

УДК 669.02/09:669.14.018.29.001.57

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ A_{C1} , A_{C3} И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ МЕТОДОМ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Д.Н. Тогобицкая, д.т.н., проф., О.И. Бабаченко, д.т.н., с.н.с.,

А.А. Кононенко, к.т.н., с.н.с., О.В. Кукса, к.т.н., н.с., И.Р. Снигура, м.н.с.

Институт черной металлургии НАНУ им. З.И. Некрасова, Украина, г. Днепр

Abstract. Presented the approach to predicting the temperatures of the critical points of the phase transformations (A_{C1} and A_{C3}) and the mechanical properties of low-carbon structural steels. It is based on the concept of directional chemical bonding in the description of the interatomic interaction of the melts of the considered steels and taking into account the heat treatment parameters. The obtained semi-empirical models recommended for use in the operational calculation and integration into industrial control systems.

Ключевые слова: КОНСТРУКЦИОННЫЕ СТАЛИ, МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛЕЙ, КРИТИЧЕСКИЕ ТОЧКИ ФАЗОВОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ, ПАРАМЕТРЫ МЕЖАТОМНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ.

Введение. В настоящей работе приведен сравнительный анализ моделей, разработанных по методике ИЧМ [1], с наиболее известными моделями расчета A_{C1} и A_{C3} . Исследование проводилось на данных низкоуглеродистых конструкционных низко- и сложнелегированных сталей. Анализ и разработка моделей базировались на использовании параметров межатомного взаимодействия в их расплавах, рассчитанных по методике ИЧМ, разработанной проф. Э.В. Приходько (модель направленной химической связи – МНХС). В частности: среднее межъядерное расстояние – d (10^{-1} нм); градиент изменения радиуса иона при изменении его заряда – $tg\alpha$; физико-химический эквивалент зарядового состояния – Z^Y (e) и его микронеоднородности – ΔZ^Y (e), а также параметр направленной зарядовой плотности – ρ_l .

Основная часть. После сопоставительного анализа данных получены модели (1, 2), позволяющие прогнозировать величину критических точек A_{C1} и

A_{c3} как для конструкционных низколегированных сталей, так и для сложнелегированных сталей ($r \geq 0,8$):

$$A_{c1} = 5586,3 - 62464,7\text{tg}\alpha - 196,28\Delta Z^Y + 186,54\rho_l \quad (1)$$

$$A_{c3} = 8635,8 - 87966,2\text{tg}\alpha - 525,92\Delta Z^Y \quad (2)$$

Для объединенного массива мало- и сложнелегированных низкоуглеродистых конструкционных сталей наименьшей погрешностью (%) при расчете величины A_{c1} обладает модель (1): 1,8. По моделям Винокура, Trzaska, Hougardy для A_{c1} погрешность соответственно составила: 2,10; 2,47; 1,91. При аналогичной оценке для расчета величины A_{c3} по моделям (2), Винокура, Trzaska, Hougardy погрешность соответственно составила: 2,04; 2,33; 2,44; 2,27. Модели других авторов для сопоставительного анализа приведены в статье [2].

Для прогнозирования механических свойств конструкционных сталей создана репрезентативная выборка промышленных данных с широким варьированием состава и свойств ($N > 500$). Промышленные данные производства конструкционных сталей по химическому составу, особенностям технологии и параметров термообработки разделены на две группы, для которых разработаны физико-химические модели механических свойств низкоуглеродистых конструкционных сталей, учитывающие межатомное взаимодействие в их расплавах. Наиболее значимыми параметрами при расчете σ_B , $\sigma_{0,2}$ и δ_5 являются интегральные параметры межатомного взаимодействия d и Z^Y (полный химсостав), d_m и $\text{tg}\alpha_m$ (матричная подсистема $m - C, Si, Mn$), Z^Y_{ml} , d_{ml} , ρ_{ml} (микролегирующая подсистема $ml - Cr, Mo, V, Ni, Ti, Nb$), а также скорость охлаждения V_o ($^{\circ}C/\text{сек}$).

