

ПАРАМЕТРЫ КЕРНСА И ОДНОРОДНОСТЬ ТЕКСТУРЫ ПО ТОЛЩИНЕ СТЕНКИ ТРУБ ИЗ СПЛАВА Zr1Nb, ИЗГОТОВЛЕННЫХ В УКРАИНЕ

Г.М. Воробьев, В.С. Вахрушева, О.А. Коленкова

Государственный трубный институт им. Я.Е. Осады, г. Днепропетровск, Украина

Методами рентгеновской съемки исследована текстура труб из сплава Zr1Nb. Определена преимущественная ориентация базисных нормалей.

Согласно [1] неблагоприятная ориентация кристаллитов в трубах из циркониевых сплавов, работающих в условиях повышенной радиации, приводит к повышенному водородному растрескиванию, радиационной ползучести и росту.

Для прогнозирования эксплуатационного поведения труб из циркониевых сплавов их текстурное состояние количественно характеризуется параметрами Кернса (F-параметрами), которые определяются по полной полюсной фигуре (0001).

Однако такая характеристика не будет однозначной, если текстура по толщине стенки трубы неоднородна.

В связи с этим в настоящей работе исследовали текстуру и ее однородность на производимых в Украине трубах $\varnothing 9,13 \times 0,7$ мм из циркониевого сплава Zr1Nb в отожженном состоянии. Для исследований текстуры использовали методы рентгеновской съемки, применяемые для построения прямых и обратных полосных фигур [2].

Рассматривали дифрактограммы, снятые с составных образцов, плоскость которых была перпендикулярна оси трубы (рис. 1,а) и тангенциальному направлению (см. рис. 1,б), а также полученные с выпрямленных отрезков трубы, химически сполированных с одной поверхности на различную глубину вплоть до середины толщины стенки (см. рис. 1,в).

Для сравнения использовали дифрактограмму эталона – отожженного при температуре 1000°C порошка сплава Zr1Nb, напильного из исследуемой трубы (см. рис. 1,г).

Сравнение текстурогаммы (см. рис. 1,а) с дифрактограммой эталона свидетельствует о том, что по максимальной интенсивности дифракционных максимумов обе дифрактограммы отличаются незначительно. Максимальная относительная интенсивность на текстурогамме см. рис. 1,а) наблюдается для первого дифракционного максимума (при счете справа налево) и составляет 0,95 интенсивности соответствующего максимума эталона.

Из этого можно заключить, что перпендикулярно оси трубы кристаллиты не ориентируются преимущественно какой-либо кристаллографической плоскостью. Следовательно, ориентировку кристаллов здесь можно считать близкой к беспорядочной.

Совсем иной вывод следует из сравнения текстурогаммы образца (см. рис. 1,б) с эталонной: первый и пятый максимумы больше по интенсивности соответственно в 6,8 и 5,3 раза, чем на дифрактограмме эталона. Эти максимумы соответствуют отражениям от плоскостей $(10\bar{1}0)$ и $(11\bar{2}0)$.

