

Арендар Л.А.,*
Василів Х.Б.,*
Коваль Ю.М.,**
Гущак Р.І.***

* Фізико - механічний інститут
ім. Г.В. Карпенка НАН України
м. Львів, Україна,
** ДП «ОС«УКРСЕПРОТРУБОІЗОЛЬ»,
*** Львівський національний аграрний
університет,
м. Дубляни, Україна
E-mail: Chrystyna.vasyliv@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИБОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СТАЛЕЙ В АТМОСФЕРІ ВОДНЮ ТА ВАКУУМІ ЗА РІЗНИХ ТЕМПЕРАТУР

УДК 620.197.5:669.788

Досліджено тертя і зношування армо-заліза і ферито-перлітних сталей 20, 45, У8 в атмосфері водню. Виявлено крихе руйнування поверхні тертя армо - заліза і сталі 20, імовірно, зумовлене поглинанням водню фрикційною поверхнею і окрихчуванням наводненого металу. Показано, що з підвищенням концентрації вуглецю в сталях вплив водневого чинника на їх трибологічні властивості зменшується, що пояснюється збільшенням сил когезії у металах і здатністю міжфазних поверхонь ферит - цементит поглинати водень, не створюючи додаткових напружень у гратці.

Ключові слова: тертя, ферито - перлітні сталі, водень, мікроструктура, коефіцієнт тертя.

Вступ

Молекулярний водень за нормального тиску і кімнатної температури практично не розчиняється в залізі і сталях. [1]. Для проникнення водню в метал необхідна його дисоціація на атоми, яка за нормальних умов термодинамічно малоймовірна [2]. Під час тертя внаслідок стирання зовнішнього шару і руйнування міжатомних зв'язків відбувається активація поверхні. Надлишкова поверхнева енергія зменшується в результаті адсорбції чужорідних атомів або молекул, зокрема, водню. За впливу додаткових чинників, таких як підвищення температури, каталітична дія ювенільних поверхонь металу тощо, молекули водню отримують енергію, достатню для дисоціації на атоми і дифузії вглиб кристалічної гратки металу.

Отже, при терті зростає імовірність наводнювання заліза і сталей, що може суттєво впливати на їх структуру і характер зношування. Наприклад, під час тертя у водні сталь 45 поглинає утричі більше газу, ніж після витримки за стаціонарних умов [7].

Дифузія водню в метали залежить від їх хімічного і фазового складу, дефектності структури. Зокрема, зі збільшенням концентрації вуглецю у сталях підвищується вміст цементиту, який практично непроникний для водню. Водночас зростає площа міжфазної поверхні ферит - цементит, яка завдяки своїй дефектності здатна утримувати велику кількість водню: вуглецеві сталі адсорбують у 4 - 5 разів більше водню, ніж армо - залізо [3, 4]. Вплив водню на зношування заліза і вуглецевих сталей, як правило, негативний, оскільки абсорбований водень змінює сили міжатомної взаємодії у кристалічній гратці сталей, що може призводити до незворотних пошкоджень у їх структурі, внутрішніх тріщин і білістерів [2, 6].

Мета роботи

Мета даної роботи – дослідити особливості тертя і зношування армо-заліза і вуглецевих сталей 20, 45 і У8 в атмосфері водню за різних температур..

Методика експерименту

Випробування досліджуваних матеріалів тертям в атмосфері водню виконували на установці, створеній на базі серійної машини ИМАШ-20-75 (АЛЖ-ТОО). Для дослідження використовували пару тертя: пластина з досліджуваних матеріалів (10 × 40 × 2 mm) – сферичне контртіло (Ø 10 mm) з Al₂O₃. Випробування тертям проводили за умов реверсивного руху (довжина доріжки тертя 17 mm, період циклу 0,24 s) у герметичній камері, яку наповнювали повітрям чи воднем за тиску 0,1 МПа за температури 20, 100 і 150 °С. Сила нормального навантаження 2 N, тривалість випробувань 2000 s. Протягом всього часу випробувань реєстрували зміну коефіцієнта тертя.

Мікроструктуру сталей 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

Досліджували характеристики тертя і зношування армко - заліза і ферито - перлітних сталей з різною концентрацією вуглецю (від 0,02 до 0,8 mass.%) у водні за кімнатної температури, а також за 100 і 150 °С.

