

ПОЛЗУЧЕСТЬ СПЛАВА Zr1Nb В РАЗЛИЧНЫХ СТРУКТУРНЫХ СОСТОЯНИЯХ В ИНТЕРВАЛЕ ТЕМПЕРАТУР 300...700 К

Е.В. Карасева, Д.Г. Малыхин, А.В. Мац, В.И. Соколенко

*Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт»,
Харьков, Украина*

E-mail: vsokol@kipt.kharkov.ua

Проведены рентгеновские исследования текстуры и микроструктуры сплава Zr1Nb, прокатанного на 92 % при температурах 100 и 300 К и отожженного при температуре, соответствующей стадии первичной рекристаллизации. Установлено, что температура прокатки при больших степенях деформации не влияет на особенности полученной кристаллографической текстуры и микроструктуры. Наблюдаемое увеличение прочностных свойств и сопротивления ползучести при понижении температуры предварительной деформации объясняется структурными характеристиками других уровней, в первую очередь влиянием на процесс пластической деформации дислокационных границ, и зависит от степени их совершенства.

PACS 62.20.Hg, 61.72.Ff, 61.10.-i

Сплавы циркония широко применяются в ядерной энергетике в качестве конструкционных материалов. Необходимость дальнейшего изучения свойств этих сплавов и методов воздействия на них обусловлена требованием повышения эксплуатационных характеристик изделий для активной зоны реакторов. В этой связи представляет интерес исследование особенностей текстурообразования сплава Zr1Nb, подвергнутого большим пластическим деформациям прокаткой, поскольку рабочие характеристики материала такие, как прочность, пластичность, сопротивление ползучести, определяются, как известно, его структурным состоянием.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Слиток сплава Zr1Nb, полученный двойной дуговой плавкой, разрезали на темплеты и обрабатывали по двум схемам: 1) прокатка при температуре 300 К на 92 % (МО-1) и последующий отжиг при 850 К 1 ч (МТО-1); 2) прокатка при температуре 100 К на 92 % (МО-2) и последующий отжиг при 850 К 1 ч (МТО-2). Температура отжига соответствовала стадии первичной рекристаллизации материала.

Рентгеновские исследования текстуры и микроструктуры образцов сплава Zr1Nb после всех обработок проведены на дифрактометре ДРОН 4-07 с пропорциональным счётчиком в излучении SiK_α по схеме Брэгга-Брентано. Анализ произведен по всем существующим линиям полнопрофильных диаграмм. Текстура исследована методом обратных полюсных фигур (ОПФ) [1]. Микроструктурные характеристики – уровень однородных (межблочных) микроискажений и размеры областей когерентного рассеяния (ОКР) – определялись модифицированным методом фойгт-аппроксимаций формы рентгеновских линий [2] и моделирования графиков типа Вильямсона-Холла – $w \cdot \cos\theta$, от $\sin\theta$ [3] – для полуширины w -линий (θ – угол дифракции). Использовался разработанный алгоритм разделения микроструктурных параметров. По коши-характеру уширения линий,

пропорционального $\tan\theta$, определялся уровень неоднородных (внутриблочных) микроискажений. Испытания на ползучесть проводили в режиме ступенчатого нагружения при температурах 300...700 К, точность измерения составляла $5 \cdot 10^{-5}$ см.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 1 представлены обратные полюсные фигуры сплава Zr1Nb, обработанного по схемам МО-1,2 и МТО-1,2.

