

ОСОБЛИВОСТІ ЗНОШУВАННЯ ЦИРКОНІУ У ГАЗОВИХ СЕРЕДОВИЩАХ ЗА РІЗНИХ ТЕМПЕРАТУР

Л. А. АРЕНДАР, Х. Б. ВАСИЛІВ, В. А. ВИНАР, Є. М. РУДКОВСЬКИЙ

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

Досліджено трибологічну поведінку цирконію на повітрі, у водні та вакуумі за температур 20 і 100°C. Під час тертя на повітрі виявлено пластичну деформацію мікрровиступів поверхні. З підвищенням температури знос металу зростає на 10...15%. У водні пластичність металу знижується, на поверхні тертя виникають мікротріщини, кількість яких суттєво збільшується за температури 100°C, а також дрібнодисперсні продукти зношування, імовірно, внаслідок формування і крихкого руйнування гідридів цирконію. Характер зношування цирконію у вакуумі свідчить про схоплювання контактуючих поверхонь і неодноразове змінання утворених наростів на поверхні тертя. За температури 100°C зношування металу знижується завдяки зростанню його пластичності.

Ключові слова: цирконій, водень, вакуум, мікроструктура, коефіцієнт тертя, температура.

У зв'язку з розвитком водневих технологій останнім часом активно досліджують фізико-механічні та експлуатаційні характеристики матеріалів за водневого впливу [1–5]. Цей вплив неоднозначний і залежить від багатьох чинників (структури, хімічного складу та геометрії зразків, умов наводнювання тощо). До негативних наслідків наводнювання відносять зниження міцності і тріщиностійкості металів та погіршення їх зносотривкості.

Відомо, що під час тертя цирконію та його сплавів у водні на фрикційній поверхні можуть утворюватися гідриди ZrH_2 ϵ - і δ -типу [4, 5]. δ -гідриди мають шарувату структуру, завдяки якій можуть відігравати роль твердого мастила під час тертя, що сприяє підвищенню зносотривкості цирконію чи його сплавів [4].

Мета роботи – порівняти трибологічну поведінку цирконію на повітрі, у вакуумі та водні за температур 20 і 100°C.

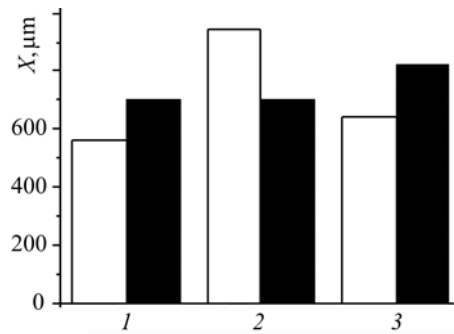
Умови експерименту. Зношування трибопари цирконій–ШХ15 досліджували за реверсивного руху на повітрі, у водні (тиск 0,1 МПа) та вакуумі (тиск 10^{-3} Па) за температур 20 і 100°C. Умови тертя: контактне навантаження 2 N, швидкість ковзання 200 mm/min, тривалість 2000 s, схема тертя площина–кулька.

Мікроструктуру поверхні тертя вивчали за допомогою оптичного мікроскопа “Neophot-2”, сканівного електронного мікроскопа EVO-40XVP з системою мікрорентгеноспектрального аналізу енергодисперсійного рентгенівського спектрометра INCA ENERGY 350.

Результати експерименту та їх обговорення. За кімнатної температури найвищий знос цирконію зафіксували у вакуумі: ширина доріжки тертя у 1,5 рази більша, ніж на повітрі чи у водні (рис. 1). Тертя відбувається нерівномірно: спостерігали коливання коефіцієнта тертя від 0,2 до 0,8 (рис. 2а, 3). Виявили сліди адгезійної взаємодії контактуючих поверхонь і неодноразового змінання утворених наростів на поверхні тертя (рис. 4b).

Рис. 1. Ширина доріжки тертя цирконію після випробувань на повітрі (1), у вакуумі (2) та водні (3) за температури 20°C (□) і 100°C (■).

