

**ВЛИЯНИЕ ДЕФОРМАЦИИ НА КОМПОНЕНТЫ ТЕНЗОРА ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ
В ЗЕРНАХ ГЦК-ПОЛИКРИСТАЛЛА***

И.А. Гиберт¹, Н.А. Попова², Н.А. Конева²

Научный руководитель: доцент, к ф.- м. н. С.Ф. Киселева²

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

²Томский государственный архитектурно-строительный университет,

Россия, г. Томск, пл. Соляная, 2, 634003

E-mail: kisielieva1946@mail.ru

**EFFECT OF DEFORMATION ON COMPONENTS OF INTERNAL STRESS TENSOR IN GRAINS
OF FCC-POLYCRISTAL**

I.A. Gibert¹, N.A. Popova², N.A. Koneva²

Scientific supervisor: associate professor, candidate of physics-mathematics sciences S.F. Kiseleva²

¹National Research Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

²Tomsk State University of Architecture and Building, Russia, Tomsk, Solyanaya sq.2, 634003

E-mail: kisielieva1946@mail.ru

***Abstract.** Study of contributions of internal stress tensor components in deformed of austenitic steel was carried out. The tensor components of internal stresses were determined with using bending extinction contours observing on electron microscope images of the steel.*

Известно, что при деформации в поликристаллах возникают поля внутренних напряжений. Вследствие этого на электронно-микроскопических изображениях деформированного материала появляются изгибные экстинкционные контуры, по параметрам которых можно восстановить характеристики полей. Внутренние напряжения представляют собой тензоры второго ранга. Компоненты тензора – это напряжение изгиба и напряжение кручения кристаллической решетки. Вклады компонент тензора внутренних напряжений изучены недостаточно.

Целью настоящей работы является изучение влияния разного типа изгиба зерен на компоненты тензора внутренних напряжений в деформированной аустенитной стали материале. Определены напряжение изгиба и напряжение кручения кристаллической решетки внутри зерен деформированного поликристалла с использованием методики определения внутренних напряжений для деформированного материала. В зависимости от природы деформации в каждом случае учтены либо составляющие упругой и пластической деформаций либо только пластической деформации. Полученные результаты обсуждаются в сопоставлении с экспериментом.

Определение компонент тензора напряжений в деформированном материале. Используя методику, предложенную авторами, по параметрам изгибных экстинкционных контуров, наблюдаемых

* Работа выполнена в рамках гос. задания Минобрнауки России №3.295.2014/К и №461

на электронно-микроскопических изображениях, напряжения изгиба и кручения кристаллической решетки соответственно определялись по формулам:

$$\sigma_{11} = \mu\sqrt{b\chi_{11}}; \quad \sigma_{12} = \mu\sqrt{b\chi_{12}}, \quad (1)$$

где μ - модуль упругости, b - вектор Бюргерса, t - толщина фольги, χ_{11}, χ_{12} - компоненты тензора кривизны-кручения кристаллической решетки.

$$\chi_{11,пл(12,пл)} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta L_{x,пл(y,пл)}}, \quad \chi_{11,упр(12,упр)} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta L_{x,упр(y,упр)}}, \quad (2)$$

где $\Delta\varphi$ – угол разориентировки кристалла на длине ΔL . Изгиб–кручение кристаллической решетки обозначены в формулах (1) и (2) нижним индексом: изгиб – 11, кручение - 12.

Результаты исследований. На электронно-микроскопических изображениях (рис.1-2) структуры

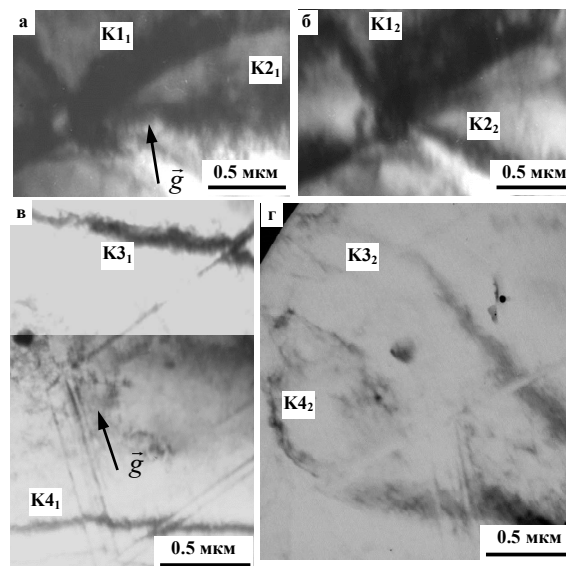


Рис.1. Электронно-микроскопические изображения деформированной ($\epsilon = 14\%$) растяжением стали при разных углах наклона оси гониометра: а – 1° , б – 3° , в – 0° , г – $10,5^{\circ}$.

Отмечены изгибные экстинкционные контуры: $K1_1, K2_1; K1_2, K2_2; K3_1, K4_1; K3_2, K4_2$.

