

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторної роботи №7

«Прогнозування механізму і інтенсивності зношування на основі оцінки співвідношення твердості абразиву і матеріалу, що зношується» з дисципліни «Спеціальні методи підвищення зносостійкості деталей машин» для студентів освітньої програми «Відновлення та підвищення зносостійкості деталей і конструкцій» усіх форм навчання

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи № 7
«Прогнозування механізму і інтенсивності зношування на основі
оцінки співвідношення твердості абразиву і матеріалу, що
зношується» з дисципліни «Спеціальні методи підвищення
зносостійкості деталей машин» для студентів освітньої програми
«Відновлення та підвищення зносостійкості деталей і конструкцій»
усіх форм навчання / Укл.: М.І. Андрущенко, О.Є. Капустян. –
Запоріжжя: ЗНТУ, 2018. - 18 с.

Укладачі: М.І. Андрущенко, канд. техн. наук, доцент
О.Є. Капустян, старш. викл.;

Рецензент: М.Ю. Осіпов, канд. техн. наук, доцент

Редактор: І.П. Аверченко

Відповідальний за випуск: О.Є. Капустян

Затверджено
на засіданні кафедри ОТЗВ
Протокол № 4 від 25.10.2018

Рекомендовано до видання
НМК ІФФ
Протокол № 3 від 13.11.2018

ЗМІСТ

1 МЕТА РОБОТИ	4
2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ	4
3 ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ І КОНТРОЛЮ ПІДГОТОВЛЕНOSTІ СТУДЕНТІВ ДО РОБОТИ	14
4 МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТ, ПРИЛАДИ, ОБЛАДНАННЯ.....	15
5 ВКАЗІВКИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ.....	15
6 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ	16
7 ЗМІСТ ЗВІТУ	17
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	17

1 МЕТА РОБОТИ

Аналіз причин розходження результатів різних досліджень та їх трактувань, а також пошук додаткових факторів, що дозволяють зіставляти результати досліджень матеріалів різних структурних груп у широкому діапазоні властивостей абразивних мас.

2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Серед багатьох видів поверхневого руйнування деталей машин і обладнання за гостротою проблеми чільне місце, як і раніше, займає абразивне зношування. Пошук шляхів вирішення цього завдання безперервно супроводжується спробами знайти узагальнений критерій опору зношуванню. Відомий довгий перелік встановлених закономірностей зміни зносостійкості в залежності від різних властивостей матеріалів і параметрів умов експлуатації. Проте більшість дослідників відзначають обмеженість інтервалів їх існування в межах певних груп матеріалів або діапазонів умов зношування. Тому, вказуючи на складність і багатогранність процесу руйнування поверхні деталей абразивом, нерідко автори робіт аргументовано стверджують, що зносостійкість не властивість матеріалу, а один з параметрів системи: «матеріал - умови зношування» [1,2]. Найважливішим параметром такої системи є відношення твердості абразиву до твердості матеріалу, що зношується H_a/H_m . Понад 50 років тому Ваалем [3], Хрущовим М. М. і Бабічевим М. А. [4] були встановлені закономірності зміни інтенсивності зношування матеріалів від величини цього співвідношення (рис. 2.1). Характерним для них була наявність трьох зон, з різною інтенсивністю зношування. При співвідношеннях H_a/H_m відповідних першій зоні, механічне зношування практично не спостерігається до досягнення деякого критичного значення цієї величини, в третій зоні інтенсивність зношування досягає найбільшого рівня, який при подальшому збільшенні твердості абразиву практично залишається незмінним. Друга зона є проміжною, в її межах можна керувати

зносостійкістю шляхом зміни співвідношення H_a/H_M . Такі залежності, нерідко називають «S-образними кривими», є одними з найбільш часто цитованих закономірностей, поряд із широко відомими фундаментальними залежностями зносостійкості чистих металів, відпалених і загартованих вуглецевих сталей, встановлених Хрущовим М.М. і Бабічевим М.М. [4]. У роботах Тененбаума М. М. [5, 6] розглядається зворотнє відношення - H_M/H_a , іменоване коефіцієнтом K_T , однак суті підходу до аналізу даного питання це не змінює. Головний висновок, який випливає з аналізу цих закономірностей, полягає в тому, що існує можливість різкого зменшення інтенсивності зношування шляхом досягнення критичних значень співвідношення H_a/H_M .