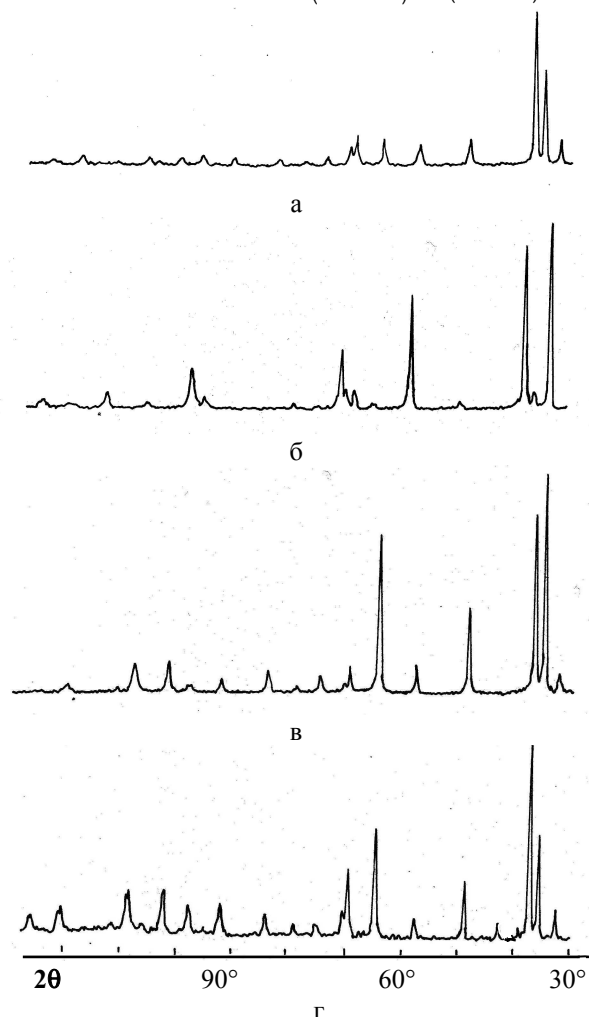


Рис. 1. Текстурогаммы трубы $\varnothing 9,13 \times 0,7$ мм из циркониевого сплава Zr1Nb – съемка с плоскости, перпендикулярной: а – оси трубы; б – тангенциальному направлению; в – радиусу; г – текстурогамма эталона

Высокая интенсивность отражений от плоскостей, нормали к которым лежат в базисной плоскости (0001), дает основание считать, что этой плоскостью кристаллиты должны ориентироваться параллельно стенке трубы, а нормали к плоскости (0001) при этом должны совпадать с радиусом трубы.

Эти соображения полностью подтверждаются сравнением текстурограммы (см. рис. 1,в) с эталоном. Дифракционный максимум (0002) этой текстурограммы в 2,1 раза выше, чем у эталона. Это свидетельствует о том, что кристаллиты ориентируются базисной плоскостью параллельно стенке трубы. В то же время на текстурограммах рис.1,а и 1,б интенсивности максимумов (0002) меньше, чем у эталона, соответственно в 1,2 и 5,9 раз. Поэтому можно считать, что кристаллы циркония не ориентируются базисной плоскостью перпендикулярно оси трубы и особенно ее тангенциальному направлению.

На рис. 1,б наблюдается высокая интенсивность дифракционных максимумов $(10\bar{1}0)$ и $(11\bar{2}0)$ и очень низкая (0001). На основании этого можно заключить, что деформация в трубах из циркониевого сплава Zr1Nb происходит преимущественно в тангенциальном направлении.

Дифрактограммы рис. 1,а,б,в,г были получены на дифрактометре ДРОН-4 в монохроматизированном медном излучении. Монохроматизация выполнялась с помощью изогнутой монокристаллической пластинки графита. Отраженные от исследуемого образца дифракционные рентгеновские лучи попадали на изогнутую монокристаллическую пластинку графита и после монохроматизирующего отражения фокусировались на щели гониометра, расположенной перед сцинтилляционным счетчиком. Благодаря такой монохроматизации резко снижается уровень фона, и достигается высокое качество регистрации дифрактограмм (большое отношение интенсивности дифракционных максимумов к уровню фона), а также возможность выявления очень слабых отражений рентгеновских лучей.

Первичный пучок рентгеновских лучей формировался двумя щелями шириной 1 мм. Перед счетчиком стояла щель шириной 0,25 мм. Скорость движения счетчика составляла 2 град/мин.

Для получения полной полюсной фигуры (0001) использовали съемку дифрактограмм методом наклона [2].

В работе [1] для определения полной полюсной фигуры (0001) циркониевых труб рекомендуется использовать следующие способы.

1. Определение частичной полюсной фигуры с угловым радиусом до 70° по результатам съемки текстурограммы с плоскости трубы, перпендикулярной ее радиусу, с последующей экстраполяцией контуров, равной полюсной плоскости в пределах внешнего пояса полюсной фигуры, исходя из известного распределения базисных нормалей и дополнительного построения центральных частей полюсных фигур для призматических плоскостей.

