

ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ РОССИЙСКИХ ЦИРКОНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПРИ ПОВЫШЕНИИ В НИХ КОНЦЕНТРАЦИИ ВОДОРОДА

М.И. Петров, М.Г. Исаенкова*, В.А.Фесенко, А.В. Богомолова, Н.А. Михалёв,
Р.О. Егорочкин, И.В. Козлов

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

** E-mail: isamarg@mail.ru*

Циркониевые сплавы отличаются высокими механическими свойствами, коррозионной стойкостью и низким сечением поглощения нейтронов, что предопределяет их широкое использование в качестве конструкционного материала в активной зоне ядерных реакторов на тепловых нейтронах. Учитывая необходимость повышения длительности эксплуатации циркониевых изделий с одновременным ужесточением требований к безопасности ядерных энергетических установок, а также безопасности последующей транспортировки и продолжительного хранения ТВС, актуальными являются вопросы влияния гидридов на эксплуатационные свойства изделий в условиях их насыщения водородом.

В работе исследовано поведение гидридной фазы в наводороженных трубах из отечественных циркониевых сплавов Э635 и Э110 опт в зависимости от концентрации водорода. Анализ ориентации и доли мезомасштабных гидридов в матрице из указанных сплавов проводился по металлографическим снимкам при помощи разработанного программного обеспечения. Выполнена оценка коэффициентов ориентации гидридов в осевом сечении труб, а также плотности гидридной фазы на единицу площади для различных концентраций водорода. Показано, что в сплаве Э110 повышение концентрации водорода до 600-700 wrpm способствует увеличению числа гидридов, ориентированных радиально, что может быть связано с развитием сжимающих радиальных напряжений при образовании на начальных этапах тангенциально ориентированных гидридов в соответствии с текстурой α -фазы.

По результатам синхротронного анализа дебаевских колец и рентгеновской дифракции на отражение выявлены закономерности формирования структуры и текстуры циркониевой матрицы и гидридов при различных концентрациях водорода в материалах труб Э110опт и Э635. Проведенные рентгеноструктурные исследования показали, что повышение концентрации водорода в оболочечных трубах из сплава Э110опт от 50 до 600-700 wrpm приводит к изменению ориентации базисных нормалей α -циркония, в результате чего интегральный текстурный f_R -параметр увеличивается, а f_T и f_L -параметры уменьшаются. Такое изменение связано с активизацией двойникования в зернах, базисные нормали которых отклонены от направления сжимающих напряжений на угол до 90 град вследствие усиления радиальных сжимающих напряжений.

Установлено, что в сплаве Э635 преимущественно формируются гидриды с ориентацией $\{001\}\langle 110 \rangle$, но также в меньшем количестве присутствуют гидриды с дополнительными ориентациями $\{110\}\langle 011 \rangle$ и $\{110\}\langle 112 \rangle$. В сплаве же Э110 опт примерно в равных долях присутствуют гидриды с ориентациями $\{001\}\langle 110 \rangle$ и $\{110\}\langle 011 \rangle$, а также $\langle 112 \rangle$. Наличие гидридов с частично аксиальной текстурной компонентой $\langle 112 \rangle$ обусловлено активизацией в α -фазе двойникования по плоскостям $\{10\bar{1}2\}$ и $\{10\bar{1}1\}$, в которых и образуются гидриды в соответствии с установленным ориентационным соотношением $(0001)_{\alpha-Zr} \parallel \{111\}_{\delta-ZrH_{1.66}}$.

Благодарности:

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

Авторы выражают благодарность за предоставление образцов для исследования АО «ВНИИНМ» им. А.А. Бочвара и его сотрудникам Плясову А.А. и Сабурову Н.С.