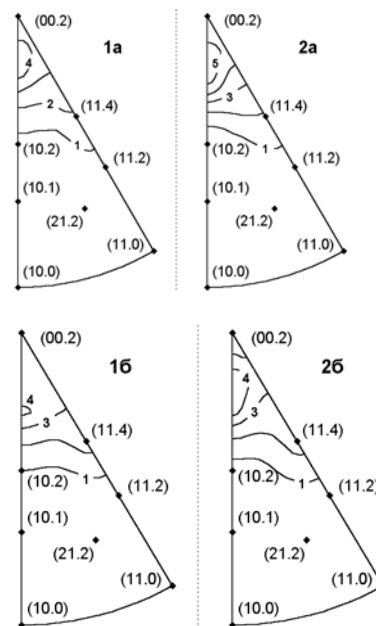


Рис. 1. Обратные полюсные фигуры сплава Zr1Nb, деформированного на 92 % при температурах 300 (1а, 1б) и 100 К (2а, 2б), измеренные после МО-1,2 (1а, 2а) и после МТО-1,2 (1б, 2б)

Для деформированных образцов характерно формирование типичной текстуры прокатки, примерно одинаковой для обеих температур деформации, причем в образце, прокатанном при 100 К, текстура выше. При отжиге текстуры отчасти рассеиваются, но подобие их сохраняется.

Известно, что при последовательном получении

больших степеней пластических деформаций (более 80 %) значительно нивелируется влияние такого параметра, как температура деформирования [4] вследствие высокого уровня искажений кристаллической решетки. Наблюдаемое сходство текстур, полученных в результате прокатки на 92 % при разных температурах, может быть обусловлено тем, что пластическое течение осуществляется за счет реализации и развития поворотных мод деформации.

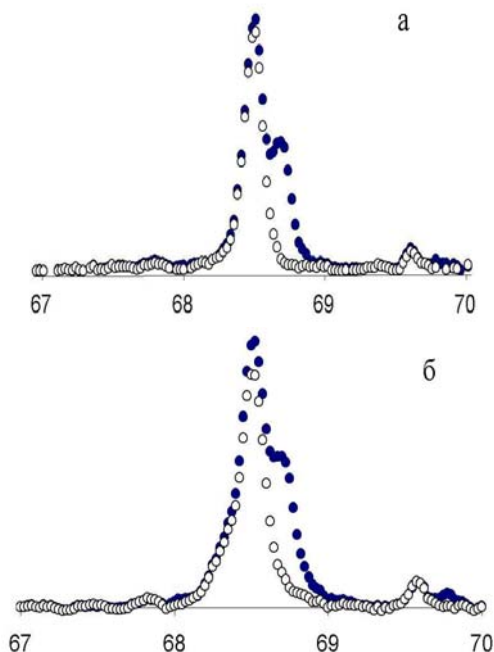


Рис. 2. Линии (11.2) дифрактограмм образцов сплава Zr-1Nb, обработанных по схеме: а – МТО-1; б – МТО-2; ● – дублет; ○ – α -синглет

На дифрактограмме образца, деформированного при 100 К, наиболее явно выражена особенность, заключающаяся в асимметрии рентгеновских линий, характер которой адекватен эффекту присутствия в материале когерентных включений фазы типа α' -Zr-Nb (рис. 2).

Согласно параметрическому моделированию графиков Вильямсона-Холла в материале после МТО-1 наблюдается однородный ансамбль ОКР с размером 90 нм. Отличительной особенностью сплава, обработанного по схеме МТО-2, является необычайно высокий размер ОКР. Это означает отсутствие явной фрагментации структуры, т.е. в условиях больших деформаций при низких температурах структура представляет собой ансамбль хаотически распределенных дислокаций. Уровень однородных микроискажений в материале после МТО-1 составляет 0,13 и 0,27 % после МТО-2. Для образцов, обработанных по схеме МТО-2, характерно сочетание примерно равных по величине однородных и неоднородных микроискажений, при этом они в 1,5 раза ниже, чем после МТО-1. В результате термообработки однородные микроискажения исчезают, а неоднородные уменьшаются на порядок. Размер ОКР в обоих образцах практически одинаков и составляет 150...160 нм.

Изучены характеристики ползучести сплава Zr1Nb в интервале температур 300...700 К после различных обработок. Предел текучести и предел прочности образцов, прокатанных при 100 К (МО-2) выше, чем после МО-1, что с учетом данных рентгеноструктурного анализа связывается с увеличением углов разориентировки дислокационных границ деформационного происхождения, характерным для больших деформаций прокаткой при низких температурах [4]. Высокоугловые границы наиболее устойчивы по отношению к пластической деформации и это приводит к повышению прочностных характеристик.