2. Изготовление и съемка образцов с плоскостей, перпендикулярных радиусу, оси и тангенциальному направлению трубы, с построением частич-

ных полюсных фигур и последующей «сшивкой» их в полную полюсную фигуру.

3. Изготовление тонкой фольги из трубы путем химического или электролитического травления для получения на ней текстурограмм съёмкой «на просвет» и на отражение с построением частичных полюсных фигур и «сшивкой» внешней и внутренней частей полной полюсной фигуры.

4. Определение по нескольким частичным полюсным фигурам функции распределения ориентаций в трубе и использование её для построения полной полюсной фигуры.

Кроме отмеченных в [1] недостатков каждого из предложенных способов нахождения полной полюсной фигуры имеется еще один общий источник погрешностей всех перечисленных методов: их можно применять только в случае однородного распределения текстуры по толщине стенки трубы, что наблюдается только в довольно редких случаях. Обычно на поверхности прокатанного листа или трубы текстура более рассеянная, чем в середине.

При определении полной полюсной фигуры по второму методу частичные полюсные фигуры, описывающие периферийную часть полюсной фигуры, будут соответствовать усредненной по толщине стенки текстуре. В этом методе центральная часть полной полюсной фигуры будет соответствовать не усредненной по толщине стенки трубы текстуре, а текстуре, отвечающей только определенному слою стенки.

Кроме отличия рассеяния текстуры поверхностных и срединных слоев трубы при горячей прокатке может наблюдаться изменение плоскости симметрии полюсной фигуры при удалении от середины толщины прокатываемого металла к его поверхности. В результате этого при определении параметров Кернса могут появляться весьма значительные ошибки.

В первом и третьем методах полная полюсная фигура соответствует только определенной плоскости, параллельной поверхности трубы. Поэтому расчеты F-параметров по ней могут быть весьма неточными, и для нахождения математической погрешности таких измерений необходимо исследование неоднородности текстуры по толщине стенки.

Такие же ошибки будут иметься в описанном в [1] способе определения F-параметров по обратным полюсным фигурам, построенным для сечений трубы, перпендикулярных радиальному, осевому и тангенциальному направлениям. Обратная полюсная фигура для плоскости, перпендикулярной радиальному направлению, может быть построена только для определенного тонкого слоя, параллельного поверхности трубы.

Полностью исключить влияние неоднородности текстуры по толщине стенки трубы возможно в методе, при котором выпрямленные отрезки трубы собираются в пакет и срезаются так, чтобы нормаль к плоскости среза составляла с радиальным, осевым и тангенциальным направлениями угол $54,7^\circ$.

В этом случае с такого образца записывается текстурограмма в пределах высокой точности реги-

страции отраженных рентгеновских лучей (углы наклона $0 \dots 70^\circ$), и по ней можно с высокой точностью построить полную полюсную фигуру, усредненную по всей толщине стенки трубы.

Такой способ определения полной полюсной фигуры с последующим расчетом по ней параметров Кернса может быть воспроизведен без существенных математических погрешностей различными исследованиями при ошибках в порезке трубы не более $\pm 2^\circ$.

Однако операция формирования плоскости среза с одинаковым наклоном к основным направлениям трубы требует плотного соединения выпрямленных кусочков трубы в пакете, что довольно трудно реализовать на практике. Поэтому в настоящей работе использовался второй из описанных в [1] способов с дополнительной проверкой однородности текстуры по толщине трубы.

На рис. 2 показаны текстурogramмы, снятые с плоскости, перпендикулярной радиусу, с выпрямленных отрезков трубы, химически сполированных с одной стороны на различную глубину (0,03, 0,15, 0,28, 0,33 мм) вплоть до середины толщины стенки.