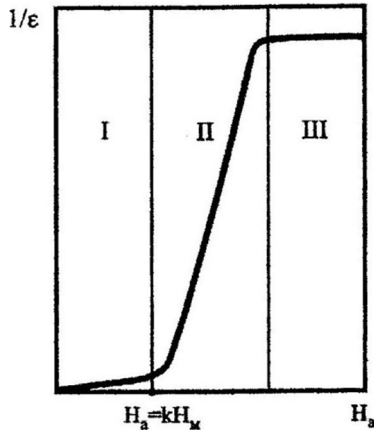


Рисунок 2.1 - Схема зміни інтенсивності зношування матеріалу твердістю H_M в залежності від твердості абразиву H_a [3,4]

Істотне підвищення зносостійкості, іноді близьке до стрибкоподібного, при критичних значеннях співвідношення H_a/H_M пов'язано зі зміною механізму зношування в результаті зниження твердості абразиву, або збільшення твердості поверхні, що зношується. При зменшенні значення H_a/H_M пряме різання змінюється полідеформаційним зношуванням, яке у свою чергу «поступається» місцем слабо протікаючому механохімічному процесу. Інтенсивність зношування при переході від одного механізму поверхневого руйнування до іншого зменшується на порядок. Свідченням протікання прямого різання є наявність мікростружки в продуктах зношування, а при полідеформаційному процесі руйнування

утворюються лускоподібні частинки. Відсутність продуктів обох видів вказує на те, що процес зношування є механохімічним. Прийнято вважати, що нижня межа діапазону значень H_a/H_m при яких відбувається перехід від механізму прямого різання до полідеформаційного зношування становить 1,3, а полідеформаційне зношування змінюється на механохімічне при співвідношенні 0,7 [7].

Значний інтерес до вивчення взаємозв'язку механізмів абразивного зношування і співвідношення твердості абразиву і матеріалу, що зношується, спостерігається до теперішнього часу. Зокрема, в роботі [8] представлені результати досліджень закономірностей зміни відносної зносостійкості від H_a/H_m при зношуванні матеріалів закріпленим і не закріпленим абразивом, у повітряно-абразивному потоці і при ударі по незакріпленого абразиву в найбільш широкому на даний час, на думку авторів, інтервалі твердості абразиву. Узагальнені результати показані у вигляді графіка функції безрозмірного показника C_a , (визначається як відношення відносної зносостійкості при зношуванні самим твердим абразивом до відносної зносостійкості на випробувальному абразиві) залежно від H_a/H_m . У цих дослідженнях було показано, що «відносна зношуюча здатність» абразиву наближається до нуля при значеннях H_a/H_m на рівні 0,7.

