

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«Физическая мезомеханика.

Материалы с многоуровневой иерархически
организованной структурой и интеллектуальные
производственные технологии»

6–10 сентября 2021 г.

Томск, Россия

DOI: 10.17223/978-5-907442-03-0-2021-158

ЗЕРЕННАЯ СТРУКТУРА, СУБСТРУКТУРА И ЧАСТИЦЫ ВТОРЫХ ФАЗ В НИКЕЛЕ ПОСЛЕ РАВНОКАНАЛЬНОГО УГЛОВОГО ПРЕССОВАНИЯ

Попова Н.А., Никоненко Е.Л., Соловьева Ю.В., Старенченко В.А.

Томский государственный архитектурно-строительный университет, Томск

Методом просвечивающей дифракционной электронной микроскопии (ПЭМ) проведены исследования структурно-фазового состояния ультрамелкозернистого (УМЗ) никеля, полученного путем деформации равноканальным угловым прессованием (РКУП). При РКУП образцы подвергались сдвиговой деформации путём сжатия по двум пересекающимся под углом 120° каналам равного диаметра при температуре $T = 400^{\circ}\text{C}$ без промежуточных отжигов. Число проходов соответствовало $N = 4$.

В работе проведено изучение зеренной структуры. Структура зерен, получившихся в результате РКУП, является весьма сложной. Она представляет собой картину внезапно остановленной эволюции ансамбля дислокаций, субграниц и высокоугловых границ. В различных участках материала микропроцессы деформации и отдыха идут с различной интенсивностью. Поэтому материал представляет собой спектр различных структурных состояний. В соответствии с характером дислокационной структуры, зерна в УМЗ-никеле можно классифицировать на три типа: 1) бездислокационные зерна – самые мелкие зерна, не обладающие субструктурой (в них практически отсутствуют дислокации), 2) более крупные зерна, содержащие хаотически распределенные дислокации или сетчатую субструктуру, и 3) самые крупные зерна с ячеистой или фрагментированной субструктурой. Все зерна анизотропные. Средний продольный размер зерен первого типа составляет 190 ± 30 нм, зерен второго типа – 370 ± 120 нм и зерен третьего типа – 440 ± 100 нм. Средний поперечный размер зерен первого типа – 110 ± 25 нм, зерен второго типа – 160 ± 35 нм и зерен третьего типа – 180 ± 30 нм. Доля зерен первого типа в объеме материала составляет величину, равную 22%, второго типа – 10% и третьего типа – 68%. То есть после проведенной РКУП зеренная структура УМЗ-никеля – это, в основном, зерна с ячеистой или фрагментированной субструктурой.

Рассчитана средняя величина скалярной плотности дислокаций в зернах каждого типа, а также по материалу в целом. В зернах первого типа $\langle\rho\rangle = 0.3 \cdot 10^9 \text{ см}^{-2}$, в зернах второго типа – $3.9 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$ и в зернах третьего типа – $1.4 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$. Средняя величина скалярной плотности дислокаций в УМЗ-никеле после проведенной РКУП составляет $1.3 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$. Это означает, что самым высоким значением скалярной плотности дислокаций обладают зерна, содержащие хаотически распределенные дислокации или сетчатую субструктуру.

Установлено, что РКУП привело к образованию в УМЗ-никеле частиц вторых фаз, а именно, Ni_4N , Ni_3C , NiO и Ni_2O_3 . Частицы фазы Ni_4N располагаются, в основном, по границам зерен, обладают округлой формой и размером $\sim 5\text{-}8$ нм. Частицы фазы Ni_3C также располагаются по границам зерен, но имеют пластинчатую форму, а их средний размер составляет 10×80 нм. Частицы фазы NiO обнаружены только в стыках зерен. Форма этих частиц близка к округлой, их размер – от 10 до 20 нм. Частицы фазы Ni_2O_3 находятся внутри зерен, преимущественно на дислокациях. Это частицы округлой формы, размер которых не превышает 10 нм. Образование наноразмерных частиц вторых фаз связано с методом приготовления УМЗ-никеля. Дело в том, что в ходе РКУП дислокации активно захватывают примеси внедрения и выносят их на границы зерен. Большое количество точечных дефектов и их высокая плотность ускоряют диффузионные процессы. Сильно деформированный металл дополнительно захватывает примеси из окружающей атмосферы. Вследствие этого в ходе РКУП в УМЗ-никеле и формируются частицы вторых фаз, причем, как стабильные (NiO и Ni_2O_3), так и малостабильные (Ni_4N и Ni_3C). Расположенные на границах и в стыках зерен они препятствуют перемещению границ и тем самым стабилизируют структуру.

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