Учитывая существенные технологические различия и особенности, для двух выборок конструкционных сталей (1я группа: Ст3сп, ВСт3сп, ВМСт3сп, 2я группа: 09Г2ФБ, 10ХСНД, 15ХСНД, 14Г2САФ, 14Г2АФ, 16Г2АФ) получены следующие зависимости:

1я группа (низколегированные конструкционные стали):

$$\sigma_B, \text{МПа} = -2469,6 + 6028,3Z^Y - 827,53d_m - 25288\text{tg}\alpha_m + 0,37V_o \quad (r = 0,80) \quad (3)$$

$$\sigma_{0,2}, \text{МПа} = -3507,9 + 4756,4Z^Y - 370,9d_m - 10372\text{tg}\alpha_m + 0,4277V_o \quad (r = 0,80) \quad (4)$$

$$\delta_5, \% = 9456 - 2640,1Z^Y - 2042,3d - 6208,7\text{tg}\alpha_m - 0,0248V_o \quad (r = 0,65) \quad (5)$$

2я группа (легированные конструкционные стали):

$$\sigma_B, \text{ МПа} = -5677,6 + 1324,7d_m + 43291\text{tg}\alpha_m - 221,87d_{ml} + 3,2633V_o \quad (r = 0,87) \quad (6)$$

$$\sigma_{0,2}, \text{ МПа} = -6921,3 + 1500,4d_m + 50147\text{tg}\alpha_m - 188,2d_{ml} + 3,075V_o \quad (r = 0,88) \quad (7)$$

$$\delta_5, \% = 263,13 - 33,847d_m - 1584,3\text{tg}\alpha_m - 5,7d_{ml} - 0,0878V_o \quad (r = 0,70) \quad (8)$$

Для получения высоких прочностных свойств оптимум скорости охлаждения для исследованных конструкционных сталей находится на уровне 8 – 20 °С/сек. С учетом данного обстоятельства из 2й группы сталей выделена выборка ($V_o < 20$ °С/сек), для которой формирование прочностных свойств данных сталей имеет сходный нелинейный характер, что позволило увеличить точность и обеспечить стабильность прогнозных моделей:

$$\sigma_B, \text{ МПа} = 861,2 - 208,94*Z^Y + 313,94*d_m - 186,62*\rho_{l_{ml}} + 3,07*V_o \quad (r = 0,89) \quad (9)$$

$$\sigma_{0,2}, \text{ МПа} = 1477,3 - 1152,3*Z^Y + 335,18*d_m - 94,68*\rho_{l_{ml}} + 2,98*V_o \quad (r = 0,89) \quad (10)$$

$$\delta_5, \% = -133,18 + 102,56*Z^Y + 1,207*d_m + 8,237*\rho_{l_{ml}} - 0,084*V_o \quad (r = 0,73) \quad (11)$$

Полученные модели для температур фазовых превращений и механических свойств низкоуглеродистых конструкционных сталей рекомендуются для оценки влияния различных легирующих и микролегирующих добавок на указанные параметры при модификации сталей, а также при их оперативной оценке в системах АСНИ и АСУ ТП.

Литература

1. Приходько Э. В. Эффективность комплексного легирования стали и сплавов / Э. В. Приходько. Киев: Наукова думка.-1995.-292 с.
2. Д.Н. Тогобицкая, О.В. Кукса, А.В. Пучиков, А.Н. Хулин, Л.А. Головкин Влияние химического состава малоуглеродистых конструкционных сталей на критические точки фазовых превращений A_{c1} , A_{c3} на основе параметров межатомного взаимодействия // Региональный межвузовский сборник научных трудов "Системные технологии", №2 (115), 2018, с. 14 – 19.

References

1. Prikhodko E.V. Efficiency of complex alloying of steel and alloys / E.V. Prikhodko. Kiev: Scientific Thought.-1995.-292 p.
2. D.N. Togobitskaya, O.V. Kuksa, A.V. Puchikov, A.N. Chulin, L.A. Golovko The influence of the chemical composition of low-carbon structural steels on the critical points of the phase transitions A_{c1} , A_{c3} based on the parameters of interatomic interaction // Regional interuniversity collection of scientific papers "System Technologies", No. 2 (115), 2018, p. 14-19.