

Ўзбекистон

# **K**ompozitsion **M**ateriallar

Ilmiy-texnikaviy va amaliy jurnali



Ўзбекский научно-технический и производственный журнал  
**Композиционные материалы**

УДК 621.771

## РАСЧЁТ СКОРОСТИ РОСТА И РАЗМЕРА РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИОННОГО ЗЕРНА ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ ФЕРРИТА

Ш.Ш. Ахмадалиев, Н.М. Ризаева

Существующие модели рекристаллизации не позволяют предсказывать кинетику рекристаллизации и параметры конечной микроструктуры в зависимости от химического состава стали, ее исходной структуры, степени деформации и режима отжига. Современное состояние физической теории структурных превращений при отжиге позволяет разработать модель, пригодную для количественного описания кинетики формирования ре-кристаллизованной структуры. В то же время, ряд структурных и кинетических параметров остается неизвестными (например, энергии и подвижности субзеренных границ), что предопределяет наличие свободных параметров модели, значения которых должны быть получены на базе экспериментальных исследований.[1]

В рассматриваемой модели расчет скорости роста субзерен и зерен выполняется на основании выражения:

$$v(t) = MG(t), \quad (1)$$

где  $v(t)$  – скорость роста,  $M$  – подвижность субграниц / границ,  $G(t)$  –

движущее давление. Соответственно, радиус субзерна в момент времени  $t$  равен:

$$r(t) = r_0 + \int_0^t M_{GB}^{sg} G(t) dt, \quad (2)$$

где  $r_0$  – начальный размер субзерна, который будем рассчитывать следующим образом:

$$r_0 = \frac{k_{sg}}{\Delta\sigma_{XII}}, \quad (3)$$

где  $\Delta\sigma_{XII}$  – деформационное упрочнение при холодной прокатке;  $k_{sg}$  – подгоночный параметр модели.

Размер зерна, зародившегося в момент времени  $\tau$ , к моменту  $t$ , равен:

$$R(t) = R_0 + \int_{\tau}^t M_{GB}^g G(t) dt, \quad (4)$$

где  $R_0$  – начальный размер зерна, равный соответствующему критическому размеру субзерна (см. уравнение (4)).

Для вычисления подвижности границ ре-кристаллизованных зерен,  $M_{GB}^g$  будем использовать формулу:

$$M_{GB}^g(T; Y_{AE}) = M_0^g \exp\left(\frac{S_{GG}(Y_{AE})}{R}\right) \exp\left(-\frac{Q_{GG}(Y_{AE})}{RT}\right). \quad (5)$$

где  $Q_{GG}(Y_{AE})$  и  $S_{GG}(Y_{AE})$  – соответственно, энергия и энтропия активации процесса диффузионной перестройки структуры, контролирующего движение границ ре-кристаллизованных зерен;

$Y_{AE} = \{y_C^*; y_{Mn}; y_{Si}; y_{Ni}; y_{Cr}; y_{Mo}; y_{Nb}; y_{Ti}; y_V\}$  – совокупность средних концентраций

$Y_X$  легирующих элементов в твердом растворе (эти концентрации представляют собой доли узлов подрешеток замещения и внедрения, занятых, соответственно, атомами легирующих элементов замещения (ЛЭЗ) и углерода; отметим, что концентрация  $y_C^*$  отличается от среднемассовой концентрации углерода в стали (см. ниже);  $M_0^g$  –

постоянный параметр;  $R$  и  $T$  – имеют обычное значение. Следуя подходу, использованному в работе [2], энтропию активации процесса роста зерна будем рассчитывать как:

$S_{GG}(Y_{AE}) = \beta_{GG} Q_{GG}(Y_{AE})$ , где  $\beta_{GG}$  – эмпирический параметр модели.