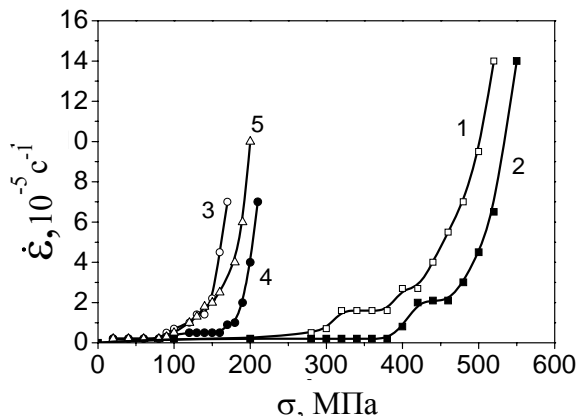


Рис. 3. Зависимость скорости ползучести сплава Zr1Nb после различных МТО от приложенного напряжения при температурах испытания: 300 К (1, 2) и 700 К (3, 4, 5); 1, 3 – МТО-1; 2, 4 – МТО-2; 5 – заводская обработка

После термообработок прочностные характеристики материала снижаются, но соотношение сохраняется, т.е. после МТО-2 они выше, чем после МТО-1 (рис. 3). Кроме того, во всей исследованной области температур наблюдается большая скорость ползучести всех исследованных образцов, и зависимость деформации от времени испытания описывается степенным законом ($\epsilon \sim t^{1/3}$), что может быть результатом динамического равновесия процессов упрочнения и возврата [5, 6], т.е. пластическое течение обусловлено совместным действием нескольких механизмов. На каждой стадии деформационного течения преобладает вклад одного из этих механизмов и по изломам на кривых рис.3 можно судить об изменении ведущего механизма деформации.

Сопrotивление ползучести материала после МТО-2 выше, чем после МТО-1 и заводской обработки (см. рис.3). Поскольку по данным рентгеноструктурного анализа микроструктурные характеристики после обработок МТО-1 и МТО-2 практически одинаковы, наблюдаемый эффект может быть связан со структурными элементами мезо- и макроуровней, т.е. в первую очередь с границами зерен.

Металлографические исследования показали, что в результате проведенных термообработок (МТО-1, 2) образовалась мелкозернистая структура

(средний размер зерен 5...6 мкм). Разница состоит в том, что после МТО-1 наблюдались равноосные зерна преимущественно одного размера с гладкими равновесными границами, а после МТО-2 зерна были неравноосные, неоднородные по размеру с ломанными (фасеточными) границами.

Известно, что ломанные неравновесные границы являются источниками сильных перекрывающихся полей дальнедействующих напряжений, что препятствует развитию внутризеренного скольжения. Релаксация напряжений в такой ситуации может происходить за счет образования линий сброса, фрагментации зерен, поворота части зерна и целых зерен, что подтверждается металлографическими исследованиями. Такие процессы требуют более высоких напряжений для своей реализации [3], и это приводит к упрочнению материала и является причиной более высокой термомеханической устойчивости структуры после МТО-2 [4, 7]. В результате только при напряжениях, близких к пределу прочности, начинаются процессы возврата, обеспечивающие высокую скорость ползучести: переползание дислокаций и зернограничное скольжение.

ВЫВОДЫ

Проведено рентгенографическое исследование текстуры и микроструктуры образцов сплава Zr1Nb, деформированных прокаткой на 92 % при температурах 300 и 100 К. Установлено, что температура прокатки в условиях больших степеней деформации практически не влияет на сформированную кристаллографическую текстуру сплава, что связывается с развитием поворотных мод пластической деформации. В то же время созданная микроструктура отличается уровнем микроискажений и размерами ОКР. Термообработка убирает различия в микроструктуре материала, сохраняя подобие текстур. При этом формируется мелкозернистая структура с разным состоянием границ зерен.

