

МЕХАНИЗМЫ ФОРМИРОВАНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ГРАНИЦ В МЕТАЛЛАХ

Куклина А.А., Беляевских А.С., Данилов С.В.

Руководитель - доцент, д.т.н. Лобанов М.Л.

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина», г. Екатеринбург

m.l.lobanov@urfu.ru

На основе кристаллогеометрического анализа и экспериментальных исследований методом ориентационной микроскопии (EBSD) продемонстрированы возможные механизмы формирования специальных разориентаций – специальных границ в процессе структурных превращений (деформация, рекристаллизация) в металлических материалах.

Большинство конструкционных и функциональных металлических материалов используются в виде поликристаллов. Неотъемлемой частью их структуры являются высокоугловые границы зерен. Принято разделять высокоугловые границы зерен на специальные (или близкие к специальным) и общего типа. Неоднократно высказывалось мнение, что, по крайней мере часть высокоугловых границ, за счет которых реализуются процессы рекристаллизации, являются специальными границами [1-3].

Введение понятия специальных границ (даже на уровне модельных представлений) представляется вполне оправданным, поскольку только для подобных границ возможно описание их движения на уровне скольжения и переползания дислокаций. Также, только движение специальных границ достаточно просто объясняет формирование и эволюцию локальных текстур в поликристаллических материалах в процессах структурных превращений.

Формированию специальных границ должно предшествовать возникновение специальных разориентаций. Специальные разориентации - взаимные расположения двух кристаллических решеток, совмещенных в общем узле, при некоторых дискретных поворотах которых возникает трехмерная решетка совпадающих узлов. Отношение объемов элементарных ячеек решетки совпадающих узлов и исходной решетки характеризуется параметром Σ_n – обратной пространственной плотностью совпадающих узлов, где n (3, 5, 7, 9 и т.д.) – количество совпавших узлов в наложении трехмерных решеток (а не на границе!).

В работе решались следующие задачи: 1) показать возможность возникновения специальных разориентаций между компонентами текстуры, полученной после больших степеней деформации; 2) проанализировать возможность образования специальных разориентаций при деформации с небольшими степенями; 3) установить, что происходит со специальными разориентациями в ранее деформированном материале при зарождении и росте новых зерен в процессе первичной рекристаллизации.

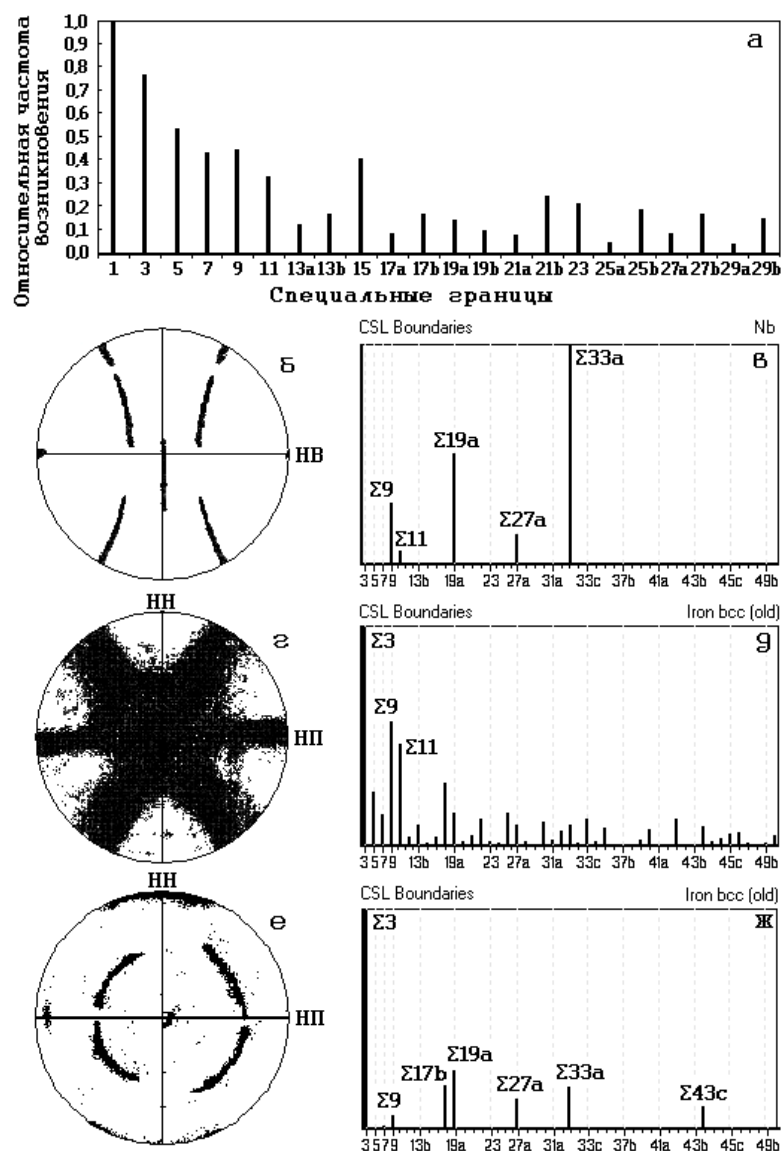
При проведении исследований использовался металлографический анализ, ориентационный анализ микроструктур (EBSD) в виде ориентационных карт и прямых полюсных фигур. При анализе возможных текстурных ситуаций использовалось программное обеспечение CaRIne Crystallography.

