УДК 620.22

М. В. Майсурадзе, М. А. Рыжков, Ю. В. Юдин, А. А. Куклина, А. А. Филиппова
УрФУ им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург
spirallog@gmail.com

ТЕРМОКИНЕТИЧЕСКАЯ ДИАГРАММА ПРЕВРАЩЕНИЯ ПЕРЕОХЛАЖДЕННОГО АУСТЕНИТА СТАЛИ 25Г2С2Н2МА

АННОТАЦИЯ

На основании дилатометрических исследований и анализа микроструктуры и твердости стали 25Г2С2Н2МА после охлаждения с постоянными скоростями построена термокинетическая диаграмма превращения переохлажденного аустенита в интервале скоростей охлаждения 0,025…75,0 °С/с. Установлены условные температурные интервалы формирования верхнего и нижнего бейнита и мартенсита при непрерывном охлаждении.

Ключевые слова: сталь, переохлажденный аустенит, термокинетическая диаграмма

ABSTRACT

From coupled analysis of dilatometer, microstructure and hardness data the CCT diagram for HY-TUF steel was obtained for the cooling rates 0,025…75,0 °C/s. The temperature range of upper and lower bainite and martensite formation was determined.

Keywords: continuous cooling transformation, steel, austenite

Химический состав исследуемой стали 25Г2С2Н2МА, масс. %: C – 0,24; Mn – 1,38; Si – 1,55; Ni – 1,69; Mo – 0,4; Cr – 0,34. Исследование производилось при помощи дилатометра Linseis L78 «R.I.T.A.». Цилиндрические образцы диаметром 3…4 мм длиной 10 мм нагревались до температуры аустенитизации 925 °С, выдерживались при данной температуре в течение 15 мин., а затем охлаждались с постоянной скоростью в интервале 0,025…75,0 °С/с. После этого производилось измерение твердости образцов по методу Роквелла, а также исследовалась микроструктура и осуществлялось измерение микротвердости отдельных структурных составляющих.

Были установлены зависимости доли превращения переохлажденного аустенита в исследуемой стали от температуры для всех рассмотренных скоростей охлаждения, а также определены температурные интервалы диффузионного, бездиффузионного и промежуточного превращения аустенита. Результаты дилатометрических экспериментов были дополнены

©Майсурадзе М. В., Рыжков М. А., Юдин Ю. В., Куклина А. А., Филиппова А. А., 2015

исследованием микроструктуры стали 25Г2С2Н2МА. Установлено, что бейнит в изучаемой стали имеет различную морфологию: «верхний» бейнит имеет пластинчатое строение и формируется при скоростях охлаждения от 0,025 до 1,0 °С/с; «нижний» бейнит имеет игольчатое строение и формируется при скоростях охлаждения от 0,2 до 10,0 °С/с.

Непосредственно из дилатометрических данных установлено содержание феррито-перлитной смеси в стали 25Г2С2Н2МА – ей соответствует плато на графиках зависимости доли превращения аустенита от температуры. Долю остальных структурных составляющих (верхний бейнит, нижний бейнит, мартенсит) определить из дилатометрических экспериментов невозможно вследствие непрерывно-последовательного их образования. Однако знать температурно-временные интервалы формирования бейнита разной морфологии важно, поскольку верхний и нижний бейнит обладают различным уровнем механических свойств [1].

Проведено измерение микротвердости отдельных структурных составляющих изучаемой стали. Для удобства расчетов значения микротвердости по Виккерсу $HV_{0,5}$ были переведены в значения твердости по Роквеллу HRC [2]. Установлено, что феррито-перлитная смесь имеет твердость 25 ±2 HRC, верхний бейнит – 38 ±1 HRC, нижний бейнит – 46 ±1 HRC; мартенсит – 50 ±1 HRC. Используя допущение об аддитивном вкладе отдельных структурных составляющих в общую твердость стали [3], по формуле (1) была определена зависимость доли структурных составляющих от скорости охлаждения (рис. 1).

$$HRC_O = \Sigma HRC_i \times P_i, \quad (1)$$

где HRC_O – твердость образца; HRC_i – твердость i-той структурной составляющей; P_i – доля i-той структурной составляющей; i – структурная составляющая (феррито-перлитная смесь, верхний бейнит, нижний бейнит, мартенсит).

