

тріщиностійкості ($7,8 \dots 11,8 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$), межі текучості та межі міцності на стиск при високих температурах $1200 \dots 1400 \text{ }^\circ\text{C}$, так як мають температуру плавлення вище $1750 \text{ }^\circ\text{C}$ [2].

Також перспективною для розробки в даному напрямку може бути квазіпотрійна евтектика $\text{V}_4\text{C-TiB}_2\text{-SiC}$, що володіє рядом потрібних властивостей. Експериментальні дослідження мікромеханічних характеристик показали, що твердість за Вікерсом і тріщиностійкість одержаних спрямовано армованих композитів $\text{V}_4\text{C-TiB}_2\text{-SiC}$ складають, відповідно, $33,3 \text{ ГПа}$ і $6,5 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$. Тріщиностійкість одержаного спрямовано закристалізованого сплаву $\text{V}_4\text{C-TiB}_2\text{-SiC}$ перевищує тріщиностійкість чистого карбїду бору та спрямовано закристалізованого евтектичного сплаву $\text{V}_4\text{C-TiB}_2$, вирощеного у подібних умовах [3].

Особливістю матеріалу, що має лягти в основу деталей для високотемпературних застосувань має бути стійкість до високих температур, оскільки паливо при виході із камери згоряння має температуру вище $1000 \text{ }^\circ\text{C}$.

Оскільки вони також піддаються механічним навантаженням, зв'язаним з швидкістю руху реактивного струменя та розширенням палива при згорянні, то мають володіти і достатнім рівнем міцності. Розширення застосування даної евтектичної системи є дуже перспективним для вирішення ряду технічних проблем. Зменшення ваги транспортних засобів (автомобілів, літаків, поїздів тощо), а також підвищення робочих температур двигунів, підвищить ефективність використання палива. Нові показники потужності сприяють розробці конструкційних матеріалів з низькою щільністю, а також матеріалів, які мають високі показники термостійкості для використання в компонентах двигунів. Крім того, існує необхідність пошуку нових економічно вигідних джерел енергії і ефективнішого використання наявних. Матеріали, безсумнівно, грають значну роль у цих розробках. Для забезпечення життєздатності нових розробок, технологія їх виробництва має бути дешевшою за наявну, і не поступатися по ефективності попередникам.

Література:

1. Lange A., Heilmaier M., Sossamann T. A., Perepezko J. H. Oxidation behavior of pack-cemented Si-B oxidation protection coatings for Mo-Si-B alloys at $1300 \text{ }^\circ\text{C}$ // Surface and Coatings Technology. – 2015. – V. 266. – P. 57-63.
2. Троснікова І.Ю., Лобода П.І., Івашура О.О. Вплив хімічного складу на структуру та механічні властивості сплавів системи Nb-Si-B // Металознавство та обробка металів. – 2016. – №4. – С. 31-35.
3. Богомол Ю.І., Лобода П.І., Головенько Я.Б. Структура та властивості квазіпотрійних спрямовано армованих композитів системи $\text{V}_4\text{C-TiB}_2\text{-SiC}$ // Металознавство та обробка металів. – 2015. – № 2. – С.37-42.

**Труш В.С.¹, Лук'яненко О.Г.¹, Федірко В.М.¹, Погрелюк І.М.¹,
Тихоновський М.І.², Стоєв П.І.²**

¹Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, м. Львів;

**²Інститут фізики твердого тіла, матеріалознавства та технологій ННЦ
«ХФТІ» НАН України, м. Харків)**

**ВПЛИВ АЗОТУВАННЯ НА ТРИВАЛУ МІЦНІСТЬ ЗА ТЕМПЕРАТУРИ
380 °C СПЛАВУ Zr-1%Nb**

E-mail: trushvasyl@gmail.com

Цирконієві сплави належать до конструкційних матеріалів активної зони ядерних реакторів. Ці сплави мають високі механічні властивості хорошу корозійну стійкість. Разом з тим існують чинники, які істотно знижують можливості їх застосування. Зокрема, значний вплив на службові властивості цирконієвих сплавів мають елементи втілення –

кисень та азот, які легко з ним реагують і беруть участь у всіх процесах, що відбуваються в матеріалі під час експлуатації. Одним з ефективних методів керування структурою та характеристиками приповерхневих шарів металів є хіміко-термічна обробка (ХТО).

