

УДК 620.14.018.44

В.А. Скуднов, Н.В. Редькина

Нижегородский государственный технический университет

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЗЕРНА ПРИ ПЕРВИЧНОЙ ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ (ЗАКАЛКЕ) ДЛЯ СПЛАВОВ АУСТЕНИТНОГО КЛАССА

Аннотация. В работе выведено общее феноменологическое уравнение связи числа центров образования новых зерен в зависимости от основных физических и технологических факторов материала.

Ключевые слова: качество, новые зерна, однородная мелкозернистая структура, физические и технологические факторы.

REGULARITIES OF GRAIN REFINEMENT DURING THE INITIAL THERMAL CYCLING TREATMENT (HARDENING) FOR AUSTENITIC CLASS OF ALLOYS

Abstract. In work the general is deduced phenomenologic equation of communication of number of the centres of formation of new grains depending on the cores physical and material technology factors.

Keywords: the quality, the new grains, homogeneous fine-grained structure, physical and technology factors.

Современное приборостроение и машиностроение диктуют жесткие условия к качеству выпускаемой продукции, однако существующая технология термической обработки не позволяет получать продукцию высокого качества. Весьма перспективной в этом плане является термоциклическая обработка (ТЦО), главное преимущество которой заключается в возможности получения мелкой однородной структуры [1], приводящей к улучшению качества изделий за счет повышения механических свойств путем повышения прочности и пластичности. Термоциклическая обработка сплавов аустенитного класса происходит без фазовых превращений, в которых накапливается высокий уровень скрытой энергии наклепа за счет термонаклепа. Процесс образования новых зерен состоит из двух стадий – зарождения новых центров зерен и их роста.

Цель работы – получить теоретическое уравнение, связывающее число центров образования зародышей новых зерен с теплофизическими параметрами процесса: температурой нагрева, скоростью нагрева, уровнем скрытой энергии термонаклепа и др.

Представим, что число новых зерен ΔN в первом цикле при нагреве складывается из возможного увеличения их числа ΔN_1 и уменьшения их числа ΔN_2 за счет самоорганизации их структуры:

$$\Delta N_{\text{общ. число центров рекр}} = \Delta N_1 + \Delta N_2, \quad (1)$$

где ΔN_1 – появление числа центров зарождения вследствие нагрева; ΔN_2 – уменьшение их числа вследствие снижения температуры.

$$\Delta N_1 = \alpha N \Delta t = \alpha N \Delta T / V_{\text{нагр}}, \quad (2)$$

где N – текущее число зародышей центров новых зерен; α – коэффициент пропорциональности, зависящий от сущности процесса, определяемого исходным состоянием структуры, скоростью диффузии и зависящей от градиентов концентрации напряжений и градиента температур; ΔT – перепад температур при нагреве; $\Delta t = \Delta T / V_{\text{нагр}}$ – время, в течение которого происходит зарождение новых зерен, так как $V_{\text{нагр}} = \Delta T / \Delta t$ – скорость процесса нагрева.

Величина ΔN_2 в уравнении (1), определяющая уменьшение числа центров зарождения новых зерен вследствие снижения температуры за счет поглощения энергии, затрачиваемой на процесс рекристаллизации, может быть представлена в виде:

$$\Delta N_2 = -\beta N \Delta T, \quad (3)$$

где β – коэффициент пропорциональности, зависящий от сущности процесса поглощения энергии при образовании новых зерен.

При подстановки уравнений (2) и (3) в уравнение (1) получим:

$$\Delta N_{\text{кр}} = \alpha N \Delta T / V_{\text{нагр}} - \beta N \Delta T. \quad (4)$$

При переходе к бесконечно малым величинам при замене ΔT на dT , ΔN на dN , Δt на dt и преобразований из уравнения (4) получим

$$dN/n = (\alpha / V_{\text{нагр}} - \beta) dT. \quad (5)$$

Проинтегрировав уравнение (5) в пределах от N_0 до $N = N_{\text{кр}}$ и от T_x до $T_{\text{рекр}}$ при условии постоянства величин α , β и $V_{\text{нагр}}$ получим

$$\ln(N/N_0) = (\alpha/V_{\text{нагр}} - \beta)(T_{\text{кр}} - T_0). \quad (6)$$

Поскольку ТЦО предполагает проведение нескольких циклов для измельчения зерна, то правую часть необходимо умножить на число циклов z , которое приводит к последовательному измельчению зерна (до некоторого предела). Поэтому уравнение (6) запишется в следующем виде:

$$\ln(N_{\text{кр}}/N_0) = (\alpha/V_{\text{нагр}} - \beta)(T_{\text{кр}} - T_0)z. \quad (7)$$

Из уравнения (7) получим уравнения связи числа центров зарождения новых зерен, приводящих к получению однородной мелкозернистой структуры в зависимости от скорости нагрева и числа циклов:

$$N_{\text{кр}} = N_0 \exp(\alpha/V_{\text{нагр}} - \beta)(T_{\text{кр}} - T_0)z. \quad (8)$$

Уравнение (8) показывает, что число центров зарождения зерен, приводящих к получению мелкого зерна возрастает:

- с увеличением $\Delta T = T_{\text{кр}} - T_0$;
- с возрастанием скорости нагрева;
- с уменьшением коэффициента α , физический смысл которого определяется уровнем энергии активации процесса зарождения зерен, величиной концентрации напряжений на границе новых и старых зерен и факторов, влияющих на них: пористости, степени разориентировки зерен, количеством примесей и др.;

- с уменьшением коэффициента β , зависящего обратно пропорционально от степени термонаклепа, состояния границ и других факторов;

- от числа циклов ТЦО (до некоторого предела, определяемого экспериментально для каждого сплава).