Коефіцієнти тертя досліджуваних матеріалів на повітрі практично однакові, стабільні, їх значення становить $\sim 0,3$, що пояснюється присутністю оксидної плівки на поверхні, у якій локалізуються процеси тертя і зношування.

Трибологічні характеристики досліджуваних матеріалів у водні залежать від вмісту вуглецю у досліджуваних матеріалах (рис. 1). Так, при терті армко - заліза і сталі 20 у водні характер зміни коефіцієнтів тертя подібний: через 200 ... 250 с після початку випробувань вони досягають величини 0,65 ... 0,7 і стабілізуються (рис. 1, а, б). З підвищенням температури в зоні тертя від кімнатної до 100 і 150 °С час стабілізації коефіцієнта тертя армко - заліза і сталі 20 скорочується і збільшується ширина доріжок тертя (рис. 2, 3).

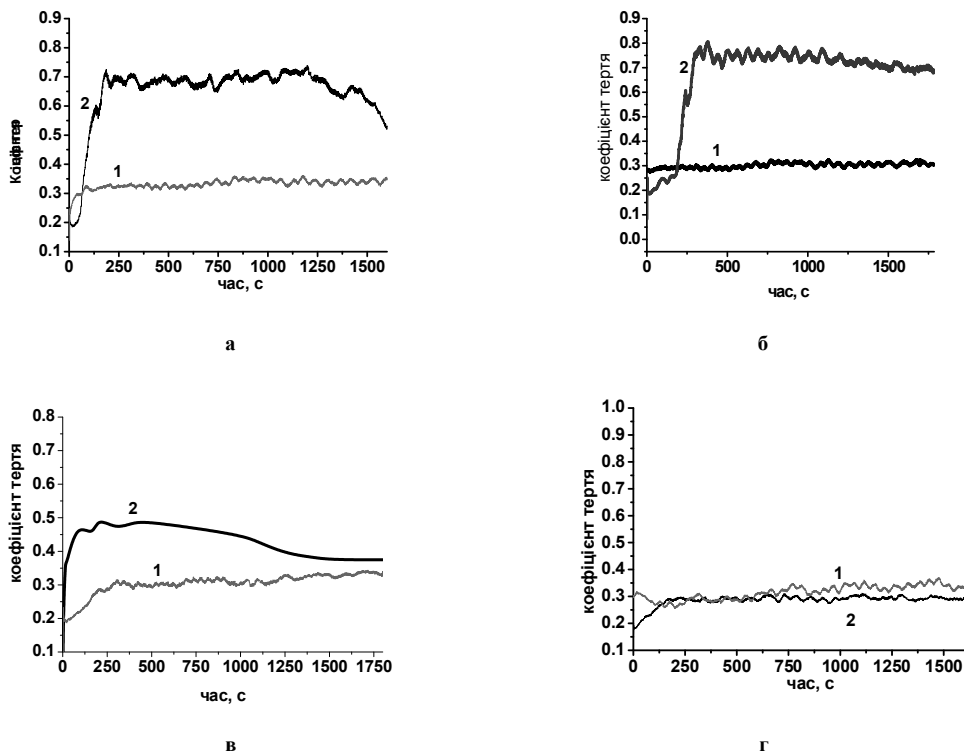


Рис. 1 – Кінетика зміни коефіцієнта тертя армко - заліза (а), сталей 20 (б); 45 (в) і У8 (г) на повітрі (1) і в атмосфері водню (2)

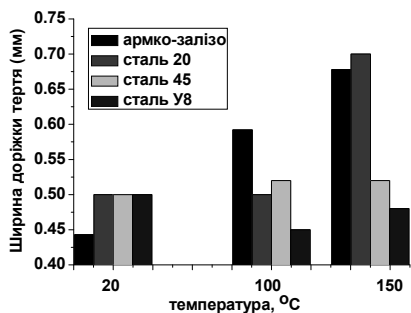


Рис. 2 – Ширина доріжки тертя армко-заліза і сталей у водні за різних температур

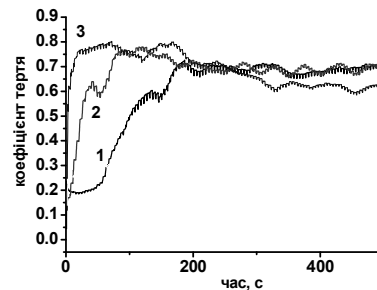


Рис. 3 – Вплив температури на кінетику зміни коефіцієнта тертя армко - заліза у водні: 20 °С (1), 100 °С (2), і 150 °С (3)