Эффективную энергию активации процесса,  $Q_{GG}(Y_{AE})$ , будем считать пропорциональной энергии активации самодиффузии (ЭАСД):

$Q_{GG}(Y_{AE}) = \alpha_{GG} Q_{SD}(Y_{AE})$ , где

$Q_{SD}(Y_{AE})$  – ЭАСД;  $\alpha_{GG}$  – эмпирический параметр. ЭАСД рассчитывали в зависимости от химического состава его твердого раствора по следующей формуле [3]:

$$Q_{SD}(Y_{AE}) = 311691 - 278242(1 - \exp(-0.394y_C^*)) + 88752y_{Mn}^{*0.31} + 22801y_{Si}^* - 6490y_{Cr}^* + 84864y_{Mo}^{*0.65} - 38575y_{Ni}^{*0.3} - 7298y_V^* + 132594y_{Nb}^{*0.263} + 82128y_{Ti}^{*0.401} (\ddot{A}\alpha / \dot{i} \dot{i} \ddot{u})$$

При расчете подвижности границ субзерен будем использовать следующее выражение:

$$M_{GB}^{sg}(T; Y_{AE}) = \alpha_M^{sg} M_{GB}^g(T; Y_{AE}). \quad (6)$$

где  $\alpha_M^{sg}$  – параметр модели.

Расчет размера ре-кристаллизованного зерна. Важным параметром ре-кристаллизованной структуры является конечный размер зерна,  $D_{RX}$ . Конечный размер ре-кристаллизованного зерна феррита не зависит от температуры отжига в интервале температур 600–750 °С (от кинетики процесса), а определяется только его исходной структурой и степенью деформации. Анализ экспериментальных данных подтверждает данное утверждение [4]. Исходя из этого для размера ре-кристаллизованного зерна можно записать:

$$D_{RX} = N_{rex}^{1/3}, \quad (7)$$

где  $N_{rex}$  – объемная плотность ре-кристаллизованных зерен:

$$N_{rex} = \frac{k_{rex} S_{GB}(D_{\alpha}^0, \varepsilon)}{\pi r_c^2}, \quad (8)$$

где  $k_{rex}$  – геометрический фактор;  $r_c$  – критический размер ре-кристаллизованного зерна, зависящий от движущего давления рекристаллизации в начальный момент времени. Соответственно, для размера ре-кристаллизованного зерна получим [5]:

$$D_{RX} = \left[ \frac{k_{rex} S_{GB}(D_{\alpha}^0, \varepsilon)}{\pi \left( \frac{2\gamma}{G(t=0)} \right)^2} \right]^{1/3}. \quad (9)$$

**Заключение.** Разработана физически обоснованная модель, позволяющая описывать кинетику рекристаллизации холодно – деформированного феррита, а также предсказывать конечный размер ре-кристаллизованного зерна, в которой эффективная энергия активации процесса рассчитывается в зависимости от химического состава стали с использованием ее связи с энергией активацией само-диффузии. Модель позволяет с хорошей точностью описывать кинетику рекристаллизации.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Металловедение. Сталь (составители: В. Енихе и др.), том 1. М.: Металлургия, 1995.
2. Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтев. Материаловедения. 1990.
3. А.П. Грудев Теория прокатки. Металлургия -1998.
4. Махмудов Э.Х. Промышленность Узбекистана. – Т.: «Иктисодиёт», 2013. – С. 26-30.
5. ПП-2874 О мерах по реализации инвестиционного проекта «Строительство Ташкентского металлургического завода» 07.04.2017 г.
6. Металловедение. Сталь (составители: В. Енихе и др.), том 1. М.: Металлургия, 1995. 447 с.

**Калит сўзлар:** ўзини диффузиялаш, тузилиш, рекристалланиш, микротузилиш, доналар, лахза, феррит.

Мақолада хозирда мавжуд бўлган қайта кристалланиш моделлари ва якуний микроструктура параметрлари бизга қайта кристалланиш кинетикасини олдиндан кўрсата бера олмаслиги ҳақида гапириб ўтилган. Мақолада қайта кристалланиш доначаси ўлчагининг ҳисоб ишлари келтирилган.

**Ключевые слова:** само-диффузия, структура, рекристаллизация, микроструктура, зерно, момент, феррит.

В статье говорится о том, что существующие модели рекристаллизации и параметры конечной микроструктуры не позволяют предсказывать кинетику рекристаллизации. Также приведены расчёты размера рекристаллизационного зерна.

**Key words:** Self-difusion, structure, recrystallization, microstructure, grains, moment, ferrite.

The article says that the existing models of recrystallization and the parameters of the final microstructure do not allow predicting the kinetics of recrystallization. Calculations of the recrystallization grain size are also given.