Fig. 1. The width of friction track on measuring base of zirconium after testing in air (1), vacuum (2) and hydrogen (3) at temperature 20°C (□) and 100°C (■).



На повітрі коефіцієнт тертя стабільний і становить у середньому 0,5 (рис. 2a, 3a). Поверхня тертя цирконію містить сліди пластичної деформації мікроступів та поодинокі продукти зношування (рис. 3a).

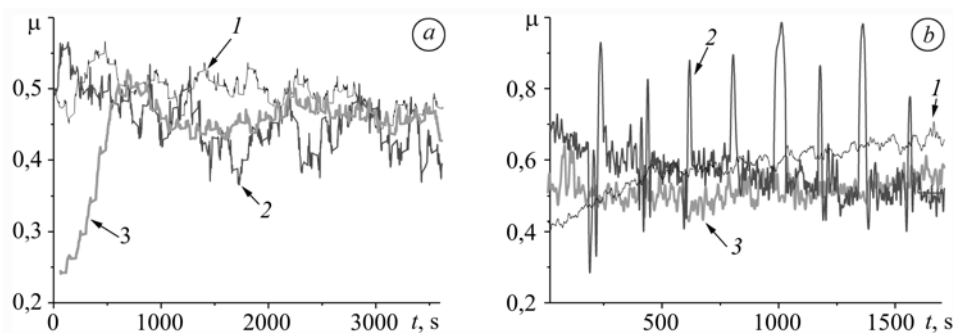


Рис. 2. Коефіцієнти тертя цирконію за температур 20°C (a) і 100°C (b) на повітрі (1), у вакуумі (2) та водні (3).

Fig. 2. Friction coefficient of zirconium at temperature 20°C (a) and 100°C (b) in air (1), in vacuum (2) and in hydrogen (3).

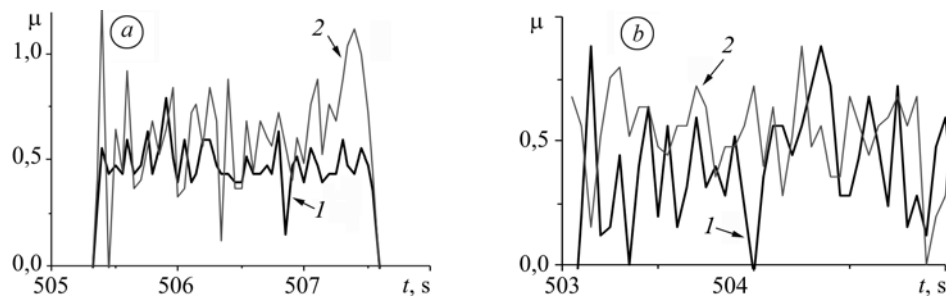
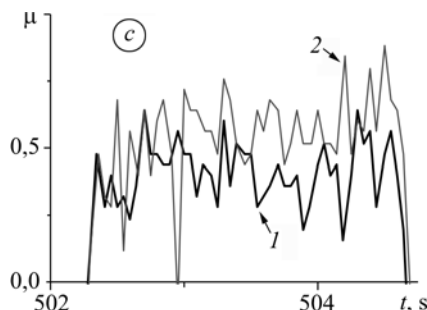


Рис. 3. Локальні зміни коефіцієнта тертя за температур 20°C (1) і 100°C (2) на повітрі (a), у вакуумі (b) та водні (c).

Fig. 3. Local changes of friction coefficient of zirconium at temperature 20°C (1) and 100°C (2) in air (a), in vacuum (b) and in hydrogen (c).



У водні коефіцієнт тертя на початковому етапі становить 0,25, а потім плавно підвищується удвічі (рис. 2a). Мікроструктура поверхні тертя свідчить про пластичну деформацію матеріалу. Водночас на поверхні виявили окремі дрібно-

дисперсні (розміром 1...2 μm) продукти зношування (рис. 4с). Ймовірно, це гідриди ZrH_2 , що можуть утворюватися на поверхні цирконію під час тертя у водні [4]. Оскільки гідридне перетворення супроводжується об'ємним ефектом, що призводить до виникнення внутрішніх напружень, то під час тертя окремі зерна гідридів можуть викришуватися. Після стирання гідридовмісного шару переважає пластична деформація мікрориступів на поверхні, а коефіцієнт тертя зростає (рис. 2, 4с).

