

ДОЭ-ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИСТОВЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ ТИТАНОВОГО СПЛАВА

Водолазский Ф.В., Демаков С.Л., Карабаналов М.С.

ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, Екатеринбург
e-mail: vodolazski@bk.ru, tofm@ustu.ru

Методами металлографии и ДОЭ-анализа проведено исследование листовых полуфабрикатов из β -титановых сплавов на начальных этапах получения тонкого листа. Изучалась зеренная структура, а именно изменение ориентаций зерен в зависимости от их размеров и формы.

В исходном подкате толщиной 20 мм, наблюдается неоднородная рекристаллизовано-полигонизованная структура, в которой присутствуют длинные вытянутые вдоль направления прокатки нерекристаллизованные зерна, «полосы», рис. 1. Обнаружено, что «полосы» сохраняются при дальнейших обработках.

Рис. 1. Микроструктура листа толщиной 20 мм сплава ТС6 в продольном направлении (РЭМ, детализация структуры полосы – оптическая микроскопия).

ДОЭ карты листа сплава ТС6 представлены на рис. 2. Большинство полос имеет текстурную ориентацию $\{001\}\langle 110\rangle$ (самая стабильная текстура прокатки сплавов с ОЦК решеткой), рис. 2а...г, однако присутствуют и другие текстурные ориентации $\{111\}\langle 112\rangle$ рис. 2а (еще одна текстура прокатки сплавов с ОЦК решеткой), а также нам встречалась ориентация $\{112\}\langle 111\rangle$ и $\{110\}\langle 110\rangle$. Отметим, что в ПН практически все полосы, независимо от их общей текстуры, ориентированы плоскостью $\{110\}$ (рис. 2,б).

Обращает на себя внимание факт, что структура полосы неоднородна. В большей части полос встречаются протяженные внутренние границы. Количество таких границ варьировалось от 0 до 4 и одной из задач явилось определение природы наблюдаемых внутренних границ. С помощью ДОЭ-методики удалось однозначно установить, что данные границы являются малоугловыми, а именно, ориентация кристаллической решетки по обеим сторонам границы практически не отличалась, причем, для всех типов полос, независимо от их текстурной ориентации. По нашему мнению, эти границы являются вырожденными высокоугловыми, из-за образования одинаковой текстурной ориентации соседних зерен, происходит процесс формирования из нескольких кристаллитов псевдомонокристалла имеющего внутренние малоугловые границы, вследствие деформации с высокими обжатиями. На этих границах не наблюдались нормальные зародыши рекристаллизации, что вполне естественно поскольку, способность к образованию зародышей рекристаллизации на малоугловых границ крайне низка. Это является классическим примером текстурного торможения рекристаллизации.

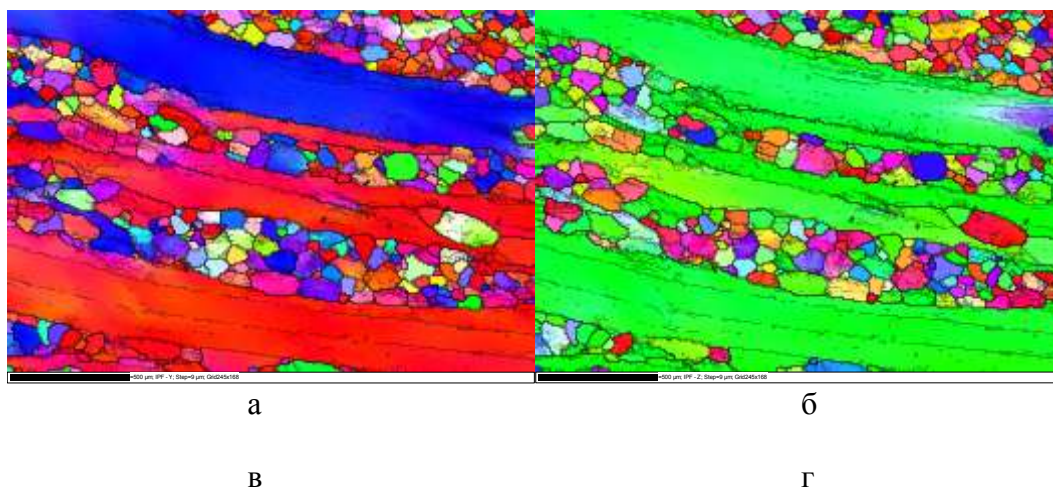


Рис 2. ДОЭ-карты 20 мм листа сплава ТС6 с различных участков поверхности ПН: а – АН, б – ПН; в – АН, г – ПН.

