

УДК 620.178:620.193.19

ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК МІЖ КАВІТАЦІЙНОЮ ТРИВКІСТЮ ТА МІКРОТВЕРДІСТЮ МЕТАЛІВ

В. Г. МАРИНІН

Національний науковий центр "Харківський фізико-технічний інститут"

За дії кавітації, створюваній ультразвуковим вібратором у водогінній воді, експериментально визначено рівень руйнування перехідних металів, які належать до IV–VI груп періодичної системи. Показано, що тривкість металів за дії кавітації з похибкою $\pm 10\%$ визначає мікротвердість. Для попередньої оцінки тривкості можна використовувати співвідношення $Z_h = 2,42 \cdot 10^{-2} H_\mu^3$, де мікротвердість визначено в ГПа.

Ключові слова: *перехідні метали, кавітаційна тривкість, мікротвердість, взаємозв'язок.*

Короткий огляд досліджень можливості встановити емпіричну залежність між тривкістю металів за кавітації і одним або сукупністю механічних параметрів, що їм притаманні, подано в монографіях [1, 2]. Там зауважено, що серед можливих варіантів таких зв'язків більша кореляція між кавітаційною тривкістю і твердістю, але суттєвіша для матеріалів одного класу. Водночас зазначено, що в деяких дослідженнях не виявлено цієї залежності [3]. Тому нижче вивчено метали з різними кристалічними структурами, які використовують самостійно або в складі сплавів для виготовлення деталей різного обладнання.

Матеріали та методи досліджень. Вивчали монокристали молібдену та вольфраму, виготовленого з допомогою вдосконаленого обладнання [4]. Полікристали одержували відповідним литвом та методами порошкової металургії, а в деяких випадках – деформуючи монокристали. Зразки вирізали із заготовок на електроіскровому верстаті, шліфували, знімали наклепаний шар та електрополірували.

Кавітаційну зону, в якій розміщували зразки, створювали в установці МСВ [5], використовуючи з'єднаний з ультразвуковим генератором експоненціальний вібратор, який занурювали у ванну із водогінною водою. Амплітуда коливань поверхні вібратора $(30 \pm 2) \mu\text{m}$, а частота $(21 \pm 1,5) \text{kHz}$. Відстань між торцем вібратора і поверхнею зразка $0,5 \text{ mm}$. Знос у кавітаційній зоні визначали за ваговими втратами зразків з точністю $\pm 15 \mu\text{g}$. За співвідношеннями $Z_h = V_0/V_h$ або $Z_k = k_0/k_i$ обчислювали середні відносно еталона значення кавітаційної тривкості до руйнування за зміною глибини або втратою маси зразка. Величини V_0 , k_0 та V_h , k_i визначають середні швидкості руйнування в глибину і за масовими втратами еталона $V_0 = 1 \mu\text{m/h}$, $k_0 = 1 \text{ mg/h}$ та зразків V_h , k_i .

Мікротвердість вимірювали приладом ПМТ-3 під навантаженнями $0,196$ та $0,98 \text{ N}$. Всі матеріали досліджено в однакових умовах дії кавітаційної зони. Для деяких зразків виміряно також абразивний знос за дії жорстко закріпле-

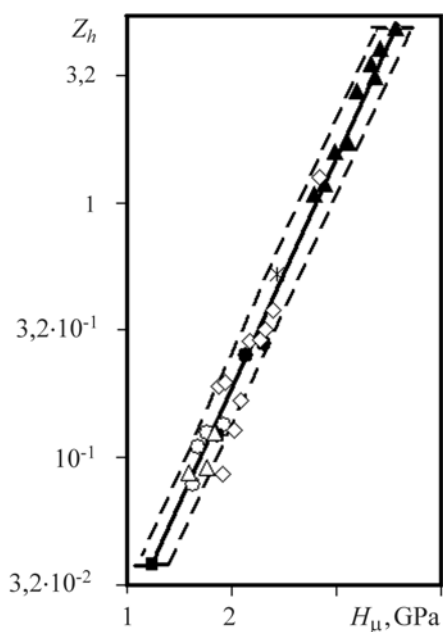


Рис. 1. Залежність кавітаційної тривкості металів від мікротвердості: ▲ – W; △ – Cr; ● – Zr; ○ – Ti; ◇ – Mo; ✱ – Hf.

Fig. 1. Dependence of cavitation durability (Z_h) of metals on microhardness (H_μ): ▲ – W; △ – Cr; ● – Zr; ○ – Ti; ◇ – Mo; ✱ – Hf.

дістю можна визначити взаємозв'язок між ними: $Z_h = c H_\mu^3$, де $c = 2,42 \cdot 10^{-2}$ (мікротвердість в GPa). Таким чином, мікротвердість є прийнятним критерієм, за яким можна прогнозувати кавітаційну тривкість матеріалів із похибкою $\pm 10\%$.

За результатами про кавітаційну тривкість і знос зразків, який вимірювали за об'ємом видаленого металу, за фіксований проміжок часу руйнування жорстко закріпленими абразивними зернами встановлено зв'язок між цими величинами окремо для кожного із досліджених металів (рис. 2).

