

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Национальный исследовательский Томский государственный университет
Томский государственный архитектурно-строительный университет
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
Томский национальный исследовательский медицинский центр РАН

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК

Сборник научных трудов
XIV Международной конференции студентов, аспирантов
и молодых ученых

Том 1. Физика

РОССИЯ, ТОМСК, 25 – 28 апреля 2017 г.

PROSPECTS OF FUNDAMENTAL SCIENCES DEVELOPMENT

XIV International Conference of students, graduate students
and young scientists

Volume 1. Physics

RUSSIA, TOMSK, April 25 – 28, 2017

Томск 2017

**ОСОБЕННОСТИ РЕЛАКСАЦИИ ЗЕРЕННОЙ И ДЕФЕКТНОЙ СТРУКТУРЫ
НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО СПЛАВА V-Cr-ZrO₂**

В.Л. Радишевский¹, И.В. Смирнов^{1,2}, К.В. Гриняев^{1,2}

Научный руководитель: доцент, д.ф.-м.н. И.А. Дитенберг

¹ Национальный исследовательский Томский государственный университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050

² Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

Россия, г. Томск, пр. Академический, 2/4, 634055

E-mail: rvl@myttk.ru

**FEATURES RELAXATION GRAIN AND DEFECT STRUCTURE OF NANOSTRUCTURED ALLOY
V-Cr-ZrO₂ ALLOY**

V.L. Radishevskiy¹, I.V. Smirnov^{1,2}, K.V. Grinyayev^{1,2}

Scientific Supervisor: docent, Dr. I.A. Ditenberg

¹ National Research Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenina pr., 36, 634050

² Institute of Strength Physics and Materials Science SB RAS, Russia, Tomsk, Akademicheskii pr., 2/4, 634055

E-mail: rvl@myttk.ru

Abstract. *The study of parameters of the defect structure near the recrystallization temperature of the dispersion-strengthened alloy V–Cr–ZrO₂ after deformation by torsion under pressure is presented.*

Введение. Формируемые в металлических материалах методами больших пластических деформаций (БПД) субмикроструктурные и наноструктурные состояния характеризуются высокой плотностью дефектов кристаллического строения, оказывающих влияние на комплекс физико-механических свойств [1]. Изучение стабильности указанных структурных состояний в условиях деформационного и/или термического воздействия по-прежнему остается актуальной задачей.

Целью настоящей работы является исследование особенностей зеренной и дефектной структуры наноструктурированного дисперсно-упрочненного ванадиевого сплава после отжигов вблизи температуры рекристаллизации.

Материалы и методы исследования. Исследование проведено на дисперсно-упрочненном сплаве V–8,75%Cr–1,17%Zr–0,14%W–0,01%C–0,02%O–0,01%N (вес. %) после БПД кручением на наковальнях Бриджмена (N = 1, P = 7 ГПа). После деформации выполнены часовые отжиги в вакуумной печи типа СШВЛ при температурах 700 и 800 °С. Структурные исследования осуществлены с использованием просвечивающей электронной микроскопии на приборе Philips CM30 (300 кВ). Тонкие фольги подготовлены по методике [2] в сечениях, нормальных плоскости наковален (ПН). Аттестация дефектной структуры проведена с использованием методики темнопольного анализа дискретных и непрерывных разориентировок [3].

Результаты. Структурная аттестация изучаемого сплава после деформации кручением под давлением подробно проведена в работе [2]. На рисунке 1 а представлено светлопольное изображение микроструктуры. Показано, что субмикроструктурное состояние характеризуется сильной анизотропией зеренной структуры: размеры зерен в направлениях параллельных ПН находятся в

интервале 70–700 нм, в то время как в направлении оси кручения (ОК) их размеры достигают 50–200 нм.

Проведенный в настоящей работе отжиг при $T = 700\text{ }^{\circ}\text{C}$ не оказал какого-либо влияния на зеренную и дефектную структуру изучаемого материала, при этом сохраняется аналогичное представленному на рисунке 1 а анизотропное субмикроструктурное состояние. В тоже время после повышения температуры отжига до $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 1 б) на фоне анизотропной микроструктуры появляются почти равноосные зерна размерами от 50 до 500 нм.

