

Texture of zirconium alloys for nuclear industry

Due to excellent mechanical properties, corrosion resistance and low neutron absorption, Zr-Nb alloys are widely used in nuclear reactor designs. However, a crystallographic preferred orientation — a crystallographic texture — is formed in these alloys during the processes of thermomechanical treatment. It determines the anisotropy of the physical properties (elastic, plastic, thermal, etc.) of products, and also affects the mechanisms of their degradation: for example, the preferred orientation of hydride precipitates, radiation creep, or swelling.

Thermal neutron diffraction is a unique non-destructive method that makes it possible to study the crystallographic texture of bulk samples with linear dimensions of ~ several cm. At FLNP JINR, this method is implemented on a specialized time-of-flight diffractometer SKAT.

Investigation of samples from several batches of pressure tubes (diameter 100 mm, wall thickness 4 mm) made of Zr-2.5%Nb alloy using a multi-stage process (extrusion at 800°C, air cooling down to room temperature, cold-pilger rolling and final ther-

Fig. 1

a) Схематичный вид трубы из Zr-2.5%Nb сплава и макроскопическая система координат. b) Микроструктура сплава, ПЭМ [2]. c) 684 измеренных (нижняя половина) и 684 уточнённых модельных дифракционных спектров образца (верхняя половина). d) Некоторые полюсные фигуры Zr-2.5%Nb в образце.

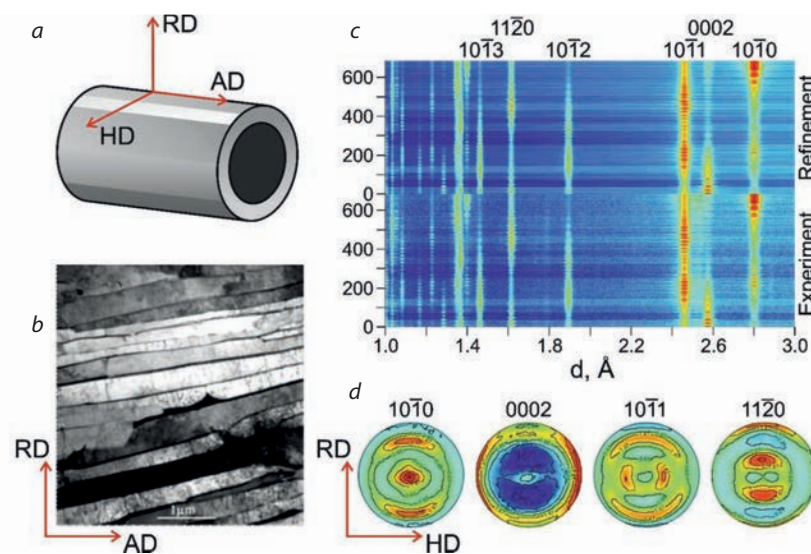


Рис. 1

a) Scheme of the Zr-2.5%Nb alloy pressure tube and the macroscopic coordinate system. b) Alloy microstructure, TEM [2]. c) 684 experimental (lower half) and 684 model refined (upper half) diffraction patterns for the sample. d) Several Zr-2.5%Nb pole figures in the sample.

Текстура циркониевых сплавов для атомной промышленности

Благодаря отличным механическим свойствам, коррозионной стойкости и низкому поглощению нейтронов, сплавы Zr-Nb широко применяются в конструкциях ядерных реакторов. Однако в ходе процессов термомеханической обработки в этих сплавах формируется преимущественная ориентация зёрен — кристаллографическая текстура. Она обуславливает анизотропию физических свойств (упругих, пластических, тепловых и др.) изделий, а также влияет на механизмы их деградации: например, преимущественную ориентацию преципитатов гидридов, радиационную ползучесть или распухание.

Дифракция тепловых нейтронов является уникальным неразрушающим методом, позволяющим исследовать кристаллографическую текстуру объёмных образцов с линейными размерами порядка нескольких сантиметров. В ЛНФ ОИЯИ этот метод реализован на специализированном времяпролётном дифрактометре SKAT.