За температури 100°C максимальна ширина доріжки тертя цирконію зафіксована у водневому середовищі (рис. 1). Коефіцієнт тертя в середньому на 20% вищий, ніж за кімнатної температури (рис. 2b, 3с). На поверхні тертя виникають мікротріщини та накопичуються дрібнодисперсні продукти зношування (рис. 4f).

На поверхні тертя цирконію створюються сприятливі умови для процесів, неможливих за стаціонарних умов. Зокрема, особливий енергетичний стан поверхні, зумовлений стиранням оксидної плівки та деформацією кристалічної ґратки, а також температурний чинник сприяє абсорбції водню з утворенням твердих розчинів та гідридних фаз [4]. Оскільки під час формування цих фаз гранецентрована щільноупакована кристалічна ґратка цирконію перебудовується у тетрагональну гранецентровану, то виникають внутрішні напруження, що призводять до утворення тріщин та окрихчування матеріалу на поверхні тертя. Утворення гідридних фаз на мікрориступах поверхні тертя пояснює зміну характеру зношування цирконію від пластичної деформації за кімнатної температури до крихкого руйнування при 100°C.

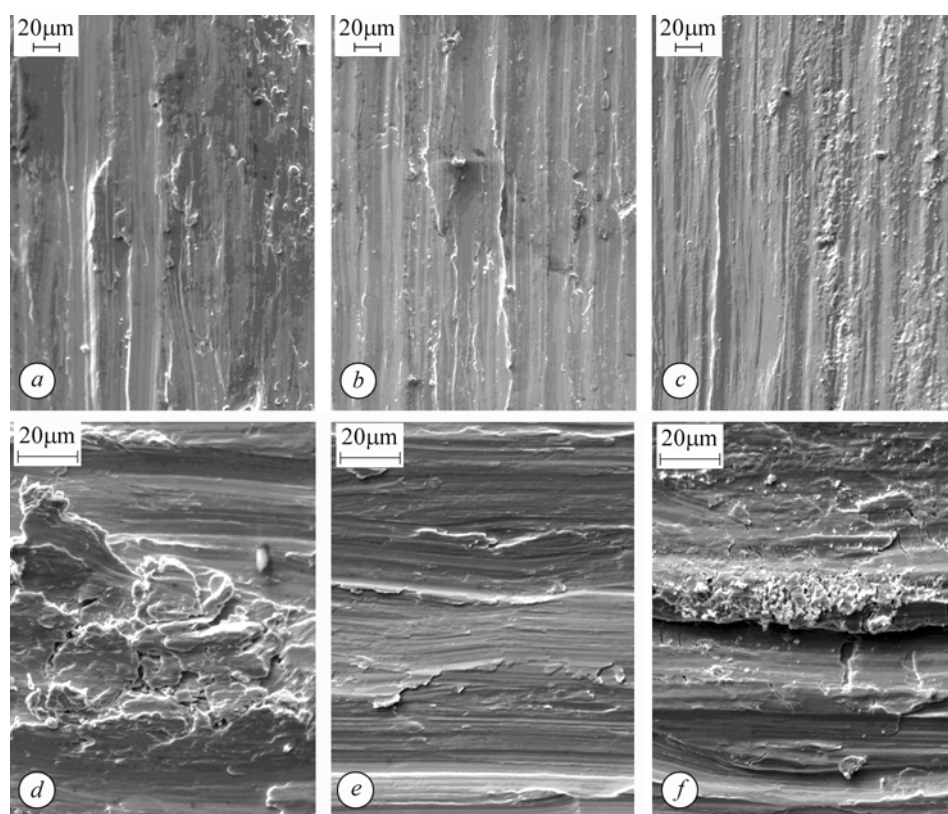


Рис. 4. Мікроструктура поверхні тертя цирконію на повітрі (a, d), у вакуумі (b, e) та водні (c, f) за температур 20°C (a-c) і 100°C (d-f). $\times 250$.