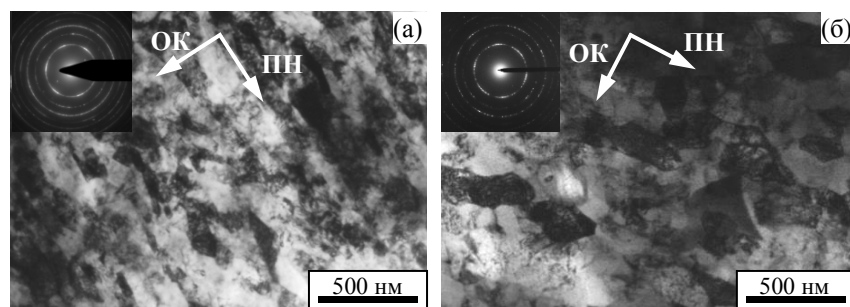


Рис. 1. Микроструктура сплава $V\text{-Cr-ZrO}_2$ после большой пластической деформации кручением на наковальнях Бриджмена (а) [2] и отжига при $T = 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ (б).

На рисунке 2 представлены гистограммы распределения зерен по размерам изучаемого сплава после деформации (рис. 2 а, б) и последующего отжига при $T = 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 2 в, г). Как видно (рис. 2), после отжига при $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ размеры зерен и характер их распределения в направлениях параллельных и перпендикулярных ПН сопоставимы.

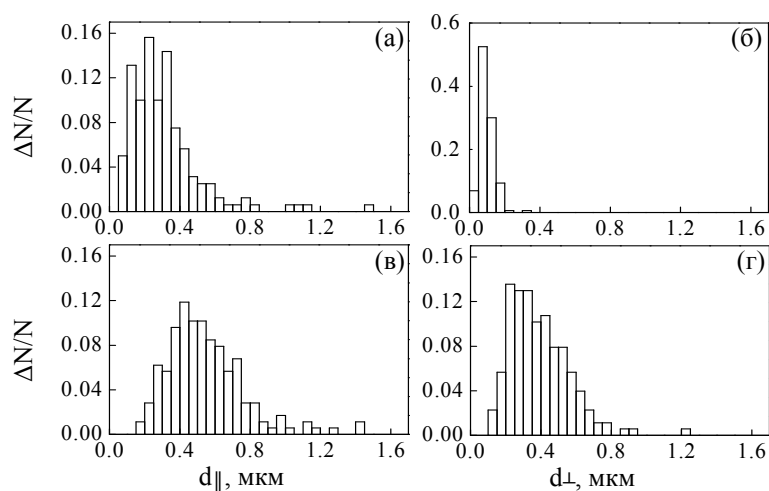


Рис. 2. Гистограммы распределения зерен по размерам сплава $V\text{-Cr-ZrO}_2$ после деформации (а, б) и отжига при температуре $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ (в, г). Размеры $d_{\parallel}$ вдоль ПН (а, в), размеры $d_{\perp}$ вдоль ОК (б, г).

Дефектная структура субмикроструктурного состояния после деформации характеризуется кривизной кристаллической решетки (χ_{ij}) от 10 до 40 град/мкм [2], соответствующие оценки величин локальных внутренних напряжений составляют $\sigma_{\text{лок}} \approx E/75\text{--}E/45$.

