

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАМЕДЛЕННОГО ГИДРИДНОГО РАСТРЕСКИВАНИЯ В СПЛАВЕ Zr-2,5% Nb

Грибенас А., Левинскас Р., Макарявичюс В.

Литовский энергетический институт, ул. Бреслауяос 3., Каунас LT-44403, Литва

* Fax: 370-37-35 12 71; E-mail: levin@mail.lei.lt

Введение

Сплавы циркония применяются как конструкционные материалы для изготовления оболочек топлива и топливных каналов РБМК реакторов. [1]. Сплав циркония (Zr+2,5% Nb) абсорбирует водород, образующийся как следствие реакции коррозии. Водород имеет ограниченную растворимость в циркониевых сплавах, и когда предельная растворимость превышает в компонентах [2], которые находятся под давлением длительное время, могут образоваться дефекты замедленного гидридного растрескивания (ЗГР). ЗГР - это явление, когда трещина распространяется ступеньчатым образом как результат распределения водорода впереди вершины трещины под напряжениями ниже предела текучести. Если уровень напряжений достаточно высокий, локальная концентрация водорода может превысить предельную и гидридные пластинки образуются в направлении развития трещины. Когда длина пластинки достигает критической величины, она под действием локальных напряжений разрывается, трещина прерастает на эту длину и процесс повторяется. Как следствие такого ступеньчатого процесса образуется характерная полосатая структура на поверхности трещины. Каждый прирост трещины имеет инкубационное время, так как образуется новая зона гидридов на вершине трещины [3]. ЗГР была признана как потенциальная причина разрыва труб топливных каналов в реакторах CANDU [4] и РБМК [5].

Результаты и обсуждения

Сегменты трубы топливного канала были наводорожены до требуемой концентрации водорода, используя электролитический метод и обработку диффузионным отжигом. Гомогенность

водорода в сплаве контролировала металлографически. Снимки в радиально аксиальных и радиально поперечных сечениях показывают равномерно распространенные гидриды удлиненные в продольном направлении (Рис. 1). Из гидрированной трубы были изготовлены компактные образцы. За исключением толщины и искривленности трубы, размеры образцов были в соответствии со стандартом ASTM E-399.

В компактных образцах была сформирована исходная усталостная трещина длиной около 1,7 мм и образец нагружался до K_I от 14 МПа·м^{1/2} до 15 МПа·м^{1/2}. Эксперимент прекращался при достижении трещины около 1,5 мм.

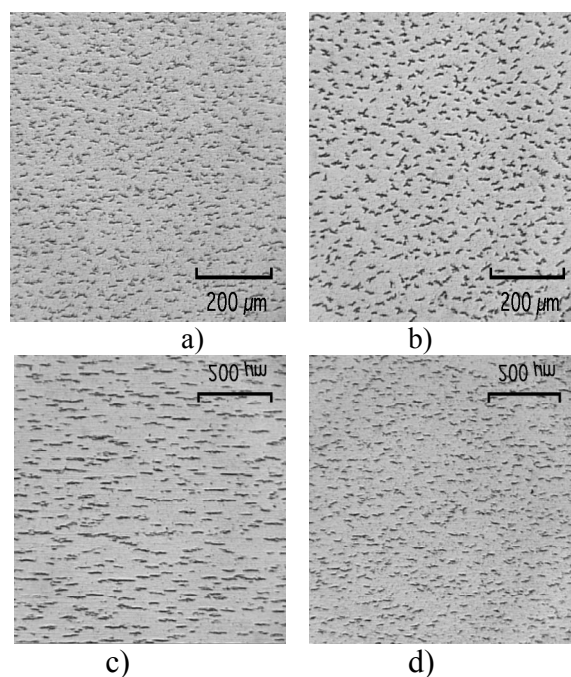


Рис. 1. Микроструктура гидридов в сплаве труб CANDU(a, c) и РБМК (b, d) в радиально поперечном (a, b) и радиально аксиальном (c, d) разрезе. Концентрация водорода 76-79 ppm.

После завершения эксперимента нагрузка снималась и образец охлаждался до комнатной температуры. Затем образец подвергался циклической нагрузке, чтобы проявить трещину ЗГР, и разрывался. После завершения эксперимента истинная величина трещины определялась по фрактограммам (Рис. 2).

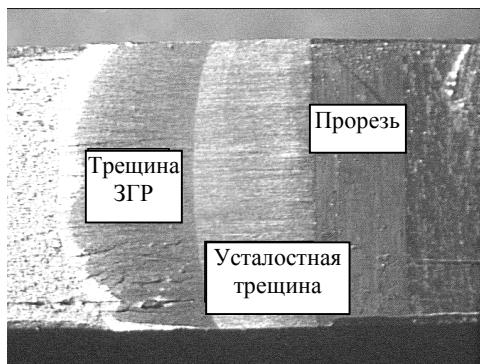
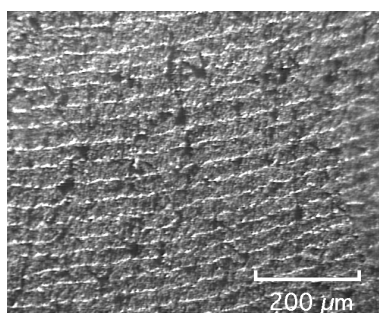
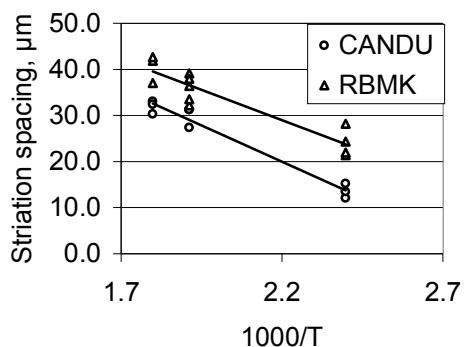


Рис. 2. Фрактограмма компактного образца.

Распространение трещины создает на поверхности линии, параллельные фронту и перпендикулярные направлению роста трещины. [6]. Каждый ступенчатый прирост фронта создает характерные полосы на поверхности трещины (Рис. 3, а).



а)



б)

Рис. 3. Полосы на поверхности трещины ЗГР (а); взаимосвязь между

межполосным расстоянием и температурой (б).

Выводы

Увеличение трещины в материале трубы РБМК происходит при большом приросте фронта трещины. Межполосное расстояние увеличивается с температурой и является большим для труб РБМК по сравнению с материалом труб CANDU.

Литература

1. K. Almenas, A. Kaliatka, E. Uspuras, Ignalina RBMK-1500. A source book, Litterae Universitatis Vytautu Magni (1994).
2. Z.L. Pan, I.G. Ritchie, M.P. Puls, J. Nuclear Materials 228(1996) 227.
3. K.F. Amouzuovi, L.J. Clegg, Metall.Trans.18A (1987) 1687.
4. B.A. Cheadle, C.E. Coleman, D.K. Rodgers, P.H. Davies, C.K. Chow, M. Griffiths, Int. conference on CANDU Maintenance, Canadian Nuclear Society (1998) 13.
5. Safety assessment of proposed modifications for Ignalina nuclear power plant, IAEA-EBP-RBMK-03 (1995).
6. Delayed hydride cracking in zirconium alloys in pressure tube nuclear reactors, IAEA-TECDOC-1410(2004).

Благодарность

Авторы благодарит Chalk River Laboratory (CRL) of Atomic Energy of Canada Limited (AECL) за предоставление трубы CANDU Zr-2.5 Nb, а также выражает благодарность МАГАТЭ и Литовскому Фонду по науке и образованию за финансовую поддержку.