

## ИЗГИБЫ ЗЕРЕН ПРИ ДЕФОРМАЦИИ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ

И.А. Гиберт, Н.А. Попова, Н.А. Конева

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

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

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

Томский государственный архитектурно-строительный университет,

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

E-mail: kisielieva1946@mail.ru

## GRAIN BENDING AT DEFORMATION OF THE STEEL AND ARRANGEMENT OF INTERNAL STRESSES

I.A. Gibert, N.A. Popova, N.A. Koneva

Scientific supervisor: associate professor, candidate of physics-mathematics sciences S.F. Kiseleva<sup>2</sup>

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

Tomsk State University of Architecture and Building,

Russia, Tomsk, Solyanaya sq.2, 634003

E-mail: kisielieva1946@mail.ru

*Arrangement of internal stresses in deformed austenitic steel is studied. The internal stresses are determined using parameters of bending extinction contours observing on electron microscope images of this steel.*

В деформированных поликристаллических материалах возникают внутренние поля напряжений. В результате на электронно-микроскопических изображениях появляются изгибные экстинкционные контуры. По параметрам экстинкционных контуров можно восстановить внутренние поля напряжений [1]. Целью настоящей работы является изучение распределения внутренних напряжений в деформированной поликристаллической (средний размер зерен 34 мкм) аустенитной стали 1,1С–13,0 Мн-Fe. Деформация стали осуществлялась растяжением со скоростью  $3,4 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$  при комнатной температуре на установке ИМАШ-5С вплоть до разрушения ( $\epsilon = 36\%$ ).

**Результаты исследований.** Компоненты тензора внутренних напряжений в исследуемой стали определяли по кривизне-кручению кристаллической решетки в соответствии с методикой, предложенной в [2] и успешно примененной в [3]. На электронно-микроскопических изображениях (рис. 1а-д) структуры деформированной стали присутствуют дислокации, одиночные деформационные микродвойники и пакеты микродвойников. Также на микрофотографиях видны изгибные экстинкционные контуры. Это 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 степени деформации:  $\epsilon = 14\%$  - на рис. 1а-д. 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.

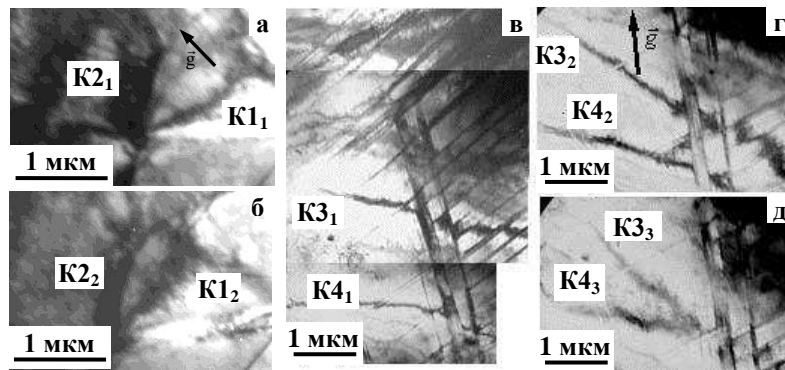


Рис.1. Электронно-микроскопические изображения деформированной ( $\varepsilon = 14\%$ ) растяжением стали при разных углах наклона оси гониометра: а –  $1^\circ$ , б –  $3^\circ$ , в –  $0^\circ$ , г –  $9^\circ$ , д –  $10,5^\circ$ . Отмечены изгибные экстинкционные контуры: а –  $K1_1$ ,  $K2_1$ ; б –  $K1_2$ ,  $K2_2$ ; в –  $K3_1$ ,  $K4_1$ ; г –  $K3_2$ ,  $K4_2$ ; д –  $K3_3$ ,  $K4_3$ . Показано направление дифракционного вектора  $\vec{g}$

На рис.1а-б при наклоне фольги наблюдается параллельное перемещение изгибных экстинкционных контуров в одном направлении. Это свидетельствует о простом изгибе исследуемого участка фольги. В случаях, представленных на рис.1в-д, изгибные экстинкционные контуры перемещаются не параллельно самим себе. В результате они либо сближаются, либо удаляются друг от друга. Это означает, что изгиб исследуемого участка фольги является сложным. На рис.2 приведены гистограммы внутренних напряжений  $\sigma$  в зернах с простым и сложным изгибами для степени деформации  $\varepsilon = 14\%$ . Анализ