На рисунке 3 а представлен пример темнопольного анализа особенностей тонкой дефектной структуры после отжига при $800\text{ }^{\circ}\text{C}$. Установлено, что при наклоне гониометра на угол $\Delta\varphi \approx 1,5^{\circ}$, контур экстинкции перемещается на расстояние $\Delta g \approx 180\text{ нм}$. В соответствие с [3], компонента кривизны

кристаллической решетки χ_{21} может быть определена по формуле $\chi_{21} \approx \Delta\varphi \cdot \sin(\beta) / (\Delta r)$ (рис. 3 б). С учетом угла между вектором действующего отражения g типа $\langle 110 \rangle$ и направлением проекции оси наклона гониометра (ПОН) $\beta = 87,5^\circ$, компонента кривизны кристаллической решетки χ_{21} достигает ≈ 8 град/мкм. В случае если кривизна обусловлена только изгибом фольги, ширина контура $L_{\text{теор}} \approx \gamma_0 / \chi_{21} \approx 60$ нм, где $\gamma_0 \approx 0,5^\circ$ – угловой размер дифракционного максимума в бездефектном кристалле. Однако экспериментальное значение $L_{\text{экс}} \approx 100$ нм. Таким образом, почти 1.5-кратное уширение контура экстинкции свидетельствует о наличии структурной кривизны кристаллической решетки, а не связано с изгибом или короблением тонкой фольги.

Согласно [3], по формуле $\sigma_{\text{лок}} \approx \chi_{ij} \cdot E \cdot \Delta h / 2$ (E – модуль Юнга, Δh – характерные размеры зоны высокой кривизны кристалла) из экспериментальных данных о χ_{ij} и Δh можно оценить величину локальных внутренних напряжений. Учитывая, что $\chi_{ij} \approx 8$ град/мкм, а $\Delta h \approx 0,18$ мкм, максимальные значения $\sigma_{\text{лок}}$ не превышают $E/80$. Таким образом, представленный результат свидетельствует о начале интенсивных процессов релаксации дефектной структуры при $T = 800^\circ\text{C}$.

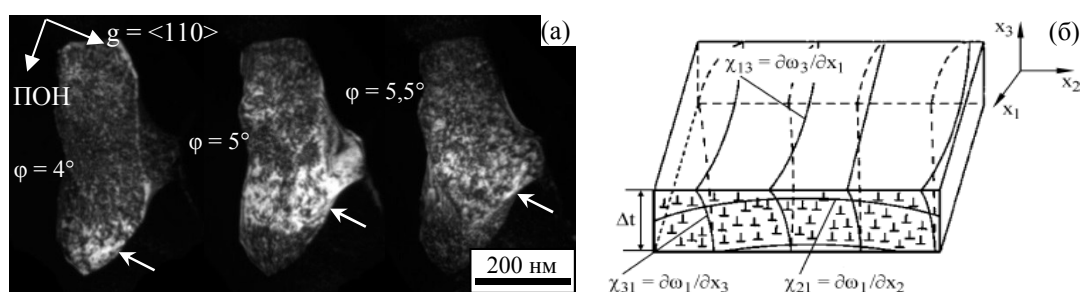


Рис. 3. Пример анализа непрерывных разориентировок изучаемого сплава после отжига при $T=800^\circ\text{C}$ (а); схема структурного состояния с кривизной кристаллической решетки (б) [3].

Выводы. Установлено, что в наноструктурированном дисперсно-упрочненном сплаве V–Cr–ZrO₂ при температуре 800°C активизируются процессы релаксации, которые сопровождаются ростом зерен, существенным снижением значений кривизны кристаллической решетки и величин локальных внутренних напряжений.

Исследования проведены с использованием оборудования Томского регионального центра коллективного пользования НИИ ТГУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Валиев Р.З, Александров И.В. Объемные наноструктурные металлические системы – М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. – 398с.
2. Smirnov I.V., Ditenberg I.A., Grinyaev K.V., Radishevsky V.L. Features of formation of nanocrystalline state in internal-oxidized V-Cr-Zr-W and V-Mo-Zr system alloys during deformation by torsion under pressure // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – V. 116. – № 1. – I. 012037. – P. 1–5.
3. Тюменцев А.Н., Дитенберг И.А., Коротаев А.Д., Денисов К.И. Эволюция кривизны кристаллической решетки в металлических материалах на мезо и наноструктурном уровнях пластической деформации // Физическая мезомеханика. – 2013. – Т. 16. – №. 3.