На основании уравнения (8) на рис. 1 показан график изменения числа центров зарождения зерен в первом цикле ТЦО от перечисленных факторов.

На рис. 2 представлена микроструктура аустенитного сплава 44НХТЮ до и после ТЦО с предельным количеством циклов, при котором происходит измельчение зерна.

Выводы. Получено общее феноменологическое уравнение связи числа центров образования новых зерен, определяющих однородность структуры и повышенные механические свойства в зависимости от основных физических и технологических факторов материала, удобное для моделирования технологического процесса ТЦО и получения оптимальных структур.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федюкин В.К., Смагоринский М.Е. Термоциклическая обработка металлов и деталей машин. – Л.: Машиностроение, 1989. – 255 с.

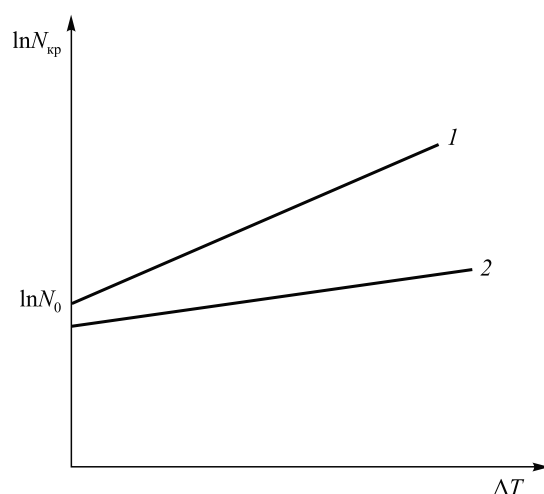


Рис. 1. График изменения числа центров зарождения новых зерен в зависимости от степени переохлаждения:
1 – α_2, β_1, V_2 ; 2 – α_1, β_2, V_1 при $V_2 > V_1$

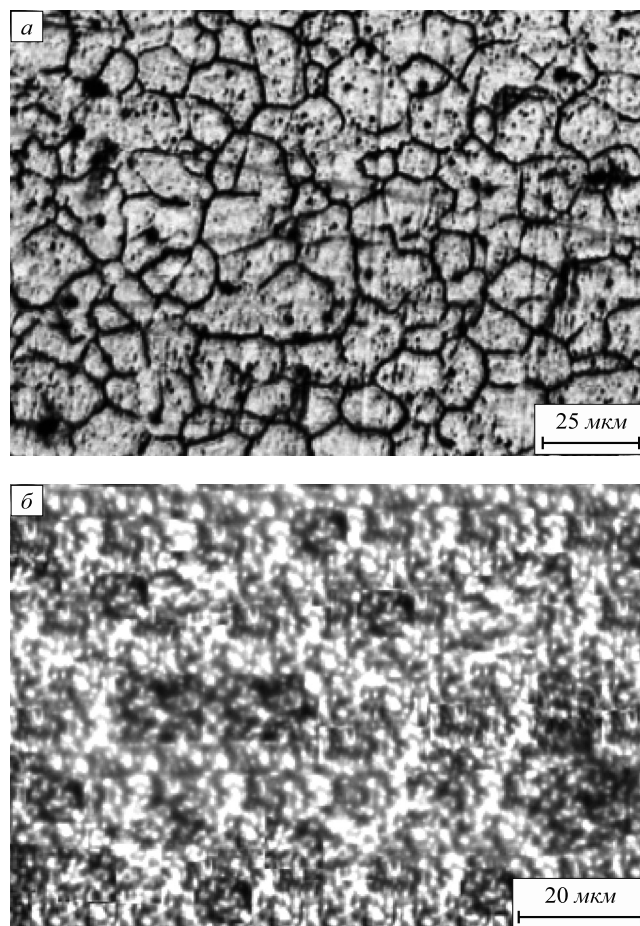


Рис. 2. Микроструктура сплава 44НХТЮ:
а – исходная микроструктура; б – термоциклическая закалка $910 \pm 10^\circ\text{C} \leftrightarrow 20^\circ\text{C}$, 3 цикла (охлаждающая среда – вода)

2. Скуднов В.А. Синергетика явлений и процессов в материаловедении, упрочняющих технологиях и разрушении: Учеб. пособие. – Нижний Новгород: НГТУ, 2011. – 198 с.