

М.Г. ИСАЕНКОВА, О.А. КРЫМСКАЯ, В.А. ФЕСЕНКО,
М.И. ПЕТРОВ, И.В. КОЗЛОВ
*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
г. Москва, Российская Федерация
e-mail: MGIsaenkova@mephi.ru*

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКОЙ ТЕКСТУРЫ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ С ПОМОЩЬЮ СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Кристаллографическая текстура является чувствительным индикатором всех процессов, протекающих в материалах при пластической деформации, термообработке и эксплуатации, а также определяет анизотропию их свойств. В настоящее время развитие методов растровой электронной микроскопии (РЭМ) и дифракции синхротронного излучения (СИ) позволяют существенно упростить трудоемкую процедуру текстурного анализа с использованием традиционного рентгеновского метода (РМ), основанного на результатах съемки образца «на отражение». Перечисленные методы характеризуют разные объемы материала, находящиеся либо в поверхностном слое толщиной менее 0,1 мкм (РЭМ) или 10-20 мкм (РМ). Синхротронные методы позволяют исследовать фольги толщиной 120-150 мкм (СИ). Сопоставление разных данных [1, 2] позволяет не только обнаружить различия, но и установить закономерности развития текстуры в результате различных процессов, протекающих в разных объемах деформированного материала при повышении температуры отжига.

Синхротронные методы позволяют перейти на новый уровень использования дифракционных методов для исследования внутренней структуры конструкционных и функциональных материалов. Эти методы способствуют повышению статистической значимости и чувствительности анализа к появлению дополнительных фаз, находящихся в материале в малых количествах, но существенно сказывающихся на его физико-механических свойствах. В качестве объектов исследования были выбраны циркониевые трубы (оболочки, канальные трубы и направляющие каналы) из разных сплавов и в разных структурных состояниях. Проведен анализ структуры оболочечных труб с защитным хромовым покрытием, циркониевых сплавов Zr-Nb-Ti, обладающих эффектом сверхупругости благодаря протеканию мартенситных превращений под нагрузкой, а также монолитных изделий из никелевого сплава ЭП648, полученных путем селективного лазерного сплавления порошка.

Для повышения эффективности и безопасности работы реакторов на тепловых нейтронах, составляющих на данный момент основную долю

ядерных энергетических установок, критическим оказывается низкая коррозионная стойкость циркониевых оболочечных труб при повышенных температурах, а также в аварийных ситуациях, т.е. при температурах 1100-1200 °С. Создание оболочек твэлов с повышенными механическими свойствами, устойчивых в условиях штатной работы активной зоны и при кратковременном перегреве, является актуальной задачей современного развития легководных реакторов на тепловых нейтронах наряду с разработкой более эффективного топливного материала. Поэтому одной из задач данной работы было выявление структуры слоя, формирующегося при высокотемпературных отжигах между циркониевой оболочкой и защитным хромовым покрытием, и анализ его устойчивости при повышении температуры отжига от 400 до 1100-1150 °С. Другой важной задачей данного исследования является развитие модели прогнозирования поведения конструкционных материалов в экстремальных условиях на основе расчета физико-механических свойств изделий с учетом их субструктуры и кристаллографической текстуры [3].

Развитие методов текстурного анализа при использовании синхротронного излучения необходимо для последующего перехода от метода дифракции обратно рассеянных электронов (EBSD-метода), используемого для поверхностных слоев толщиной 0,1 мкм, к построению карт распределения ориентации зерен внутри объема материала (120-150 мкм). В случае использования синхротронных пучков малого размера возможен переход к сканированию образца и визуализации зерен в его объеме. Получение информации о распределении зерен по ориентации, их субструктурном состоянии и размерах позволяет перейти на новый уровень прогнозирования физико-механических свойств материала [3].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российской Федерации в лице Министерства науки и высшего образования РФ (Соглашение № 075-15-2021-1352).

Использованная литература

1. Isaenkova M.G., Krymskaya O. A., Klyukova K.E., Bogomolova A.V., Dzhumaev P.S., Kozlov I.V., Fesenko V.A. Comparison of the texture analysis results of zirconium alloys according to the data of backscattered electron diffraction and X-ray radiation of different power // Letters on Materials, 2023, 13(4), 341-346.
2. Isaenkova M., Krymskaya O. A., Klyukova K.E., et al. Regularities of Changes in the Structure of Different Phases of Deformed Zirconium Alloys as a Result of Raising the Annealing Temperature According to Texture Analysis Data // Metals, 2023, 13(10), 1784. <https://doi.org/10.3390/met13101784>.
3. Isaenkova M. G., Krymskaya O. A. Effect of substructural inhomogeneity on the anisotropy of physical and mechanical properties of textured materials // Tsvetnye Metally, 2022, 10, 13-18.