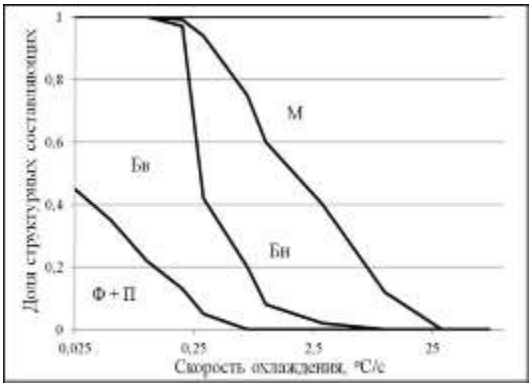

Рис. 1. Изменение доли структурных составляющих в стали 25Г2С2Н2МА при охлаждении со скоростью 0,025…30,0 °С/с

Зная долю образовавшихся структурных составляющих, и сделав допущение о непрерывно-последовательном их образовании, можно,

используя зависимость доли превращения аустенита от температуры, определить условные температурные границы формирования той или иной составляющей при непрерывном охлаждении. На рис. 2 приведен пример использования данной методики для определения температурных интервалов образования верхнего бейнита (450…355 °С), нижнего бейнита (355…320 °С) и мартенсита (320…180 °С) при охлаждении стали 25Г2С2Н2МА со скоростью 0,7 °С/с. Использование вышеописанной методики позволило построить термокинетическую диаграмму превращения переохлажденного аустенита в стали 25Г2С2Н2МА с обозначенными областями формирования отдельных структурных составляющих (рис. 3).

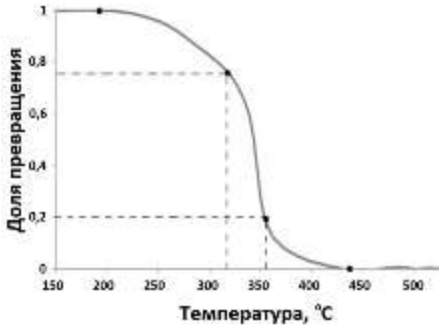

Рис. 2. Определение температурных интервалов последовательного превращения аустенита в верхний бейнит ($P_{ВБ}$ = 0,2), нижний бейнит ($P_{НБ}$ = 0,55) и мартенсит ($P_М$ = 0,25) при скорости охлаждения 0,7 °С/с

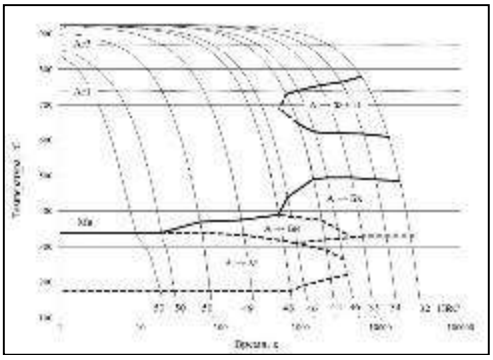

Рис. 3. Термокинетическая диаграмма превращения переохлажденного аустенита стали 25Г2С2Н2МА

ЛИТЕРАТУРА

1. Abbaszadeh K., Sagha H., Kheirandish Sh. Effect of bainite morphology on mechanical properties of the mixed bainite-martensite microstructure in D6AC steel // J. Mater. Sci. Technol., 2012. – Vol. 28. – PP. 336…342.
2. Марочник сталей и сплавов / под ред. А. С. Зубченко. – М.: Машиностроение, 2001. – 672 с.
3. Nunura C. R. N., dos Santos C. A., Spim J. A. Numerical – Experimental correlation of microstructures, cooling rates and mechanical properties of AISI

1045 steel during the Jominy end-quench test // Materials & Design. – 2015. – Vol. 76. – PP. 230–244.