Аналіз мікроструктури поверхонь тертя армко-заліза і сталі 20 свідчить про подібність характеру їх зношування, зокрема, про пластичну деформацію мікровиступів поверхні і утворення конгломератів з дрібнодисперсних продуктів зношування на доріжці тертя і контртілі (рис. 4).

При терті у водні сталі 45 після притирання спостерігається поступове зниження коефіцієнта тертя (рис. 1, в). При цьому ширина фрикційної доріжки з підвищенням температури практично не змінюється (рис. 2). Мікроструктура поверхні тертя свідчить про пластичну деформацію мікровиступів і відсутність продуктів зношування (рис. 4, в).

Значення коефіцієнтів тертя сталі У8 в атмосфері водню такі ж, як у повітрі (рис. 1, г). Ширина доріжки тертя (рис. 3) і її пошкодженість (рис. 4, г) менша, ніж у попередніх випадках. На поверхні тертя виявлено ділянки пластичної деформації. Дрібнодисперсні ($< 0,5 \mu\text{m}$) продукти зношування – результат стирання корундового контртіла.

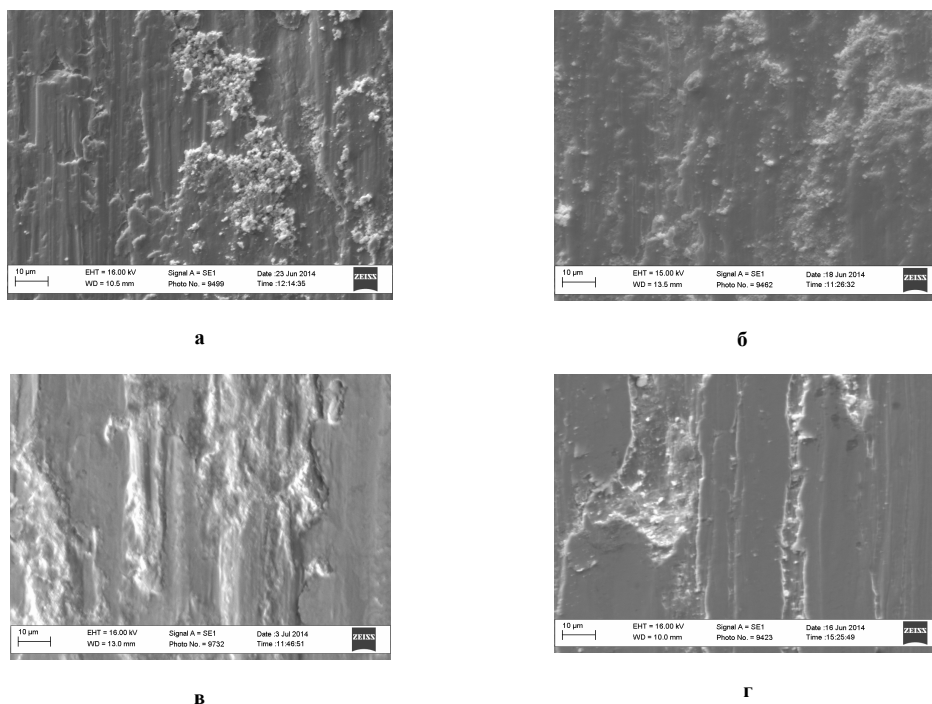


Рис. 4 – Мікроструктура доріжок тертя армко-заліза (а), сталей 20 (б), 45 (в) і У8 (г) у водні за температури 100 °С

Для порівняння вивчали трибологічну поведінку досліджуваних металів у вакуумі. Виявлено схоплення поверхонь тертя армко - заліза і сталі 20, при якому коефіцієнт тертя досягає 0,7 ... 0,8, але крихких продуктів зношування, як у водні, не спостерігали (рис. 5, а).

