

Краткие сообщения

06

Переориентация кристаллической решетки в полосах сдвига кристаллитов $\{112\}\langle 131\rangle$ сплава Fe–3%Si

© Г.М. Русаков, М.Л. Лобанов, А.А. Редикульцев

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина,
620002 Екатеринбург, Россия
e-mail: redikultsev@mail.ru

(Поступило в Редакцию 9 августа 2013 г.)

В полосах сдвига зерен с ориентацией $\{112\}\langle 131\rangle$ деформированного ($\varepsilon \approx 50\%$) поликристаллического образца сплава Fe–3%Si фиксируются субобласти ($\sim 0.1\mu\text{m}$) с ориентацией $\{110\}\langle 113\rangle$. Связь между ориентировкой матрицы и субобластями в полосах сдвига описывается специальной разориентацией, близкой к $\Sigma 5$. Высказано предположение, что субобласти с ориентировкой $\{110\}\langle hhl\rangle$, находящиеся в специальной разориентации $\Sigma 5$ с окружающей матрицей, сформированные в полосах сдвига кристаллитов, отличных от $\{111\}\langle 112\rangle$, при термическом воздействии могут служить зародышами аномального роста, за счет высокой плотности специальных границ $\Sigma 5$.

Введение

Сплав с ОЦК-решеткой Fe–3%Si, использующийся в промышленности как электротехническая анизотропная холоднокатанная сталь (ЭАС), является хорошим модельным материалом для исследования процессов деформации, так как позволяет реализовать практически все известные моды пластической деформации (скольжение, двойникование, разные типы полос локализации деформации).

Известно, что области с ориентацией $(110)[001]$ (которые обеспечивают конечные свойства готовой ЭАС [1,2]) после значительной холодной деформации формируются в полосах сдвига, образующихся в кристаллитах ориентировки $\{111\}\langle 112\rangle$ [3–5]. Предполагается, что данные области в процессе вторичной рекристаллизации получают преимущество за счет высокой плотности специальных границ РСУ типа $\Sigma 9$ [6–9]. Однако в конечной текстуре сплава зачастую присутствуют кристаллиты, существенно отличные от $(110)[001]$ (например, $\{110\}\langle 227\rangle$ [6]). Вопрос об их происхождении при холодной деформации и термическом воздействии остается открытым.

Очевидно, что в деформированном поликристалле присутствуют кристаллиты с ориентациями, отличными от $\{111\}\langle 112\rangle$, в которых также формируется мезоструктура деформации, которая может оказывать влияние на образование текстуры. Настоящая работа посвящена описанию обнаруженных закономерностей локализации деформации в кристаллитах $\{112\}\langle 131\rangle$ в поликристалле сплава с ОЦК-решеткой Fe–3%Si.

Материал и методика исследования

Исследования проводили на образцах промышленного сплава Fe–3%Si (электротехнической анизотропной ста-

ли нитридного–медного варианта ингибирования [1,2]), прошедших стадию обезуглероживающего отжига в промышленных условиях. Дальнейшую холодную прокатку с 0.60 mm на 0.30 mm ($\varepsilon \approx 50\%$) производили в лабораторных условиях.

Исследования микроструктуры и текстуры проводились на электронном микроскопе JEOL JSM6490LV с приставкой Oxford Instruments (EBSD). Данные, полученные методом ориентационной микроскопии, сопоставляли с данными оптической микроскопии.

При анализе действующих систем скольжения в качестве лабораторной принята система координат, оси которой связаны с направлением холодной прокатки (RD), нормалью к ее плоскости (ND) и перпендикулярным им направлением (TD), которое совпадает с осью валков, так, что все три направления образуют правую тройку векторов.

Результаты и обсуждение

После деформации ($\varepsilon \approx 50\%$) в структуре образцов наблюдались вытянутые вдоль направления прокатки кристаллиты. Внутри некоторых из них обнаруживалась развитая мезоструктура деформации, состоящая из полос сдвига (ПС), расположенных под углом $\sim 30^\circ$ к плоскости прокатки (рис. 1). Обнаруженные полосы локализации деформации были исследованы с помощью метода ориентационной микроскопии (EBSD) (рис. 2).

