

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 669-175.2:539.89:548.4

DOI: 10.17223/00213411/64/7/178

А.Н. ТЮМЕНЦЕВ^{1,2}**О ПРЕДЕЛЬНЫХ МИНИМАЛЬНЫХ РАЗМЕРАХ НАНОЗЕРЕН И МЕХАНИЗМЕ
 $B2 \rightarrow B19' \rightarrow B2$ -ПРЕВРАЩЕНИЯ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ
НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СТРУКТУР В НИКЕЛИДЕ ТИТАНА ***

Ключевые слова: никелид титана, нанокристаллы, деформация кручением, обратимые мартенситные превращения.

В широком классе материалов при достижении некоторой критической степени деформации наступает стадия формирования нанокристаллических структур с предельными (минимальными) размерами зерен ($d_{\min}$), после которой дальнейшее уменьшение этих размеров невозможно. В условиях деформации кручением на наковальнях Бриджмена эти размеры меняются в пределах от нескольких сотен до нескольких нанометров [1, 2]. В чистых металлах с относительно невысокими значениями прочности и температуры плавления указанные выше размеры $d_{\min} \approx 50\text{--}200$ нм. В металлах и сплавах тугоплавких элементов, композициях металл-металлоид, сплавах с ограниченной растворимостью в твердом состоянии, полупроводниках и интерметаллидах минимальный размер зерен $d_{\min} \approx 10\text{--}20$ нм. Согласно [1, 2], важным фактором способности материала к измельчению зеренной структуры является подвижность элементарных носителей деформации (дислокаций и точечных дефектов), контролирующая пути их пробега в полях напряжений, характерные масштабы переориентирующихся микрообъемов, а, следовательно, и размеры нанозерен. Эта подвижность в значительной степени зависит от прочности материала и гомологической температуры деформации, определяющих напряжения дислокационного сдвига и интенсивность диффузионных механизмов релаксации наноструктурных состояний [3, 4]. В настоящем сообщении представлены результаты исследования особенностей формирования таких состояний в условиях пластической деформации сплава на основе никелида титана с участием механизма обратимого ($B2 \rightarrow B19' \rightarrow B2$) мартенситного превращения [5–7].

Исследование проведено с использованием монокристалла сплава TiNi(Fe, Mo) ($\approx 0.3\%$ Fe и 0.3% Mo, ат. %), со структурой $B2$ -фазы после закалки от $T = 1233$ К в ледяную воду. Образцы для пластической деформации кручением имели форму дисков диаметром 8 мм и толщиной 0.3 мм с ориентацией оси сжатия, близкой к полюсу [001]. Деформацию осуществляли при комнатной температуре на наковальнях Бриджмена под давлением ≈ 8 ГПа.

Эволюция микроструктуры в интервале значений истинной логарифмической деформации от $e \approx 0.15$ сжатием в направлении [001] примерно до 2–3 заключается в формировании двухфазных структурных состояний, содержащих двойники деформации $B2$ -фазы в плоскостях с разными ($\{112\}$, $\{113\}$, $\{114\}$) индексами и пластины или нанозерна мартенсита $B19'$, свидетельствующие о формировании этих состояний в процессе $B2 \rightarrow B19' \rightarrow B2$ -превращений [5–7]. При величинах $e \approx 2\text{--}3$ фрагментация материала с участием таких превращений приводит к формированию двухфазной ($B2 + B19'$)-нанокристаллической структуры с размерами нанозерен мартенсита примерно от 50 до 100 нм и $B2$ -фазы $\approx (10\text{--}20)$ нм.

Увеличение степени деформации до $e \approx 3\text{--}4$ приводит, во-первых, к полному обратному ($B19' \rightarrow B2$)-превращению мартенсита $B19'$ в исходную $B2$ -фазу, во-вторых, к значительному (примерно на порядок) уменьшению размеров нанозерен. Оценка этих размеров по полуширине кольца дифракционных максимумов от плоскостей типа $\{110\}$ $B2$ -фазы ($1/d_{\{110\}} \approx 1/4\text{--}1/6$ нм⁻¹) на формирующихся при этом электронограммах (рис. 1, а) дает величину расстояний между этими плоскостями $d_{\{110\}} \approx 4\text{--}6$ нм. При значении $e \approx 5\text{--}6$ указанная выше полуширина увеличивается до $1/d_{\{110\}} \approx (1\text{--}1/2)$ нм⁻¹ (рис. 1, б) и свидетельствует о формировании нанозерен, которые в направлениях типа $\langle 110 \rangle$ имеют размеры ($d_{\{110\}} \approx 1\text{--}1.5$ нм) в несколько межатомных расстояний.

В соответствии с [1, 2] достигнутая к настоящему времени в процессе деформации кручением под давлением степень измельчения зеренной структуры соответствует величине $d_{\min} \approx 10$ нм. В настоящей работе эта величина на порядок ниже. Это предельная (максимально возможная) степень наноструктурирования кристалла с формированием аморфно-кристаллической структуры, когда более половины атомов границ нанозерен и их тройных стыков находятся в аморфном состоянии.

Как следует из анализа приведенных выше результатов, механизмами формирования таких состояний являются $B2 \rightarrow B19' \rightarrow B2$ -превращения совместно с квазивязким механизмом переориентации потоками неравновесных точечных дефектов в полях высоких локальных градиентов напряжений [1, 3–5]. Подчеркнем в связи с этим следующие важные особенности этих механизмов. Во-первых, это ОЦК $\rightarrow$ ГПУ $\rightarrow$ ОЦК-

* Работа выполнена в рамках госзадания ИФПМ СО РАН № FWRW-2021-0008.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>