При терті у вакуумі сталей 45 і У8 коефіцієнти тертя не перевищували 0,25, причому зі збільшенням температури спостерігали їх зниження до 0,1 (рис. 6). На поверхні тертя практично нема пошкоджень (рис. 5, б).

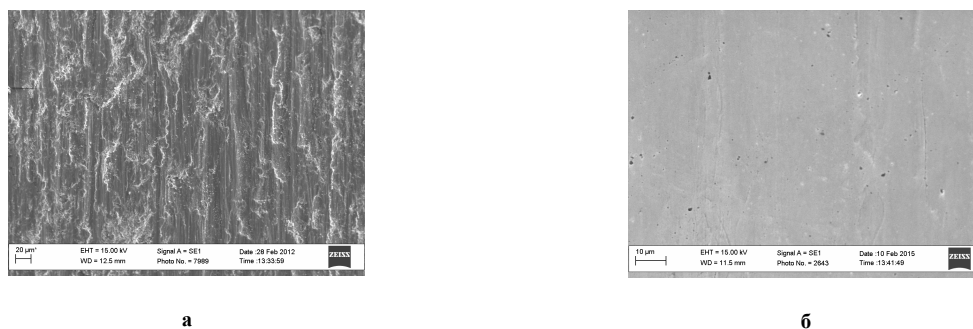


Рис.5. Поверхня тертя армко - заліза (а) і сталі У8 (б) у вакуумі

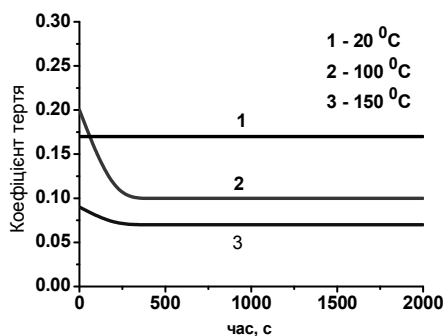


Рис. 6 – Коефіцієнти тертя сталі 45 у вакуумі за різних температур

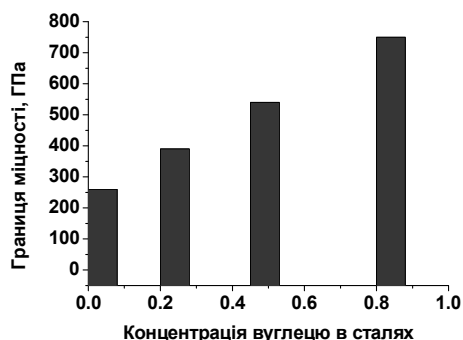


Рис. 7 – Збільшення граничної міцності σ_B сталей залежно від концентрації вуглецю

Таким чином, водневе середовище найбільше впливає на характер зношування армко-заліза і низьковуглецевої сталі 20, основною структурною складовою яких ферит. Під час тертя внаслідок стирання оксидного шару і підвищення дефектності поверхневих шарів утворюються ювенільні поверхні з підвищеною поверхневою енергією. Це сприяє адсорбції і оклюзії водню в зоні тертя. З підвищенням температури ці процеси пришвидшуються. Оскільки розчинність водню у фериті дуже низька, він дифундує переважно по границях зерен та пошкодженнях структури і накопичується в них. Це призводить до локального підвищення тиску у структурних дефектах, зміни механічних властивостей і окрихчування, про що свідчать дрібнодисперсні продукти зношування, що накопичуються на поверхні тертя у водні (рис. 4, а, б) і їх відсутність у вакуумі (рис. 5, а).

З підвищенням концентрації вуглецю до 0,45 ... 0,8 % вплив водню на зносостійкість сталей зменшується. Це пов'язано, з одного боку, збільшенням міцності матеріалів, внаслідок чого підвищується їх опір руйнуванню при терті (рис. 7). З іншого боку, збільшується площа міжфазних поверхонь ферит-цементит, які характеризуються підвищеною дефектністю і здатні утримувати певну кількість водню, не створюючи додаткових напружень у кристалічній ґратці. Відтак, тертя супроводжується лише пластичною деформацією мікроступів поверхні.

