

Влияние комбинированного деформационного воздействия на микроструктуру и микротвердость алюминия*

К.В. Гриняев¹, И.А. Дитенберг¹

¹ *Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск, Россия*

Представлены результаты исследования влияния комбинированного деформационного воздействия, включающего механическую активацию и последующую консолидацию кручением под давлением, на микроструктуру и микротвердость алюминия. В сечении, перпендикулярном плоскости наковален, наблюдается формирование анизотропного состояния в виде субмикроструктурной полосовой структуры, фрагментированной на субзерна. Выявлено два типа высокодефектного состояния: субмикроструктурные зерна с кривизной кристаллической решетки до нескольких десятков град/мкм и нанокристаллические зерна с двойниками наноразмерной толщины. Таким образом, после комбинированного деформационного воздействия структурное состояние алюминия является сложным структурным композитом. Установлено, что существенное повышение значений микротвердости в центральной и периферийной части образца-диска после консолидации обеспечивается формированием высокодефектного состояния в прекурсор порошка алюминия на стадии механической активации.

Ключевые слова: алюминий, механическая активация, кручение под давлением, микроструктура, микротвердость.

Введение

Метод кручения под высоким квазигидростатическим давлением (КПД) широко известен как один из эффективных способов интенсивного деформационного воздействия для формирования в металлических материалах субмикроструктурных (СМК) и нанокристаллических (НК) состояний [1–12]. Другим не менее важным достоинством данного метода является возможность его применения для консолидации различных порошков металлов и их смесей, в том числе после механической активации [1, 5–12]. Среди актуальных вопросов при использовании комплексного деформационного воздействия, включающего механическую активацию с последующей консолидацией кручением под давлением, по-прежнему остается выявление особенностей трансформации структурно-фазового состояния и комплекса физико-механических свойств в металлических системах разного класса. Кроме того, немаловажным является изучение влияния условий деформационного воздействия на процессы структурной трансформации, что представляет интерес при разработке новых технологий получения и обработки металлических материалов.

В настоящей работе проведено исследование влияния предварительной механической активации на микроструктуру и микротвердость алюминия, консолидированного методом кручения под давлением.

Материалы и методика исследования

В работе использован порошок алюминия (99.99%, марки ПА-ВЧ) и смесь из этого порошка с 0.05 вес.% С. Механическая активация (МА) в планетарной шаровой мельнице Retsch PM400 проводилась в среде аргона при 400 об/мин. В качестве мелющих тел использованы стальные шары в соотношении 10:1. Время обработки составляло 5 ч.

Консолидация порошка и прекурсоров проведена методом кручения (5 оборотов) под давлением (4 ГПа) при комнатной температуре. Получены образцы в форме дисков толщиной $h \approx 0.2$ мм и диаметром 8 мм.

Исследование микроструктуры методами просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) проведено с использованием Philips CM 30 TWIN при ускоряющем напряжении 300 кВ. Методика приготовления тонких фольг в сечении, перпендикулярном плоскости наковален, и методика темнопольного анализа разориентировок подробно представлены в работах [13, 14] соответственно.

Микротвердость (HV) определялась методом Виккерса на приборе «Neophot 21» при нагрузке 0.5 Н с выдержкой не менее 15 с. Измерения проведены в сечении, перпендикулярном плоскости наковален. Для определения среднего значения выполнено не менее 10 измерений.

* Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, тема FWRW-2021-0008.