Показано, что при больших пластических деформациях ($\epsilon > 70\%$) возможно возникновение специальных разориентаций ($\Sigma 3$, $\Sigma 9$, $\Sigma 11$, $\Sigma 33a$) между компонентами деформационной текстуры, если данные компоненты могут быть представлены как повороты кристаллической решетки вокруг направлений, заданных обработками: ось волочения (НВ), направление прокатки (НП), направление перпендикулярное направлению прокатки (ПН). Возможность реализации подобного механизма формирования специальных разориентаций экспериментально подтверждена при горячем прессовании трубки из ниобия (рис. 1, б, в) и горячей прокатки электротехнической стали (рис. 1, г, д).

При холодной прокатке металлических монокристаллов со сравнительно небольшими степенями деформации ($\epsilon \sim 20...50\%$) показана возможность формирования специальных разориентаций ($\Sigma 3$, $\Sigma 9$, $\Sigma 19a$, $\Sigma 27a$, $\Sigma 33a$) между элементами мезоструктуры (двойники деформации, деформационные полосы, полосы сдвига). Подобный механизм реализуется в случае, если деформация решетки может быть представлена как поворот вокруг одного из плотноупакованных кристаллографических направлений параллельного ПН. Возможность данного механизма подтверждена экспериментально при формировании полос деформации в монокристалле технического сплава Fe–3%Si с исходной ориентировкой $\{110\}\langle 001\rangle$. Сформированные при холодной прокатке с небольшими степенями деформации специальные разориентации, при дальнейшей деформации либо сохраняются ($\Sigma 3$, $\Sigma 9$, $\Sigma 19a$, $\Sigma 27a$, $\Sigma 33a$), либо трансформируются в близкие к ним ($\Sigma 3 \rightarrow \Sigma 17b$, $\Sigma 41a$) (рис. 1, е, ж).

Зафиксировано, что при первичной рекристаллизации в ранее деформированных монокристаллах с исходной ориентировкой $\{110\}\langle 001\rangle$ зарождение новых зерен происходит на специальных границах ($\Sigma 3$, $\Sigma 9$, $\Sigma 19a$, $\Sigma 27a$, $\Sigma 33a$), соответствующих специальным разориентациям, возникшим при деформации. В процессе рекристаллизации происходит подстройка высокоугловой границы к специальной разориентации, характеризующей решетку кристаллитов, разделенных подвижными границами.

Работа выполнена в рамках проектной темы МОиН РФ (задание № 11.1465.2014/К).



а – расчет для нетекстурованного материала [4]; б, г, е – ППФ (110); в, д, ж – данные EBSD; б, в – трубка из Nb (экструзия); г, д – горячая прокатка электротехнической стали; е, ж – начало рекристаллизации, в ранее деформированном монокристалле Fe-3%Si с исходной ориентировкой (110)[001]

Рисунок 1. Частоты возникновения границ совпадающих узлов в металлических материалах с различной текстурой

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Лобанов М.Л., Русаков Г.М., Редикульцев А.А., Каган И.В. Особенности первичной рекристаллизации монокристалла (110)[001] сплава Fe-3%Si-0.5%Cu, связанные с деформационным двойникованием // ФММ. 2011. Т. 111. №6. С. 613-618.

2. Редикульцев А.А., Лобанов М.Л., Русаков Г.М., Лобанова Л.В. Вторичная рекристаллизация в сплаве Fe-3%Si с однокомпонентной текстурой (110)[001] // ФММ. 2013. Т. 114. №1. С. 39-46.

3. Демаков С.Л., Водолазский Ф.В., Водолазский В.Ф., Попов А.А. Текстурированное торможение рекристаллизации в титановом сплаве ТС6 // МиТОМ, № 10, 2010. С.32-38

4. Humphreys F.J., Hatherly M. Recrystallization and related Annealing Phenomen. ELSEVIER Ltd, Oxford, 2004. 574 p.