**Ахмадалиев Шохрух Шухратович** - старший преподаватель кафедры «Обработка металлов давлением», Ташкентский Государственный Технический университет

**Ризаева Нигора Мирвохид қизи** - ассистент кафедры “Обработка металла давлением”, Ташкентский Государственный Технический Университет

## 5. Методы исследования, приборов и оборудования композиционных материалов

Н.Д. Тураходжаев, С.Т. Маткаримов. Мис ишлаб чиқариш шлакларини руднотермик тиклаш усулининг термодинамикаси.....	198
Ф.Т. Худойбердиев, Д.Р. Махмудов, К.С. Каландаров, З.Р. Буриева, И.В. Пушкарева. Кинетическая модель набухания гидрогеля при изготовлении патронированной забойки для буровзрывных работ при проведении горных выработок.....	201
М. Каршиев, А.А. Саттаров, Э.Н. Юсупходжаева, И.Х. Аюбова. Расчет закономерности пластического деформирования пористой пластины из бронзы марки БрОФ-10-1 при чистом изгибе по цилиндрической поверхности.....	207
Ш.Ш. Ахмадалиев, Н.М. Ризаева. Расчёт скорости роста и размера рекристаллизационного зерна при моделировании рекристаллизации феррита.....	210
A.Kh. Alikulov, F.R. Norkhudjaev, Z.F. Chulliev. Requirements for alloy electrodes and contact machines.....	212
И.Н. Нугманов, Х.Х. Бобоев, З.С. Тураева. Методы получения ультрамелкозернистой микроструктуры в промышленных сплавах.....	214
О.Ш. Сабирова, Т.У. Улмасов, С.С. Негматов, Е.С. Раджабов. Методы расчета внутренних напряжений в полимерных и лакокрасочных покрытиях.....	217
Ю.А. Гелдиев, Х.Х. Тўрайев, И.А. Умбаров, А.Т. Джалилов. Полисиликат кислотанинг моноэтанолламин билан модификацияланиш тезлигига турли омилларнинг таъсирини ўрганиш.....	220
A.B. Kasimova, N.A. Isaxodjayeva, D.R. Sattorova. Sport kiyimlari uchun mo'ljallangan kompozitsion materiallarning sifat ko'rsatkichlarini baholash.....	223

## 6. Вести из лаборатории

Ш.Н. Жалилов, К.С. Негматова, Д.Н. Ходжаева, Н.С. Абед, Д.К. Холмуродова, М.Б. Бойдадаев, А.М. Мадрахимов. Изучение и анализ существующих полимерных связующих, применяемых в производстве древесно-стружечных и древесно-пластиковых плитных материалов, и их недостатки.....	226
Ё.С. Раджабов, М.Б. Мухитдинов, Р.Х. Пирматов, Т.У. Улмасов, Т.О. Камолов, Ш.А. Аликобилов, Р.Х. Солиев. Современное состояние производства железобетонных конструкция и пути повышения его эффективности путем применения антиадгезионных смазочных и полимерных материалов рабочей поверхности формирующих оснасти....	229
Ш.Н. Жалилов. Состояние получения и исследования структуры мочевиноформальдегидной смолы.....	232
И.С. Умаралиев, С.Р. Худояров, Ш.А. Мухаметджанова, О.М. Ёкубов, А.А. Абдухаликов, Ж.Ш. Эргашев. Современное состояние техногенные отходы металлургической отрасли Узбекистана.....	235
Ё.С. Раджабов. Состояние железобетонных формирующих оснасток в производстве строительных конструкций и пути повышения их эффективности.....	237
А.Н. Шодиев, А.А. Саидахмедов. О возможности извлечения ценных компонентов из отходов и сбросных растворов молибденового производства.....	238
S.A. Muxtarova. Maxsus qurilmalar uchun ilg'or optik faol materiallar.....	241
Ф.У. Ташалиев, А.С. Хасанов, К.Т. Жумабоев. Электрохлоринация медного клинкера как способ его переработки..	244
Юбилей. Шарипов Хасан Турабович (к 75-летию со дня рождения и 50-летию научной и научно-педагогической деятельности).....	247