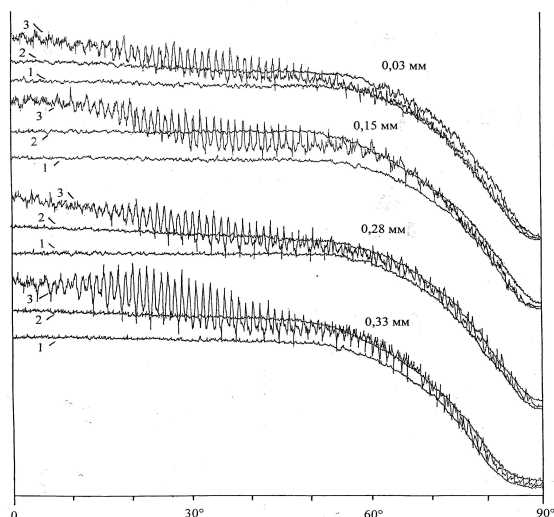


Рис. 2. Текстурogramмы, снятые с плоскости, перпендикулярной радиусу трубы $\varnothing 9,13 \times 0,7$ мм из циркониевого сплава Zr1Nb. Съёмка по методу Шульца. (1 – линия фона; 2 – текстурogramма эталона; 3 – текстурogramма образца)

Эти текстурogramмы представляют собой изменение интенсивности отражения (0002) при наклоне плоскости, параллельной поверхности трубы, по отношению к плоскости первичного и отраженного лучей от 0 до 90° . Практическая тождественность всех текстурogramм свидетельствует о высокой степени однородности текстуры в исследуемых трубах.

Как видно из рис 2, наибольшая интенсивность отраженных лучей соответствует центральной части полюсной фигуры, когда поверхность трубы перпендикулярна плоскости первичного и отраженного лучей. Наибольшие максимумы наблюдаются на текстурogramмах при углах наклона от 0 до 50° вследствие вращения образца вокруг наклоняемой

оси, однако при возрастании угла наклона выше 45° высота максимумов монотонно уменьшается.

По текстурogramмам и частичным полюсным фигурам (см. рис. 2), построенным по результатам рентгеновской съёмки образцов, составленных из выпрямленных отрезков, срезаемых перпендикулярно осевому и тангенциальному направлениям, была получена полная полюсная фигура (рис. 3).

Анализ этой полюсной фигуры свидетельствует о том, что базисные нормали сконцентрированы в шаровом поясе полюсной фигуры, плоскость которого параллельна радиальному направлению. В области тангенциального направления плотность полюсов минимальна. По мере приближения этого пояса к осевому направлению плотность базисных нормалей снижается.

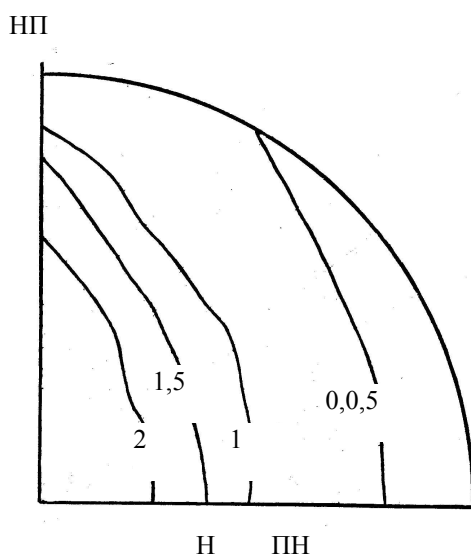


Рис. 3. Полная полюсная фигура. Труба $\varnothing 9,13 \times 0,7$ мм из циркониевого сплава Zr1Nb

Полюсную фигуру (см. рис. 3) можно описать в основном как аксиальную с осью, параллельной тангенциальному направлению. Однако на эту аксиальную текстуру накладывается вторая аксиальная текстура с осью [0001], параллельной радиальному направлению, причем рассеяние этой текстуры можно представить наклоном в направлении оси трубы до 50° с постепенным снижением плотности базисных полюсов по мере увеличения угла наклона.