Исследование ползучести сплава Zr1Nb после различных обработок показало, что понижение температуры предварительной деформации прокаткой до 100 К приводит к увеличению

прочностных свойств и сопротивления ползучести материала. Это объясняется определяющим влиянием на процесс пластической деформации такого структурного элемента, как границы зерен, образовавшиеся после термообработки, и зависит от степени их совершенства. Особенности структуры границ обуславливают локализацию пластического течения, уровень внутренних напряжений и, как следствие, более высокую термомеханическую устойчивость структуры при ползучести.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.И. Соколенко, И.Ф. Борисова, И.Н. Бутенко, Е.В. Карасева, Д.Г. Малыхин, А.В. Мац. Рентгеновские исследования микроструктуры и текстуры циркония после больших пластических деформаций при 100 и 300 К // *Вісник Харківського національного університету. Серія фізична: «Ядра, частинки, поля»* (39). 2008, №3.
2. Д.Г. Малыхин, В.В. Корнеева, Т.Ю. Гуральник. Разделение микроструктурных эффектов дифракции по полуширине рентгеновских линий // *Вісник Харківського національного університету. Серія фізична: «Ядра, частинки, поля»* (38). 2009, №2, с. 77-80.
3. W.H. Hall. X-ray line broadening in metals // *Proc. Phys. Soc.* 1949, v. A62, p. 741-743.
4. В.В. Рыбин. *Большие пластические деформации и разрушение металлов*. М.: «Металлургия», 1988.
5. Е.В. Карасева, В.И. Соколенко, К.В. Ковтун, Р.В. Ажажа. Особенности ползучести и механизмы пластической деформации поликристаллического гафния в интервале температур 77...650 К // *ВАНТ. Серія «Фізика радіаційних пошкоджень і радіаційне матеріалознавство»*. 2006, №4, с.133-137.
6. О.А. Кайбышев, Р.З. Валиев. *Границы зерен и свойства металлов*. М.: «Металлургия», 1987.
7. Н.Ю. Золотаревский, В.В. Рыбин. Деформация фрагментирующихся поликристаллов и текстурирование // *ФММ*. 1985, т.50, №3, с.440-449.

Статья поступила в редакцию 20.06.2011 г.

ПОВЗУЧІСТЬ СПЛАВУ Zr1Nb В РІЗНИХ СТРУКТУРНИХ СТАНАХ В ІНТЕРВАЛІ ТЕМПЕРАТУР 300...700 К

Є.В. Карасьова, Д.Г. Малихін, А.В. Мац, В.І. Соколенко

Проведені рентгеновські дослідження текстури і микроструктури сплаву Zr1Nb, прокатаного на 92 % при температурах 100 і 300 К та після відпалу при температурі первинної стадії рекристалізування. Встановлено, що температура прокатки при великих ступенях деформації не впливає на особливості одержаної кристаллографічної текстури і микроструктури. Спостережуване збільшення характеристик міцності і опору повзучості при зниженні температури попередньої деформації пояснюється структурними характеристиками інших рівнів, в першу чергу впливом на процес пластичної деформації дислокаційних границь, і залежить від ступеня їх досконалості.

CREEP OF Zr1Nb ALLOY IN DIFFERENT STRUCTURAL STATE IN TEMPERATURE RANGE 300...700 K

E.V. Karaseva, D.G. Malykhin, A.V. Matz, V.I. Sokolenko

The X-ray examinations of a texture and microstructure of alloy Zr1Nb rolled at temperatures 100 and 300 K and annealed are carried out. It is shown that the rolling temperature at large plastic deformations does not influence on feature of an obtained crystallographic texture and microstructures. The observation increase of strength properties and creep resistances after low temperature prestrain, explained by the structural characteristics of other levels, first of all with influence of dislocation boundaries on process of a plastic deformation and depends on a degree of their perfection.