

УДК 538.911; 548.4; 669-17; 620.186.8

DOI: 10.17223/00213411/62/10/95

А.Н. ТЮМЕНЦЕВ^{1,2}, И.А. ДИТЕНБЕРГ^{1,2}, И.В. СМИРНОВ^{1,2}, К.В. ГРИНЯЕВ^{1,2}, И.И. СУХАНОВ^{1,2}, А.С. ЦВЕРОВА²

ДВУХУРОВНЕВЫЕ НАНОСТРУКТУРНЫЕ СОСТОЯНИЯ В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛАХ С ОЦК-РЕШЕТКОЙ ПОСЛЕ ДЕФОРМАЦИИ КРУЧЕНИЕМ НА НАКОВАЛЬНЯХ БРИДЖМЕНА *

Обобщены результаты электронно-микроскопического исследования двухуровневых наноструктурных состояний (субмикроструктур размерами около 100 нм с внутренней нанокристаллической структурой с размерами нанокристаллов около 10 нм и кривизной кристаллической решетки сотни град/мкм), формирующихся в образцах нелегированного Та и сплавов на основе V и Mo-Re в процессе деформации кручением на наковальнях Бриджмена. В качестве механизма образования этих состояний предложен механизм квазивязкого движения нанодиполей частичных дисклинаций, контролируемого потоками неравновесных точечных дефектов в полях высоких локальных градиентов давления. Показано, что эволюция микроструктуры при увеличении степени деформации заключается в увеличении объемной доли двухуровневого наноструктурного состояния и приводит примерно к 3–4-кратному повышению микротвердости деформируемых образцов с максимальными значениями этой величины в интервале $H_c \approx (E/27 - E/32)$. Обсуждаются основные физические факторы и условия формирования этих состояний при пластической деформации субмикро- и нанокристаллов.

Ключевые слова: ОЦК-металлические материалы, кручение под давлением, электронная микроскопия, наноструктурные состояния, нанодиполи частичных дисклинаций, точечные дефекты, квазивязкая мода деформации.

Введение

Как показано в работах [1–5], важной особенностью эволюции микроструктуры при больших пластических деформациях металлических материалов на наковальнях Бриджмена является формирование двухуровневых наноструктурных состояний. Это субмикроструктуры размерами десятые доли микрона с внутренней нанокристаллической (преимущественно нанополосовой) структурой с размерами нанокристаллов от 5 до 20 нм, дипольным характером разориентировок и обычно высокой (сотни град/мкм) упругой кривизной кристаллической решетки. Они формируются при величинах истинной логарифмической деформации $e \geq 3$ в образцах Ni и Cu с ГЦК-решеткой. Одновременно с формированием таких состояний развивается явление низкотемпературной динамической рекристаллизации (ДР) [1, 2, 6]. Оно обеспечивает циклический (ДР → вторичная фрагментация → ДР → ...) характер структурообразования (изменения плотности дефектов и размеров субмикроструктур) с очень высокой неоднородностью наноструктурного состояния. При этом, наряду с участками двухуровневого наноструктурного состояния, обнаруживаются бездефектные нанозерна динамической рекристаллизации и субмикроструктуры с различными величинами плотности дефектов или кривизны кристаллической решетки. Указанная неоднородность наблюдается во всем интервале величин продолжающейся (при $e \geq 3$) пластической деформации.

Отличительной (от никеля и меди) особенностью эволюции микроструктуры металлических материалов с ОЦК-решеткой при величинах $e > 3$ является отсутствие динамической рекристаллизации, являющееся, очевидно, следствием значительно более низких гомологических температур деформации. В этих условиях структурные изменения при указанных выше значениях e связаны с эволюцией двухуровневых наноструктурных состояний. В настоящей работе обобщены результаты электронно-микроскопического исследования особенностей такой эволюции в образцах нелегированного Та и сплавов на основе V и Mo-Re, проведен анализ механизмов их формирования. Исследованы закономерности изменения микротвердости в зависимости от степени деформации.

Материалы и методика исследования

Исследование проведено с использованием сплавов V-4Ti-4Cr (V-4.36Cr-4.21Ti-0.013C-0.011N-0.02O, вес. %) и Mo-47Re-0.4Zr (вес. %), а также образцов чистого (99.99 %) Та. Важной особенностью этих материалов является высокая технологическая пластичность. В ванадиевом

* Электронно-микроскопическое исследование проведено в рамках выполнения гранта РФФИ (проект № 17-19-01374); исследование механических свойств проведено в рамках Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 гг. (направление III.23).

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>