При этом, как следует из рис. 1, осьми текстуры, параллельными тангенциальному направлению, являются $[10\bar{1}0]$ и $[11\bar{2}0]$ и, по-видимому, все остальные направления, расположенные в базисной плоскости между $[10\bar{1}0]$ и $[11\bar{2}0]$.

Расчет параметров Кернса по этой полюсной фигуре дал следующие значения проекций базисных нормалей: на радиальное направление – $F_R = 0,43$, на тангенциальное – $F_T = 0,25$, на осевое – $F_L = 0,32$. Таким образом, базисные нормали преимущественно ориентированы вдоль радиального направления трубы, что является благоприятным для ориентации

выделений гидридов перпендикулярно радиусу трубы, т.е. наименее опасной ориентации.

Это подтверждается данными металлографических исследований коэффициента ориентации гидридов, который в готовых трубах $\varnothing 9,13 \times 0,7$ мм из сплава Zr1Nb составляет 0,2...0,3 (рис.4).

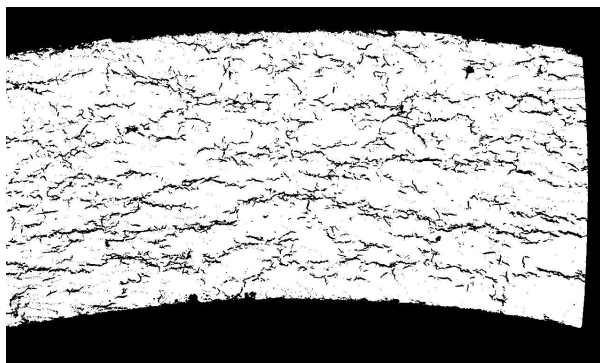


Рис.4. Распределение гидридов в готовых трубах $\varnothing 9,13 \times 0,7$ мм из сплава Zr1Nb, $\times 75$

Гидриды циркония ориентируются габитусными плоскостями параллельно плоскости (0001) [3], что подтверждает правильность результатов текстурных исследований.

ПАРАМЕТРИ КЕРНСА ТА ОДНОРІДНІСТЬ ТЕКСТУРИ ПО ТОВЩИНІ СТІНКИ ТРУБ ІЗ СПЛАВУ Zr1Nb, ВИГОТОВЛЕНИХ В УКРАЇНІ

Г.М. Воробйов, В.С. Вахрушева, О.А. Коленкова

Методами рентгенівського знімання досліджена текстура труб із сплаву Zr1Nb. Визначена переважна орієнтація базисних нормалів.

KERNS PARAMETERS AND THE TEXTURE HOMOGENEITY ON THE WALL OF ALLOY Zr1Nb TUBES, FABRICATED IN UKRAINE

G. M. Vorobiev, V.S. Vakhrisheva, O.A. Kolenkova

The texture of alloy Zr1Nb tubes is investigated by the method of X-ray survey. The preference orientation of basic normal is determined.

ВЫВОДЫ

Исследована текстура изготовленных в Украине труб $\varnothing 9,13 \times 0,7$ мм из сплава циркония Zr1Nb. Исследования показали, что текстура достаточно однородна по сечению трубы. Это позволило с повышенной точностью рассчитать параметры Кернса, которые свидетельствуют о преимущественной ориентации базисных нормалей вдоль радиального направления трубы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю.А. Перлович, М.Г. Исаенкова. Структурная неоднородность и распределение остаточных микро- и макронапряжений в прокатных сплавах на основе циркония: новые подходы на базе современной рентгеновской дифрактометрии и компьютерной обработки результатов измерений // ВАНТ. Харьков. 1999 .
2. Г. Вассерман, И. Гревен. *Текстуры металлических материалов*. М.: «Металлургия», 1969, 563 с.
3. А.С. Займовский, А.В. Никулина, Н.Г. Решетников. *Циркониевые сплавы в атомной энергетике*. М.: «Энергоиздат», 1981.