

Особенности структурно-фазовой трансформации порошка Ti в условиях высокоэнергетической механической активации*

Д.А. Осипов¹, И.А. Дитенберг¹, К.В. Гриняев¹

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

Методом рентгеноструктурного анализа выявлены особенности фазовой трансформации порошка титана в условиях высокоэнергетической механической активации. Установлено, что на фоне наноструктурирования в условиях высокоэнергетической механической активации исходного α -Ti происходит формирование наноразмерных фаз β -Ti и ω -Ti. В результате полнопрофильного анализа выявлено, что после обработки продолжительностью 1 мин формируется до 13% β -Ti и около 2% ω -Ti. Обработка продолжительностью 5 мин характеризуется увеличением объемных долей β -Ti и ω -Ti до 17 и 7% соответственно. Высказано предположение о том, что возможность стабилизации наноразмерной фазы β -Ti является следствием увеличения относительного вклада поверхностной энергии в свободную энергию.

Ключевые слова: титановый порошок, высокоэнергетическая механическая активация, рентгеноструктурный анализ, фазовая трансформация.

Введение

Сложившаяся к настоящему времени классификация сплавов на основе титана базируется на его фазовом составе, определяемом спецификой полиморфных превращений [1–4]. При этом хорошо известно, что помимо температурного воздействия фазовая трансформация титана может быть реализована в условиях больших пластических деформаций [1–7]. В частности, в условиях кручения под давлением обнаружено формирование ω -фазы [5–7], которая является метастабильной в рамках равновесной диаграммы состояний. Синхротронные исследования фазовой трансформации титана в условиях высоких давлений позволили обнаружить формирование фаз с искаженными ОЦК- и ГПУ-решетками [3, 8, 9]. Более того, на основе данных синхротронного исследования и теоретического анализа показана возможность перехода титана под высоким давлением в β -фазу (ОЦК) [3].

В настоящей работе методом рентгеноструктурного анализа проведено исследование фазовых трансформаций в порошке титана в условиях высокоэнергетической механической активации.

Материалы и методика исследования

Порошок Ti (99.9%, марки ПТОМ-2) был подвергнут высокоэнергетической механической активации (МА) продолжительностью 1 и 5 мин в планетарных шаровых мельницах АГО-2 с водяным охлаждением. Аналогично работе [10], в качестве мелющих тел использованы стальные шары диаметром 8 мм. Масса шаров в каждом из двух барабанов составляла 200 г. Масса обрабатываемого порошка в каждом барабане составляла 10 г. Центробежное ускорение шаров – 400 м/с² (40g). Для предотвращения окисления обработку и выгрузку образцов осуществляли в атмосфере аргона.

Исследование методом рентгеноструктурного анализа (PCA) проведено на дифрактометре «Shimadzu XRD 6000» с использованием CuK_α -излучения. В результате полнопрофильного анализа на основе метода Ритвельда с использованием программных продуктов Powder Cell 2.4 и «Match!», а также баз данных PDF-4 (The Powder Diffraction File 4) определены фазы, их параметры решеток, размеры областей когерентного рассеяния (ОКР) и уровень микроискажений (ϵ). Достоверность рентгенопрофильного анализа определяли путем расчета R_p -фактора [11]. Разделение вклада в уширение дифракционных максимумов при определении размеров ОКР и уровня микроискажений ($\epsilon = \Delta d/d$) проведено путем построения графических зависимостей Вильямсона – Холла [12]. Объемные доли фаз Ti оценены с учетом их кристаллографического строения.

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