует формированию бейнитной струк-

туры, содержащей стабилизированный остаточный аустенит, что дополнительно повышает уровень прочности и ударной вязкости за счет ТРИП-эффекта [3].

Дилатометрическое исследование изотермического бейнитного превращения проводилось с использованием цилиндрических образцов диаметром 4,0 мм и длиной 10,0 мм на дилатометре Linseis L78 «R. I. T. A.». Температура аустенитизации исследуемой стали составляла 900 °С, время выдержки — 15 мин. Охлаждение до температуры изотермической выдержки (в интервале 300–400 °С) производилось со скоростью 30 °С/с. Продолжительность изотермической выдержки до полной приостановки превращения составляла не менее 2 ч. Микроструктура исследуемой стали изучалась при помощи оптических микроскопов MEIJI IM7200, Olympus GX51, Nikon Epiphot 200.

Количественная оценка доли бейнита в структуре исследуемой стали после изотермической выдержки при различных температурах, реализованная при помощи пакета анализа металлографических изображений SIAMS 700, показала, что максимальная доля бейнита (0,85) образовалась при температуре 340 °С. С повышением температуры изотермической выдержки до 400 °С максимально достижимая доля бейнита в структуре стали уменьшается до 0,02–0,05 (рис. 1).

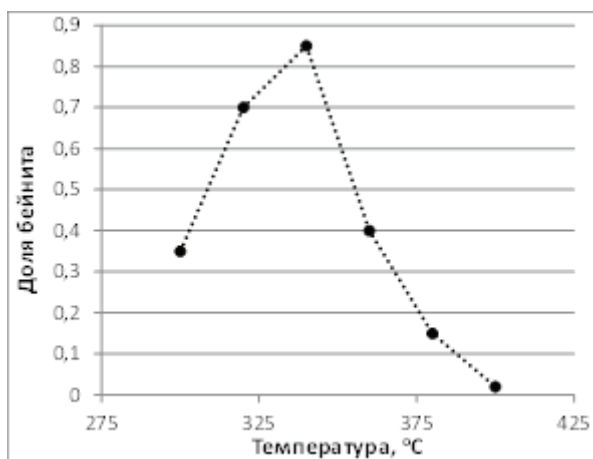


Рис. 1. Зависимость максимально достижимой доли бейнита в стали марки 20X2Г2СНМА от температуры изотермической выдержки

В результате анализа дилатометрических данных с учетом реальной доли бейнита в структуре стали (рис. 1) построена экспериментальная кинетика бейнитного превращения в стали марки 20X2Г2СНМА (рис. 2). Как видно, превращение, реализованное ниже температуры

M_n (выдержка при 300 и 320 °С), имеет более резкое начало по сравнению с превращением, протекающим при температуре выше M_n . Это обусловлено тем, что мартенсит, образовавшийся до начала изотермической выдержки, оказывает стимулирующее действие на дальнейшее бейнитное превращение.

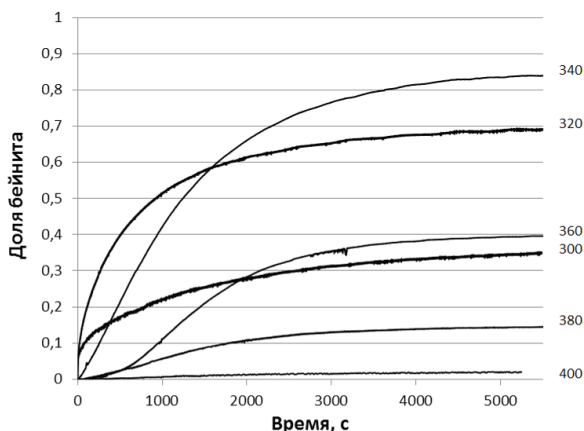


Рис. 2. Кинетика изотермического бейнитного превращения в стали марки 20X2Г2СНМА

Экспериментальная кинетика бейнитного превращения (рис. 2) была математически описана при помощи логистической функции [4]

$$P/P_p = 1 - 1 / \{1 + \exp[b + a \cdot \ln(\tau)]\}, \quad (1)$$

где P — доля превращенного аустенита; P_p — максимальная равновесная доля бейнита, достигаемая при данной температуре изотермической выдержки; a , b — коэффициенты, постоянные в течение всего времени выдержки при конкретной температуре; τ — время, с.

