

УДК 669.296:621.785.062

В. Труш, к.т.н., старш. досл., І. Погрелюк, д.т.н., проф., О. Лук'яненко, к.т.н., Т. Кравчишин к.т.н.

Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України

ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ Zr-1%Nb ДИФУЗІЙНИМ НАСИЧЕННЯМ КИСНЕМ

V. Trush, Ph.D, senior researcher, I. Pohrelyuk, Dr., Prof., A. Luk'yanenko, Ph.D, T. Kravchyshyn Ph.D.

Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine, Ukraine

INCREASING THE DURABILITY OF Zr-1%Nb BY OXYGEN DIFFUSION SATURATION

Abstract. During the operation of fuel element claddings, the tubes are subject to static loads. Therefore, increasing the durability of such tubes under static load is important. The paper shows that diffusion treatment in an oxygen-containing gaseous medium provides an increase in the breaking stresses of rings cut from zirconium tubes of the Zr-1%Nb alloy. It was found that as a result of diffuse treatment, a modified surface layer enriched with oxygen is formed. The test results correlated with fractographic studies.

До конструкційних матеріалів активної зони ядерних реакторів належать, перш за все, цирконієві сплави. Значний вплив на службові властивості цирконію мають елементи втілення, зокрема, кисень та азот. Хіміко-термічна обробка (ХТО) є одним з ефективних методів керування структурою та характеристиками приповерхневих шарів металів, що поліпшує різні їх фізико-механічні властивості. У даній роботі досліджено вплив дифузійно зміцнених приповерхневих шарів сформованих обробкою у кисневмісному газовому середовищі, на довговічність за тривалого статичного навантаження на базі 100 год на повітрі за кімнатної та підвищеної температури $T = 380^{\circ}\text{C}$ цирконієвих зразків, вирізаних з ТВЕЛЬНОЇ трубки сплаву Zr-1%Nb (Zr – 98,87 % ваг., Nb – 1,03 % ваг.).

Випробування на сповільнене руйнування проводили на зразках-кільцях шириною 4 мм з V-подібним концентратором глибиною 0,5 мм (рис. 1).

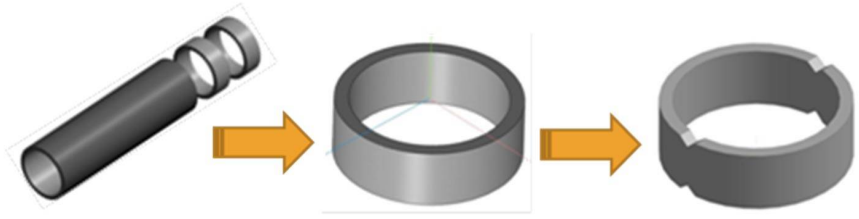


Рис. 1. Принципова схема виготовлення зразків-кільць з концентратором для випробувань на сповільнене руйнування за тривалого статичного навантаження.

Поверхневий модифікований шар формували дифузійним насиченням з контрольованого кисневмісного газового середовища при $T = 580^{\circ}\text{C}$, $\tau = 3$ год. Після насичення визначали відносний приріст твердості поверхні K : $K = [(HV_{\text{пов.}} - HV_{\text{серц.}}) / HV_{\text{серц.}}] \cdot 100\%$, де $HV_{\text{пов.}}$ – мікротвердість поверхні, $HV_{\text{серц.}}$ – мікротвердість серцевини. Мікротвердість визначали за навантаження $P = 0,49\text{H}$.

В результаті дифузійного насичення з вище згаданого середовища відносний приріст твердості поверхні цирконієвого сплаву становив, $K = 60\%$, глибина модифікованого шару 30 мкм.

Відповідно до отриманих результатів досліджень, тривала міцність зразків-кілець з концентратором без ХТО та обробки у кисневмісному газовому середовищі за кімнатної температури та при $T=380^\circ\text{C}$ у повітрі мають деякі відмінності (рис. 2). Так руйнівні напруження зразків-кілець після термічної обробки у кисневмісному газовому середовищі упродовж 100 год витримки на 10-15% перевищують напруження, за яких руйнуються зразки-кілець без ХТО.