Рис.2 Распределения ( $W$ ) внутренних напряжений в деформированной ( $\varepsilon = 14\%$ ) стали для зерен с простым изгибом (а) и со сложным изгибом (б). Приведены средние значения внутренних напряжений  $\langle \sigma \rangle$  и их дисперсия  $\sigma_\sigma$ . Пунктирной линией показаны средние значения внутренних напряжений

распределений показал, что и при простом, и при сложном изгибах зерна деформация по зерну поликристалла является неоднородной. Дисперсия внутренних напряжений в зернах с простым и сложным изгибами соизмерима со средними значениями внутренних напряжений. Все гистограммы в рассмотренных случаях являются многомодальными. Это свидетельствует о том, что в локальных участках образца присутствуют как пластическая, так и упруго-пластическая деформации. При сравнении распределений внутренних напряжений в зернах с простым и сложным изгибами для степени деформации, равной 14%, видно, что площадь первой моды значительно больше, чем суммарная площадь второй и третьей мод. Таким образом, большее количество участков образца и при простом, и при сложном изгибах имеют внутренние напряжения не превышающие 2 ГПа. Суммарная площадь второй и третьей мод значительно меньше, чем первой моды. Следовательно, количество более напряженных ( $\sigma > 2$  ГПа) участков образца невелико. Отметим также, что суммарная площадь второй и третьей мод для зерна со сложным изгибом больше, чем для зерна с простым изгибом, т.е. количество участков образца с внутренними напряжениями превышающими 2 ГПа при сложном изгибе зерна больше, чем в зернах с простым изгибом. Это означает, что зерно со сложным изгибом является более напряженным, чем зерно с

простым изгибом. Среднее значение внутренних напряжений ( $\langle\sigma\rangle$ ) в зерне с простым изгибом равно 1,11 ГПа и заметно отличается от  $\langle\sigma\rangle$  в зерне со сложным изгибом ( $\langle\sigma\rangle = 1,67$  ГПа).

Проведено сравнение с распределениями внутренних напряжений в стали при  $\varepsilon = 25\%$ . Гистограммы также являются многомодальными. Обнаружено малое различие  $\langle\sigma\rangle$  при степени деформации  $\varepsilon = 25\%$  в зернах с простым и сложным изгибами. Это свидетельствует о релаксации внутренних напряжений в стали. Отметим, что при степени деформации  $\varepsilon > 20\%$  в структуре стали появляется третья система микродвойникования и заметно увеличивается доля материала, охваченного микродвойниками. Это вносит вклад в релаксацию внутренних напряжений. Ранее [3] авторами уже отмечалось, что появление одиночных микродвойников, а также пакетов микродвойников приводит к релаксации внутренних напряжений в деформированной аустенитной стали. Результаты, полученные в настоящей работе, детализируют это явление.

**Заключение** В аустенитной стали при степенях деформации  $\varepsilon = 14\%$  и  $\varepsilon = 25\%$  деформация внутри отдельных зерен неоднородна. Распределения внутренних напряжений при степени деформации  $\varepsilon > 5\%$  являются многомодальными. Вклад от второй и третьей мод намного меньше, чем от первой моды.

При степени деформации  $\varepsilon = 14\%$ , значения средних внутренних напряжений внутри отдельных зерен со сложным изгибом значительно выше, чем  $\langle\sigma\rangle$  в зерне с простым изгибом. При  $\varepsilon = 25\%$  среднее внутреннее напряжение для зерен со сложным и простым изгибами мало отличаются друг от друга. Это объясняется существенной релаксацией внутренних напряжений в стали, обусловленной появлением при  $\varepsilon > 20\%$  большого количества пакетов микродвойников в деформированном материале.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конева Н.А., Козлов Э.В. Дальнодействующие поля внутренних напряжений в ультрамелкозернистых материалах // Структурно-фазовые состояния и свойства металлических систем / Под общ. ред. А.И. Потекаева. Томск: Изд-во НТЛ. - 2004. – С. 83–110.
2. Киселева С.Ф., Попова Н.А., Конева Н.А., Козлов Э.В. Определение внутренних напряжений и плотности энергии, запасенной при упруго-пластической деформации изотропного тела, по кривизне-кручению кристаллической решетки // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2012. – Т. 9. - № 1. – С. 7–14.
3. Киселева С.Ф., Попова Н.А., Конева Н.А., Козлов Э.В. Влияние микродвойников превращения на избыточную плотность дислокаций и внутренние напряжения деформированного ГЦК-материала // Изв. РАН. Серия физическая. – 2012. – Т. 76. – № 13. – С. 70–74