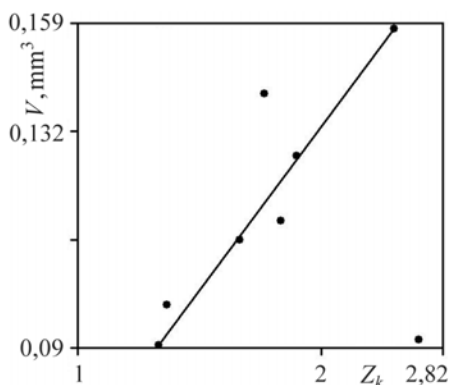


Рис. 2. Взаємозв'язок абразивного зносу V із кавітаційною тривкістю Z_k вольфрамових матеріалів.

Fig. 2. Interrelation of abrasive wear, V , and cavitation durability, Z_k , of tungsten materials.

них на диску абразивних часток. Досліджували за схемою диск–площина. Лінійна швидкість диска біля поверхні зразка 4,38 m/s з різним навантаженням на зразки, зокрема, для вольфраму 1,25 N.

Результати досліджень. Інтегральні дані з руйнування зразків визначали залежно від часу дії кавітації і за ними будували кінетичні криві для обчислення середньої швидкості руйнування. Одержані значення швидкості втрати маси перераховували на швидкість руйнування в глибину і обчислювали тривкість. Результати досліджень у логарифмічних координатах подано на рис. 1, де штрихові лінії ілюструють відхилення ($\pm 10\%$) від суцільної лінії, навколо якої знаходяться значення, експериментально виміряні для технічно чистих перехідних металів.

Як бачимо, всі експериментально визначені значення тривкості знаходяться в зоні, обмеженій штриховими лініями. За лінійною залежністю між кавітаційною тривкістю і мікротвер-

дістю можна визначити взаємозв'язок між ними: $Z_h = c H_\mu^3$, де $c = 2,42 \cdot 10^{-2}$ (мікротвердість в GPa). Таким чином, мікротвердість є прийнятним критерієм, за яким можна прогнозувати кавітаційну тривкість матеріалів із похибкою $\pm 10\%$.

За результатами про кавітаційну тривкість і знос зразків, який вимірювали за об'ємом видаленого металу, за фіксований проміжок часу руйнування жорстко закріпленими абразивними зернами встановлено зв'язок між цими величинами окремо для кожного із досліджених металів (рис. 2).

Виявлено, що для більшості вольфрамових зразків існує ступенева залежність типу $V = c Z_k^n$, тобто абразивний знос зростає зі збільшенням тривкості матеріалу зразків до кавітації. Величина $c = 7,5 \cdot 10^{-2} \text{ mm}^3$, якщо $n = 0,83$. Для деяких зразків має відхилення від цієї залежності. Зокрема, зразки, виготовлені із фольг товщиною 200...300 μm , кавітаційно та абразивно (малий знос) тривкі. А монокристал орієнтації (100) має загалом низьку ка-

вітаційну тривкість і надзвичайно високий абразивний знос. Такий взаємозв'язок обумовлений значною різницею в структурі і, вочевидь, пов'язаний із орієнтацією структурних складників до дії руйнівних чинників, які відрізняються за кавітації і абразивного зносу. Вплив структури на абразивну зносо-тривкість встановлено, наприклад, на сталях Гадфільда, X12Ф1, 12ХН3А [6, 7]. Зокрема, показано, що зразки з меншою твердістю тривкіші до абразивного зносу, ніж з більшою.

Отже, зв'язок між кавітаційною тривкістю, мікротвердістю та абразивним зносом досліджених металів існує у вигляді ступеневих функцій.

РЕЗЮМЕ. Определен износ в условиях воздействия кавитации переходных металлов IV–VI групп периодической системы. Показано, что для предварительной оценки стойкости этих металлов (Z_h) можно воспользоваться соотношением $Z_h = c H_\mu^3$ при измерении микротвердости в ГПа.

SUMMARY. The wear of IV–VI group metals under cavitation was determined. It was show that for preliminary evaluation of these metals stability (Z_h) the formula $Z_h = 2.42 \cdot 10^{-2} H_\mu^3$ can be used for measuring the microhardness in GPa.

1. Кнэпп Р., Дейли Дж., Хэммит Ф. Кавитация. – М.: Мир, 1974. – 687 с.
2. Эрозия / Пер. с англ. под ред. К. Прис. – М.: Мир, 1982. – 464 с.
3. Hammit F. G. et al. // Trans. ASME. Ser. D. – 1965. – 87. – P. 453–468.
4. А. с. СССР № 565433, М. Кл. В01 J 17/10. Устройство для бестигельной зонной плавки / В. Г. Маринин, Л. П. Нагорный, Н. П. Катрич, В. Г. Макеев. – 21.03.1977.
5. Коваленко В. І., Маринін В. Г. Обладнання для дослідження ерозії покриттів при мікро ударному діянні // Вопросы атомной науки и техники. Сер. ФРП и РМ. – 1998. – В. 5 (71). – С. 83–85.
6. Хрущов М. М., Бабичев М. А. Исследование изнашивания металлов. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – 351 с.
7. Тененбаум М. М. Сопротивление абразивному изнашиванию. – М.: Машиностроение, 1976. – 271 с.

Одержано 02.07.2009