Стрелкой показано направление дифракционного вектора \vec{g}

деформированной стали присутствуют дислокации, а также наблюдаются изгибные экстинкционные контуры, что свидетельствует о наличии в зерне локальных внутренних напряжений. Были проведены электронно-микроскопические съемки отдельного зерна поликристалла при разных углах наклона гониометра. Эти электронно-микроскопические изображения приведены для разных степеней деформации: для $\epsilon = 14\%$ - на рис.1а-г; для $\epsilon = 25\%$ - на рис.2а-г. Вектор действующего отражения \vec{g} был перпендикулярен оси гониометра. Выбранный участок фольги, на котором проводились исследования, не содержал на пути перемещения контура границ раздела или разориентировки. При наклоне фольги перемещение контуров может происходить по-разному: параллельно самому себе (рис.1а,б и 2а,б) и не параллельно, т.е. контуры либо сближаются, либо удаляются друг от друга (рис.1в,г и 2в,г). В первом случае изгиб зерна является простым, а во втором случае – сложным. Сложный изгиб зерна охватывает два и более типа плоскостей. Определены значения компонент тензора внутренних напряжений: напряжение изгиба и напряжение кручения кристаллической решетки. Проанализированы

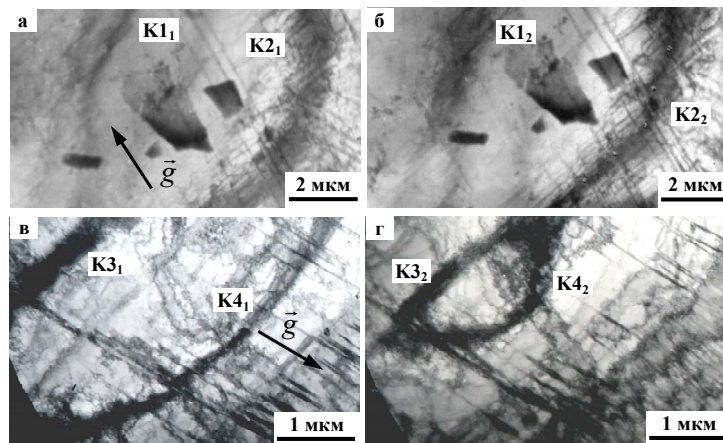


Рис.2. Электронно-микроскопические изображения деформированной ($\epsilon = 25\%$) растяжением стали при разных углах наклона оси гониометра: а – 8.8° , б – 9.2° , в – 0° , г – 3° . Отмечены изгибные экстинкционные контуры $K1_1, K2_1; K1_2, K2_2; K3_1, K4_1; K3_2, K4_2$. Стрелкой показано направление дифракционного вектора \vec{g}

их вклады во внутренние напряжения в зернах с разными типами изгиба при степени деформации $\epsilon = 14\%$ (табл.1) и $\epsilon = 25\%$ (табл.2).

Таблица 1

Вклады компонент тензора во внутренние напряжения в зернах с изгибом при $\epsilon = 14\%$

Тип изгиба зерна	Напряжение изгиба σ_{11} , ГПа	Напряжение кручения σ_{12} , ГПа	Внутри зерна $\langle\sigma\rangle$, ГПа
Простой	0,46	1,00	1,11
Сложный	0,85	1,43	1,67

Таблица 2

Вклады компонент тензора во внутренние напряжения в зернах с изгибом при $\epsilon = 25\%$

Тип изгиба зерна	Напряжение изгиба σ_{11} , ГПа	Напряжение кручения σ_{12} , ГПа	Внутри зерна $\langle\sigma\rangle$, ГПа
Простой	0,93	1,16	1,50
Сложный	0,84	1,32	1,57

Напряжение кручения кристаллической решетки σ_{12} в зерне со сложным изгибом больше, чем в зерне с простым изгибом. Причем это наблюдается и при степени деформации $\epsilon = 14\%$ (табл.1), и при $\epsilon = 25\%$ (табл.2). В то время как напряжение изгиба σ_{11} ведет себя по-разному: σ_{11} при $\epsilon = 14\%$ имеет большее значение в зерне со сложным изгибом, а при $\epsilon = 25\%$ наоборот в зерне с простым изгибом. Таким образом, для напряжения кручения кристаллической решетки наблюдается некоторая закономерность, а именно: значение σ_{12} всегда больше в зерне со сложным изгибом. Можно предположить, что именно увеличение компоненты кручения характеризует сложный изгиб зерна.

Заключение

При деформации поликристаллической аустенитной стали в ней возникают зерна с простым и сложным изгибами. Проанализированы компоненты тензора внутренних напряжений. Выяснено, что при увеличении степени деформации вклады напряжений изгиба и кручения кристаллической решетки ведут себя неодинаково. Установлено, что при одной и той же степени деформации значение напряжения кручения кристаллической решетки σ_{12} в зернах со сложным изгибом всегда больше, чем в зернах с простым изгибом. Можно полагать, что увеличение σ_{12} характерно для зерен со сложным изгибом.