Другой вариант текстурного торможения представлен на рис. 2в,г; где присутствуют две плоские границы различно ориентированных зерен. В верхнем и нижнем зерне кристаллографическая ориентация соответствует $\{100\}\langle 110\rangle$, в среднем зерне наблюдается текстурная ориентация $\{110\}\langle 110\rangle$, причем направление $\langle 110\rangle$ является общим для этих зерен и лежит в плоскости границы. Отсутствие зародышей на такой границе может быть вызвано рядом причин. Во-первых, низкой энергией границы, поскольку в ней присутствуют однонаправленные цепочки полностью совпадающих узлов вдоль НП, причем каждый четвертый ряд в одной решетке и пятый в другой имеет практически полное совпадение, что, безусловно, должно понижать общую энергию. Этот тип границ был описан в работе, где они были названы полуспециальными. Приведенный случай не единственный. Отсутствие рекристаллизации наблюдалось и на границе между двумя полосами имеющими ориентации: $\{100\}\langle 110\rangle$ и $\{112\}\langle 111\rangle$, с соответственно сопрягающимися на границе плоскостями $\{110\}$ и $\{112\}$. Общие направления $\langle 110\rangle$ также представляют собой цепочку полностью совпадающих узлов, но в отличие от уже рассмотренного варианта цепочки совпадающих узлов лежат вдоль прокатки. Второй фактор – геометрический, граница является плоской, отсутствуют «зубчики», которые как правило являются зародышами рекристаллизации. Так или иначе, оба фактора вызваны наличием текстуры и этот случай также можно считать проявлением текстурного торможения рекристаллизации.

Среди рекристаллизованных зерен встречаются зерна отличные от остальных. Их кристаллографическая ориентация совпадает с текстурой полос, они имеют вытянутую форму в отличие от остальных равноосных (рис. 2б обозначены стрелками). Очевидно, что их образование происходило не за счет образования механизма зарождения, а за счет слияния отдельных блоков полос скольжения (по типу рекристаллизации *in situ*). Их рост происходит преимущественно в направлении деформации, поперечный рост ограничен.

Общий анализ всей картины показал, что наблюдаются два конкурирующих процесса рекристаллизации: за счет слияния блоков (субзерен), первый механизм и рекристаллизация зарождение и рост

зародышей, второй механизм. Причем около тройных стыков превалирует рекристаллизация по второму механизму, а вдоль границ – по первому механизму. По мере развития зерна рекристаллизованные по первому механизму поглощаются зернами рекристаллизованными по второму механизму. Но в целом наличие первого механизма сдерживает развитие рекристаллизации по второму механизму, за счет частичного поглощения энергии. Считать ли это составляющей текстурного торможения рекристаллизации, у нас не сложилось однозначного мнения. Но если судить в общем, то рекристаллизация слиянием блоков оказывает отрицательное воздействие на скорость рекристаллизации.

Было также установлено, что различных условиях обработки возможна реализация двух механизмов рекристаллизации:

- первый механизм – рекристаллизация слиянием блоков;
- второй механизм – образование и рост зародышей с высокоугловой границей.

Эти процессы являются конкурирующими. Первый механизм является нежелательным. Обнаружено что текстурное торможение рекристаллизации связано не только с преобразованием высокоугловой границ в малоугловые, но и с формированием особых границ в плоскости которых имеются цепочки полностью совпадающих узлов. Такие границы обнаружены в случае, когда соседние зерна сопрягаются по плоскостям $\{100\}$ и $\{110\}$ с общим направлением $\langle 110 \rangle$, и по плоскостям $\{100\}$ и $\{112\}$ с общим направлением $\langle 110 \rangle$.