Исследованная деформированная область имеет ориентацию, близкую к $\{112\}\langle 131\rangle$, при этом ПС располагаются близко параллельно к первичной системе скольжения $(\bar{1}21)[11\bar{1}]$. Ввиду высокой плотности дислокаций в ПС их внутреннюю структуру не удалось разрешить методом EBSD. Однако внутри ПС четко фиксируются субобласти ($\sim 0.1\mu\text{m}$) с ориентацией $\{110\}\langle 113\rangle$

(рис. 2), на границах которых происходит скачкообразное изменение ориентации кристаллической решетки. Для наглядности на рис. 2, *a* показано пространственное изображение кристаллической решетки в некоторых субзернах и окружающей матрице.

Из рис. 2, *b* легко видеть, что связь между ориентировкой матрицы и субобластями в ПС описывается поворотом вокруг кристаллографического направления $\langle 100 \rangle$ на угол $\sim 40^\circ$. Данная разориентация близка к двум специальным разориентациям $\Sigma 5$ и $\Sigma 29a$, которые образуются поворотом вокруг одной и той же оси $\langle 100 \rangle$ на близкие углы: $\Sigma 5$ — 36.87° ; $\Sigma 29a$ — 43.60° (разница 6.7°). Анализ специальных границ методом ориентационной микроскопии показывает (рис. 2, *c*), что обнаруженные субобласти окружены участками специальных границ РСУ $\Sigma 5$ и $\Sigma 29a$, прерывающимися или переходящими одна в другую (рис. 2, *a*). Механизмом формирования субобластей в ПС с закономерной большеугловой переориентацией решетки может служить модель, предложенная в работах [10,11]. При этом переход специальных границ одна в другую, по всей видимости, связан с рассогласованием пластических разворотов решетки в локальных микрочастицах, прилегающих к границам сформированных субзерен.

Обнаруженная внутри ПС в кристаллите $\{112\}\langle 131 \rangle$ ориентировка $\{110\}\langle 113 \rangle$ отклонена от идеальной ориентации $(110)[001]$ на угол $\sim 25^\circ$ относительно направления прокатки. В настоящее время интенсивно обсуждается роль специальных границ РСУ $\Sigma 5$ и $\Sigma 9$ в формировании зародышей вторичной рекристаллизации в сплаве Fe–3%Si [6–9]. В [6] показано, что протекание аномального роста при достаточно низких температурах связано с высокой подвижностью границ зерен $\Sigma 5$, что приводит к формированию рассеянной текстуры, близкой к $\{110\}\langle 227 \rangle$. Полученный в работе результат показывает, что субобласти с данной ориентировкой ($\{110\}\langle 227 \rangle$), находящиеся в специальной разориентации $\Sigma 5$ (или близкой к ней) с окружающей матрицей, могут образовываться в ПС кристаллитов деформи-

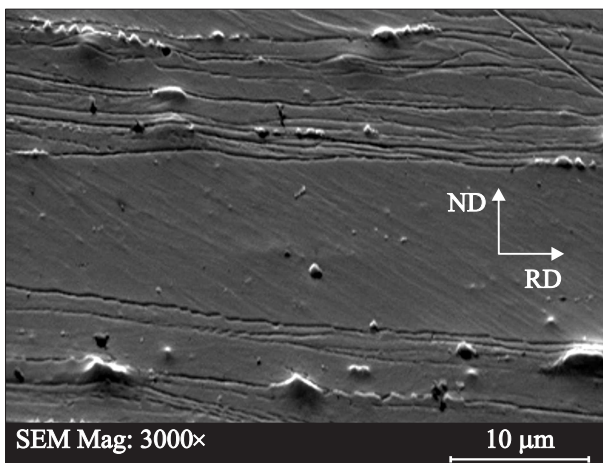


Рис. 1. Микроструктура поликристалла сплава Fe–3%Si после холодной прокатки со степенью деформации $\varepsilon \sim 50\%$.

