

ВЛИЯНИЕ РАВНОКАНАЛЬНОГО УГЛОВОГО ПРЕССОВАНИЯ НА ЗЕРЕННУЮ СТРУКТУРУ И ВНУТРЕННИЕ НАПРЯЖЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИ ЧИСТОГО НИКЕЛЯ*

Н.А. Попова¹, Е.Л. Никоненко^{1,2}, Ю.В. Соловьева¹, В.А. Старенченко¹

¹Томский государственный архитектурно-строительный университет, г. Томск, Россия

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Методом просвечивающей дифракционной электронной микроскопии проведено исследование структуры, фазового состава, дефектов, амплитуды внутренних напряжений и их источников в ультрамелкозернистом технически чистом никеле, полученном путем деформации равноканальным угловым прессованием. При равноканальном угловом прессовании образцы подвергались сдвиговой деформации сжатием по двум пересекающимся под углом 120° каналам равного диаметра при температуре $T = 400$ °С без промежуточных отжигов. Число проходов $n = 4$. Проведено изучение зеренной структуры. Установлено, что все зерна анизотропны. В соответствии с характером дислокационной структуры, зерна были классифицированы на три типа: 1) самые мелкие зерна, не обладающие субструктурой (в них практически отсутствуют дислокации) – бездислокационные зерна; 2) более крупные зерна, содержащие хаотически распределенные дислокации или сетчатую субструктуру; 3) самые крупные зерна с ячеистой или фрагментированной субструктурой. Рассчитана средняя величина скалярной плотности дислокаций в зернах каждого типа. Установлено, что равноканальное угловое прессование привело к образованию в ультрамелкозернистом никеле частиц вторичных фаз, обладающих нанометрическим размером и локализованных внутри, на границах и в стыках зерен. Выявлены источники внутренних напряжений и определена их амплитуда. Расчет амплитуды внутренних напряжений состоял в определении амплитуды кривизны-кручения кристаллической решетки по изгибным экстинкционным контурам.

Ключевые слова: интенсивная пластическая деформация, равноканальное угловое прессование, ультрамелкозернистый никель, зерно, частица, дислокационная структура, скалярная плотность дислокаций, внутренние напряжения, амплитуда кривизны-кручения кристаллической решетки, источники напряжений.

Введение

До сих пор большое внимание исследователей привлекают металлические материалы, в которых методами интенсивной пластической деформации (ИПД) получена ультрамелкозернистая (УМЗ) структура, обеспечивающая уникальные свойства – прочностные, пластические, диффузионные и другие [1–5]. В настоящее время разработаны различные способы ИПД [1–8]. Одним из эффективных методов ИПД является равноканальное угловое прессование (РКУП) [1–3, 5, 6]. С помощью этого метода удастся получать УМЗ-материалы. Причем объемы получаемых образцов таковы, что позволяют не только исследовать свойства этих материалов, но и изготавливать из них небольшие детали [2, 3].

Известно, что структура УМЗ-материалов может быть стабилизирована наноразмерными частицами вторичных фаз, расположенных на границах и в стыках зерен [3, 4, 9–14]. В однофазных так называемых чистых УМЗ-металлах частицы вторичных фаз нередко возникают в ходе ИПД [10, 13, 14]. В процессе ИПД дислокации активно захватывают примеси замещения и особенно внедрения и выносят их на границы. Большое количество точечных дефектов и общая высокая плотность других дефектов ускоряют диффузионные процессы. Сильно деформированный металл дополнительно захватывает примеси из окружающей атмосферы. Вследствие этого в ходе ИПД в УМЗ-материалах формируются частицы вторичных фаз, как равновесные диаграммные, так и метастабильные. Расположенные на границах и в стыках зерен эти частицы препятствуют перемещению границ и тем самым формируют УМЗ-структуры [9].

Также известно [3], что УМЗ-материалы содержат значительную внутреннюю энергию и структурно мало стабильны. Это обусловлено большой плотностью содержащихся в них границ, которые не являются совершенными и поэтому имеют большую запасенную энергию. А чем больше запасенная энергия, тем больше сила возврата и, следовательно, меньше стабильность структуры [3]. Значительная часть избыточной энергии УМЗ-материала – это упругая энергия ис-

* Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FEMN-2020-0004).

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>