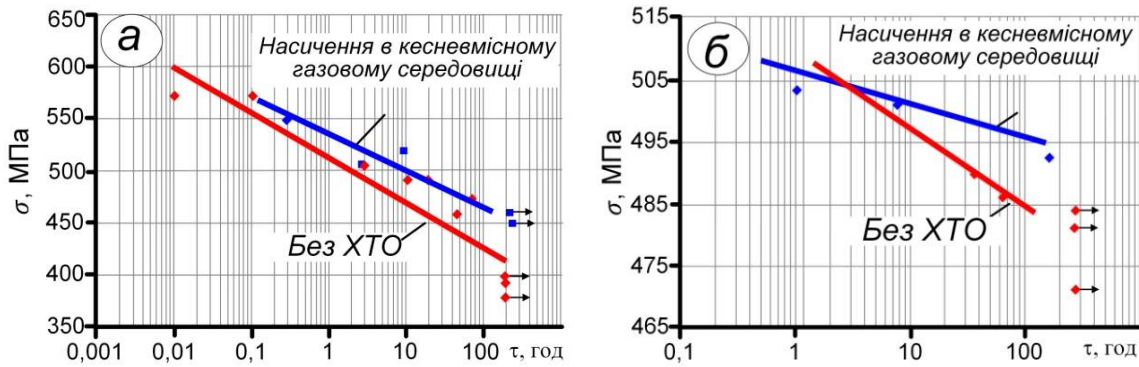


Рис.2. Тривала міцність зразків-кілець зі сплаву Zr-1%Nb за витримки при кімнатній температурі (а) та при $T=380^\circ\text{C}$ (б) у повітрі

Результати випробувань корелюють з фрактографічними дослідженнями (рис. 3): у приповерхневому шарі після окиснення чітко проявляється модифікований шар. Такий шар характеризується подрібненням мікрорельєфу руйнування, з великою кількістю деформаційних гребенів (рис. 3б), що свідчить про збільшення енергоємності руйнування.

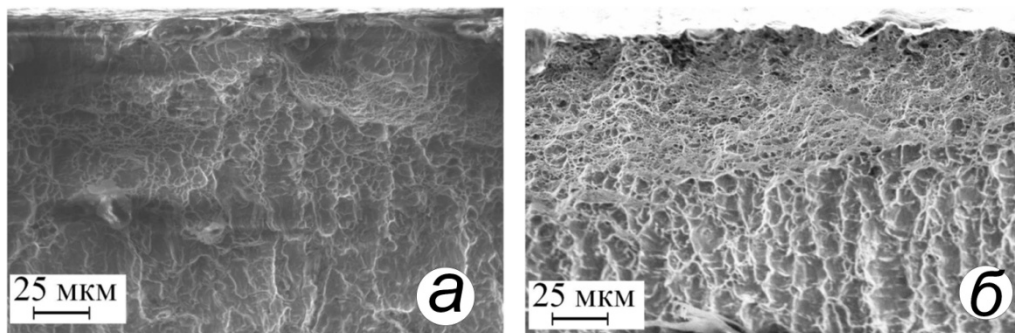


Рис.3. Поверхня зламу зразків-кілець зі сплаву Zr-1%Nb за витримки при кімнатній температурі (а) та при $T=380^\circ\text{C}$ (б) у повітрі

Отже, можна зробити висновок, що модифікований шар, сформований дифузійним насиченням з контрольованого кисневмісного газового середовища, забезпечує на 10-15% підвищення руйнівних напружень зразків-кілець, вирізаних з цирконієвої ТВЕЛЬНОЇ трубки зі сплаву Zr-1%Nb, за статичного навантаження на базі 100 год на повітрі за кімнатної та підвищеної температури ($T = 380^\circ\text{C}$).