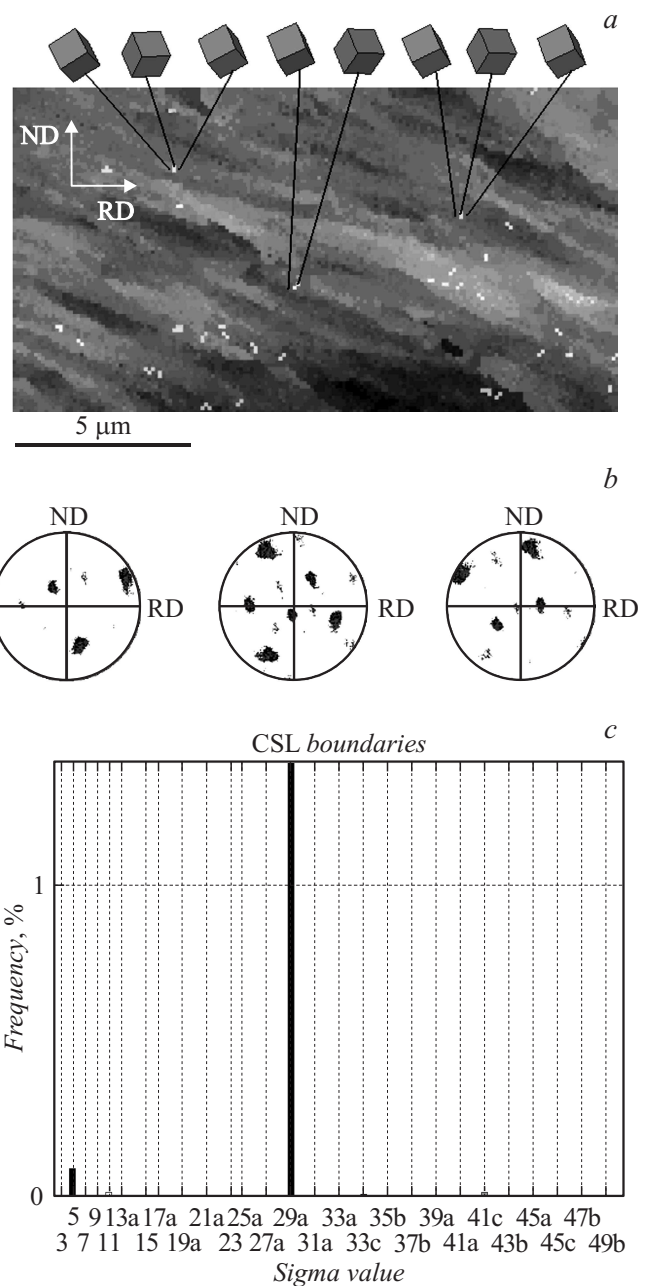


Рис. 2. Мезоструктура кристаллита $\{112\}\langle 131 \rangle$ с разрешенными субобластями внутри полос сдвига и пространственным изображением ориентации кристаллической решетки (*a*), прямые полюсные фигуры $\{100\}$, $\{110\}$ и $\{111\}$ соответственно (*b*) и доля специальных границ (*c*).

рованного сплава Fe–3%Si, отличных от $\{111\}\langle 112 \rangle$. При термическом воздействии данные субобласти могут служить зародышами аномального роста за счет высокой плотности специальных границ $\Sigma 5$, приводя к формированию рассеянной текстуры $\{110\}\langle hhl \rangle$.

Работа выполнена на оборудовании лаборатории „Структурных методов анализа и свойств материалов и наноматериалов“, ЦКП УрФУ.

Список литературы

- [1] Лобанов М.Л., Русаков Г.М., Редикульцев А.А. // МнТОМ. 2011. № 7. С. 18–25.
- [2] Лобанов М.Л., Русаков Г.М., Редикульцев А.А. // МнТОМ. 2011. № 8. С. 3–7.
- [3] Ushioda K., Hutchinson W.B. // ISIJ Int. 1989. Vol. 29. P. 862–867.
- [4] Dormer D., Zaefferer S., Raabe D. // Acta Mater. 2007. Vol. 55. N 7. P. 2519–2530.
- [5] Русаков Г.М., Редикульцев А.А., Каган И.В., Лобанов М.Л. // ФММ. 2010. Т. 109. № 6. С. 701–707.
- [6] Shimizu R., Harase J., Dingley D.J. // Acta Mater. 1990. Vol. 38. P. 973–978.
- [7] Kitano T., Haratani T., Ushigami Y. // ISIJ Int. 2002. Vol. 42. P. 440–449.
- [8] Нотта Н., Hutchinson B. // Acta Mater. 2003. Vol. 51. P. 3795–3805.
- [9] Редикульцев А.А., Лобанов М.Л., Русаков Г.М., Лобанова Л.В. // ФММ. 2013. Т. 114. № 1. С. 39–46.
- [10] Сарафанов Г.Ф., Перевезенцев В.Н. // ФТТ. 2009. Т. 51. Вып. 12. С. 2309–2314.
- [11] Свирина Ю.В., Перевезенцев В.Н. // ЖТФ. 2013. Т. 83. Вып. 8. С. 140–143.