Для нахождения коэффициентов a и b уравнения (1) применялся метод поиска решения, реализованный в среде Microsoft Excel. Целевой функцией являлась минимизация суммы квадратов разностей между экспериментальной и расчетной долей бейнитного превращения в каждый момент времени изотермической выдержки. В результате было получено адекватное математическое описание наблюдаемой кинетики превращения для каждой исследуемой температуры выдержки (рис. 3).

Также были определены температурные зависимости коэффициентов логистической функции a и b (рис. 4). Установлено, что полученные зависимости имеют экстремум при температуре 360 °С, что, как было показано в работе [4], связано с изменением морфологии образующегося бейнита.

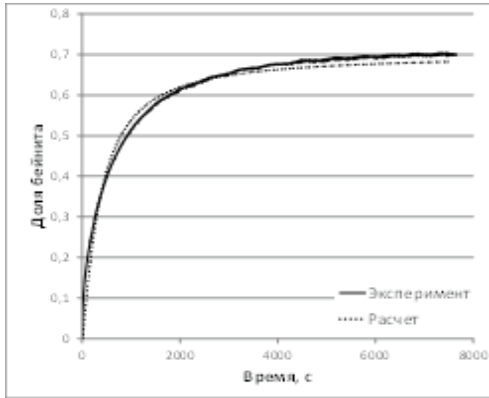
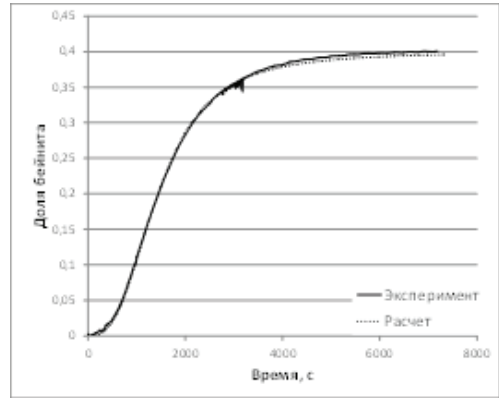
a*б*

Рис. 3. Экспериментальная и расчетная кинетика изотермического бейнитного превращения в стали 20X2Г2СНМА:

a — 320 °С; *б* — 360 °С

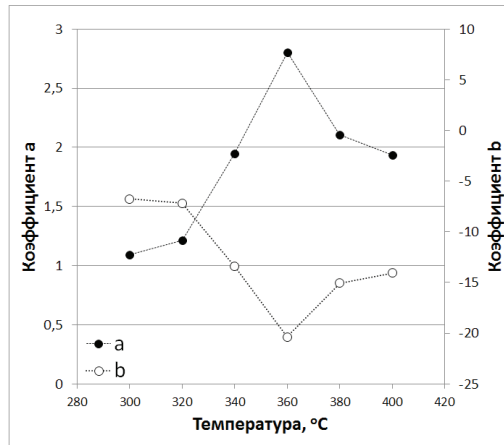


Рис. 4. Зависимость коэффициентов *a* и *b* логистической функции (1) от температуры изотермической выдержки для стали 20X2Г2СНМА

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Металловедение и термическая обработка стали : справ. / под ред. М. Л. Бернштейн, А. Г. Рахштадт. М. : Metallurgy, 1983. 255 с.
- 2 Майсурадзе М. В., Рыжков М. А., Сурнаева О. А. Превращения переохлажденного аустенита в перспективных машиностроительных сталях высокой прокаливаемости // МиТОМ. 2018. № 6. С. 3–11.
- 3 Майсурадзе М. В., Рыжков М. А. Термическая стабилизация аустенита при ступенчатой закалке сталей для автомобилестроения // Metallurg. 2018. № 4. С. 38–47.
- 4 Yudin Yu. V., Maisuradze M. V., Kuklina A. A. Describing the isothermal bainitic transformation in structural steels by a logistical function // Steel in Translation. 2017. V. 47, № 3. P. 213–218.