Fig. 4. Microstructure of zirconium friction surface in air (a, d), in vacuum (b, e) and in hydrogen (c, f) at temperature 20°C (a-c) and 100°C (d-f). $\times 250$.

На повітрі за температури 100°C зносотривкість цирконію погіршується. Зокрема, на 20% збільшується ширина доріжки тертя, зростає амплітуда коливань та середнє значення коефіцієнта тертя (рис. 1, 2b, 3a). На поверхні виявили значно більше пошкоджень внаслідок пластичної деформації і локального схоплювання мікровиступів, ніж за кімнатної температури (рис. 4d).

Мікроструктура поверхні цирконію після тертя у вакуумі як за кімнатної температури, так і за 100°C свідчить про пластичну деформацію мікровиступів (рис. 4). Суттєвої залежності характеру зміни коефіцієнта тертя з підвищенням температури не виявлено, проте дещо зменшується ширина доріжки тертя, що може бути пов'язано з підвищенням пластичності металу (рис. 1, 2).

ВИСНОВКИ

Трибологічна поведінка цирконію на повітрі свідчить про переважно пластичне деформування мікровиступів. З підвищенням температури знос металу та коефіцієнт тертя зростають на 10...15%.

У водні підвищується крихкість поверхні тертя: виникають мікротріщини, кількість яких суттєво збільшується за температури 100°C, а також дрібнодисперсні продукти зношування, імовірно, внаслідок формування і крихкого руйнування гідридних фаз на поверхні тертя.

Характер зношування цирконію у вакуумі свідчить про схоплювання контактуючих поверхонь і неодноразове зминання утворених наростів на поверхні тертя. За температури 100°C зношування металу знижується завдяки зростанню його пластичності.

РЕЗЮМЕ. Исследовано трибологическое поведение циркония при трении на воздухе, в водороде и вакууме при температурах 20 и 100°C. При трении на воздухе наблюдают преимущественно пластическую деформацию микровыступов. С повышением температуры износ металла и коэффициент трения увеличивается на 10...15%. В водороде пластичность металла понижается, на поверхности трения возникают микротрещины, количество которых существенно увеличивается при температуре 100°C, а также мелкодисперсные продукты износа, вероятно, вследствие формирования и хрупкого разрушения гидридов циркония. Характер разрушения циркония в вакууме свидетельствует об адгезионном взаимодействии контактирующих поверхностей и неоднократном смятии образованных наростов на поверхности трения. При температуре 100°C износ металла снижается благодаря увеличению его пластичности.

SUMMARY. Tribological behavior of zirconium under friction in air, hydrogen and vacuum at 20 and 100°C has been investigated. Plastic deformation of microasperities has been observed on the the friction surface in air. The wear of the metal and the friction coefficient increase by 10...15% with increasing temperature. Formation and brittle fracture of zirconium hydrides has been observed under friction in hydrogen. Microcracks on the friction surface arised, whose number significantly increased at the temperature of 100°C. The character of zirconium wear in vacuum witnesses about the adhesion interaction of contacting surfaces and repeated local plastic compression of the formed outgrowths on the friction surface. The wear of metal is reduced at the temperature of 100°C due to the growth of its plasticity.

1. *Hydrogenation During Sliding and Hydrogen Wear Mechanism* // Tribology Series. – 1995. – **29**. – P. 251–309.
2. *Sawae Y. and Sugimura J.* Tribology in gaseous hydrogen // J. of the Vacuum Society of Japan. – 2010. – **53** (4). – P. 280–287.
3. *New function of hydrogen in materials* / Masuo Okada, Atsunori Kamegawa, Jun Nakahigashi et al. // Mater. Sci. and Engng. – 2010. – **173** (1–3). – P. 253–259.
4. *Friction and wear properties of zirconium and niobium in a hydrogen environment* / T. Murakami, H. Mano, K. Kaneda, et al. // Wear. – 2010. – 268. – P. 721–729.
5. *Диаграммы состояния двойных металлических систем* / Под ред. Н. П. Лякишева. – М.: Машиностроение, 1997. – Т. 2. – 1024 с.

Одержано 13.07.2012