Тому, мета роботи – встановити вплив ХТО у контрольованому азотовмісному газовому середовищі зразків-кілець зі сплаву Zr-1%Nb, вирізаних з ТВЕЛЬних трубок, на тривалу міцність (100 год) за робочої температури $T = 380^{\circ}\text{C}$ на повітрі.

Методика та матеріали досліджень. Для досліджень використано зразки-кілець з цирконієвого сплаву Zr-1%Nb, які вирізали з ТВЕЛЬНОЇ трубки українського виробництва. ХТО сплавів цирконію виконували в контрольованому газовому середовищі за різних режимів: вакуумний відпал (стандартна термічна обробка) R0 – $T = 580^{\circ}\text{C}$, $P = 1 \cdot 10^{-4}$ мм. рт. ст., $\tau = 3$ год; обробка в азотовмісному середовищі – R1 – $T = 650^{\circ}\text{C}$, $P = 1 \cdot 10^{-5}$ мм. рт. ст., $\tau = 1$ год + $T = 580^{\circ}\text{C}$, $P = 760$ мм. рт. ст., $\tau = 10$ год), R2 – $T = 580^{\circ}\text{C}$, $P = 1 \cdot 10^{-5}$ мм. рт. ст., $\tau = 1$ год + $T = 580^{\circ}\text{C}$, $P = 760$ мм. рт. ст., $\tau = 9$ год).

Результати та їх обговорення. Встановлено, що властивості зразків-кілець при тривалій витримці за температури $T = 380^{\circ}\text{C}$ на повітрі чутливі до наявності модифікованого азотом приповерхневого шару металу (рис. 1). Так 100 год міцність зразків-кілець, оброблених за режимом R1, дещо вище від рівня характеристик після вакуумної (стандартної термічної) обробки ТВЕЛЬних трубок (режим R0). З іншого боку, зразки-кілець, оброблені за режимом R2, за витримки >10 год виносять менші руйнівні напруження в порівнянні з тими, що оброблені за режимом R1. Причиною різниці у поведінці зразків-кілець є наявність приповерхневого шару металу з різним градієнтом твердості по перерізу, який впливає на залежність руйнуючих напружень у часі. Для кращого розуміння даного факту в подальшому будуть проведені поглиблені металофізичні дослідження.

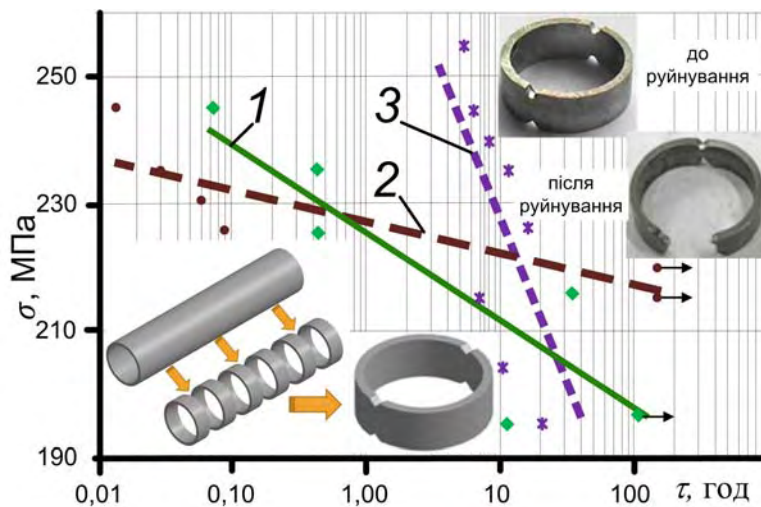


Рис. 1. Тривала міцність зразків-кілець з цирконієвого сплаву Zr-1%Nb на повітрі при температурі $T = 380^{\circ}\text{C}$ після обробок у газових середовищах за різних режимів: 1 – R0, 2 – R1, 3 – R2

Висновки. Важливим результатом роботи є те, що експериментально показані руйнівні напруження азотованих зразків-кілець зі сплаву Zr-1%Nb, вирізаних з ТВЕЛЬних трубок, за тривалої витримки (100 год) при робочій температурі $T = 380^{\circ}\text{C}$ на повітрі.