Изучение образцов из нескольких серий труб высокого давления (диаметр 100 мм, толщина стенок 4 мм), изготовленных из сплава Zr-2.5%Nb с помощью многоэтапного процесса (экструзия при 800°C, охлаждение на воздухе до комнатной температуры, холодная пилигримо-

mal treatment at 400°C for 24 hours) showed that a strong one-component texture is formed in the tubes with the preferred orientation of $\{10\bar{1}0\}$ crystallographic planes along the axial direction of the tube, and (0001) planes tangential to the tube surface [1] (Fig. 1). The texture component is very narrow relative to the angles φ_1 (half-width of the distribution is, on average, $\approx 8.8^\circ$) and φ_2 ($\approx 7.7^\circ$); relative to the angle Φ , the distribution of orientation intensity is much broader ($\approx 35.2^\circ$) (Fig. 2). In general, the texture characteristics in tubes from different batches do not change much. However, the samples from the front part of the tubes show a less sharp texture than the samples from the back

part of the tubes: the texture indices are 6.5 and 7.8, respectively.

Comparison of these results with data obtained with neutron diffractometers at other research centers shows the high precision of texture measurements by the neutron diffraction method. For example, the typical uncertainty in texture index values is about 5%, the uncertainty in the angular position of the texture component is about 1%, and about 2% in its angular width. Features of the neutron diffraction texture analysis on the SKAT diffractometer and examples of typical problems being solved are given in a recent review [2].

Fig. 2

a) Схематичный вид преимущественной ориентации кристаллитов в Zr-2.5%Nb сплаве. b) Распределение ориентационной интенсивности в ориентационном пространстве. c) Сечения распределения ориентационной интенсивности вдоль углов φ_1 и Φ в различных образцах из начальной и конечной частей труб.

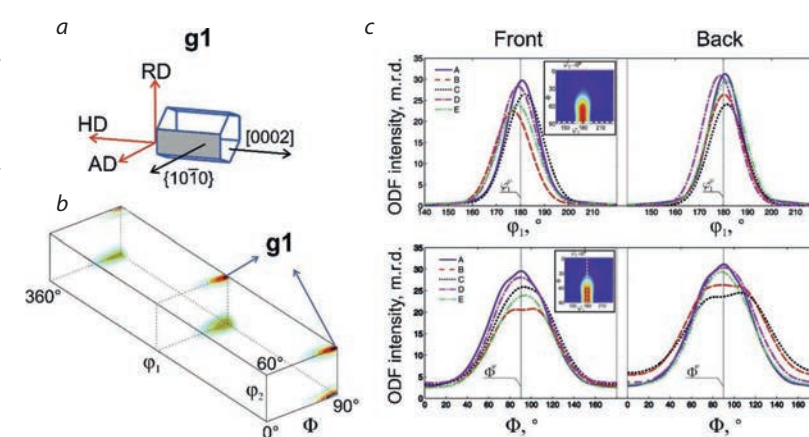


Рис. 2

a) Scheme of the preferred orientation of crystallites in the Zr-2.5%Nb alloy. b) Distribution of the orientation intensity in the orientation space. c) Sections of the distribution of the orientation intensity along φ_1 and Φ angles in different samples from the front and back parts of tubes.

вая прокатка и выдержка при 400°C в течение 24 часов) показало, что в них формируется острая однокомпонентная текстура с преимущественной ориентацией кристаллографических плоскостей $\{10\bar{1}0\}$ вдоль аксиального направления трубы, а плоскостей (0001) — касательно к поверхности трубы [1] (Рис. 1). Текстурная компонента очень узкая относительно углов φ_1 (полуширина распределения в среднем $\approx 8.8^\circ$) и φ_2 ($\approx 7.7^\circ$), относительно угла Φ распределение ориентационной интенсивности намного шире ($\approx 35.2^\circ$) (Рис. 2). В целом, характеристики текстуры в трубах из различных серий практически не изменяются. Однако образцы из начальной части труб демонстрируют менее острую текс-

туру, чем образцы из конечной части труб: текстурный индекс равен 6.5 и 7.8, соответственно.

Сравнение этих результатов с данными, полученными на нейтронных дифрактометрах в других исследовательских центрах, показывает высокую точность измерений текстуры нейтронографическим методом. Так, типичная неопределённость измерения текстурного индекса составляет около 5%, угловой позиции текстурной компоненты — около 1%, её ширины — около 2%. Особенности нейтронографического текстурного анализа на дифрактометре SKAT и примеры решаемых научных задач приведены в свежем обзоре [2].