Висновки

Досліджено тертя і зношування армко-заліза і сталей 20, 45, У8 у водні. Після тертя у водні виявлено крихке руйнування поверхні армко-заліза і сталі 20, імовірно, зумовлене поглинанням водню фрикційною поверхнею і окрихчуванням наводненого металу. Підвищення температури в зоні тертя до 150 °C пришвидшує зношування. Показано, що з підвищенням концентрації вуглецю в сталях вплив водневого чинника на їх трибологічні властивості зменшується, що пояснюється збільшенням сил когезії у металах і здатністю міжфазних поверхонь ферит - цементит поглинати водень, не створюючи додаткових напружень у ґратці. Відтак, тертя сталей 45 і У8 у водні супроводжується пластичною деформацією поверхні і низьким зносом.

Література

1. Фромм Е., Гебхардт Е. Газы и углерод в металлах. – М.: Металлургия, 1980. – 711 с.
2. Поляков А.А., Гаркунов Д.Н. Водородный износ в узлах трения. – М.: Наука. – 1977. – 85 с.
3. K Ichitani, M Kanno Visualization of hydrogen diffusion in steels by high sensitivity hydrogen microprint technique. – Science and Technology of Advanced Materials. – 4. – 2003. – P. 545-551.
4. Tau L, Chan S.L.I. Effect of ferrite/pearlite alignment on the hydrogen permeation in a AISI 4130 steel.-Materials Letters. - 20. – 1996. – P. 143-147.
5. S.Bechtel, M.Kumar, B.R.Somerday, M.E.Launey, R.O.Ritchie Grain-boundary engineering markedly reduces susceptibility to intergranular hydrogen embrittlement in metallic materials. – Acta Materialia. – 57 (2009). – P. 4148 - 4157.
6. Похмурський В.І., Василів Х.Б. Вплив водню на тертя і зношування металів (огляд). – Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2012 – № 2. – С. 5-17.
7. Frisch B., Thiele W.-R. The tribologically induced effect of hydrogen effusion and penetration in steels // Wear. – No. 95. – 1984. – P. 213 - 227.

Поступила в редакцію 16.02.2016

Arendar L. A., Vasiliv H. B., Koval' Ju.M., Gushhak R.I. **Research typological properties of steels in hydrogen and vacuum at different temperature.**

The friction and wear of Armco iron and ferrite-pearlite steel types 20, 45, Y8 in a hydrogen atmosphere have been analyzed. Revealed brittle fracture of friction surface of Armco iron and steel 20 probably is a result of hydrogen absorption. It was shown that increasing the carbon concentration inside the steel causes the reduction of influence of hydrogen on its tribological properties. It can be explained by increasing the cohesive strength in metals and the ability of inter-phase ferrite-cementite surfaces to absorb hydrogen without creating additional resistance inside the lattice.

Keywords: friction, ferritic-pearlitic steel, hydrogen, vacuum, microstructure, coefficient of friction.

References

1. Fromm E., Gebhardt E. Gazy I uglerod v metallah. M.: Metallurgia, 1980. 711 p.
2. Polakov A.A., Garkunov D.N. Vodorognyi iznos v uzlah trenija. M.: Nauka, 1977. 85 s.
3. K Ichitani, M Kanno Visualization of hydrogen diffusion in steels by high sensitivity hydrogen microprint technique.- Science and Technology of Advanced Materials. 4. 2003. P. 545–551.
4. Tau L, Chan S.L.I. Effect of ferrite/pearlite alignment on the hydrogen permeation in a AISI 4130 steel.-Materials Letters. 20. 1996. P. 143-147.
5. S.Bechtle, M.Kumar, B.R.Somerday, M.E.Launey, R.O.Ritchie Grain-boundary engineering markedly reduces susceptibility to intergranular hydrogen embrittlement in metallic materials. Acta Materialia. 57 (2009) p.4148-4157.
6. Pokhmurskii V.I., Vasylyv Kh.B. Influence of Hydrogen on the Friction and Wear of Metals (a Survey). Material Science. 2012. Vol.48. № 2. P. 125-138.
7. Frisch B., Thiele W.-R. The tribologically induced effect of hydrogen effusion and penetration in steels. Wear. No. 95. 1984. P. 213 – 227.