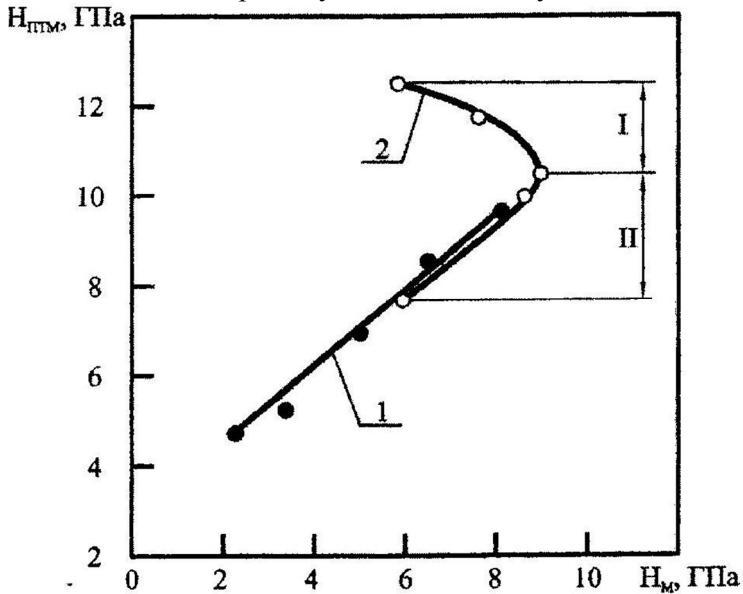
Таким чином, орієнтиром, що дозволяє прогнозувати механізм зношування і зносостійкість може бути співвідношення H_a/H_m . Однак, аналіз даних представлених у ряді робіт [9, 10, 11] показує, що вони далеко не завжди відповідають цим уявленням. Наприклад, у процесі дослідження закономірностей поверхневого руйнування сплавів абразивними масами на основі шамоту, широко вживаного при виробництві вогнетривких виробів, у продуктах зношування виявляли велику кількість мікростружки всупереч очікуванню, заснованому на показнику H_a/H_m , що змушувало до сумнівів відносно давно усталених положень теорії тертя і зношування. Крім того, залежність зносостійкості від співвідношення H_a/H_m за характером відмінна від звичного вигляду «S - подібних кривих». Ці обставини ускладнюють трактування результатів випробувань, оскільки вони не узгоджуються із загальновизнаними уявленнями про закономірності абразивного зношування і перешкоджають зіставленню і узагальненню даних різних досліджень та обґрунтованого планування подальших робіт.

Звертаючись до робіт - першоджерел [4 - 6], у яких були представлені закономірності у вигляді «S - подібних кривих», а також, аналізуючи пізніші дослідження в цьому напрямі, слід звернути увагу, що дані результати отримані, в основному, при дослідженні вуглецевих нелегованих сталей у відпаленому стані і термооброблених на мартенсито-цементитні структури різного ступеня відпуску, тобто в діапазоні структурних станів стабільних по відношенню до фазових перетворень в процесі зношування. При цьому, для оцінки співвідношення H_a/H_m авторами використовувалися значення вихідної твердості матеріалу. Однак, справжня твердість поверхні тертя, якщо істотний нагрів в процесі зношування був відсутній, значно перевищує вихідну твердість. Навіть на зразках з армкозаліза, в якому може бути задіяний тільки один механізм самозміцнення - дислокаційний, твердість у процесі зношування може збільшуватися на 2 ГПа (від 0,8 ... 1,0 ГПа до 3 ГПа) [12].

Узагальнюючи дані робіт [7, 9, 12, 13] нескладно встановити закономірність зміни твердості поверхні тертя, що набувається матеріалами в процесі зношування в залежності від вихідної твердості. У вуглецевих сталях типу У7 ... У10, в межах діапазону їх структурних станів від ферито-цементитного до мартенситного, мікротвердість поверхні тертя пропорційна мікротвердості до зношування (рис. 2.2, крива 1). Тому очевидно, що характер закономірності зміни зносостійкості в залежності від вихідної твердості буде практично таким же, як і від твердості, що набувається в процесі зношування.

Проте, в сталях із структурою, що включає аустенітну складову [9, 13], пропорційність між твердістю поверхні тертя і вихідної твердістю порушується. Наприклад, в сталі типу 140X12, при переході від структури відпущеного мартенситу (температура гартування 1050° С, температура відпуску 500° С, вихідна твердість 48 HRC) до мартенситу в не відпущеному стані (температура гартування 1050° С, 62 ... 64 HRC) мікротвердість поверхні тертя збільшується, як і в нелегованих вуглецевих сталях, пропорційно вихідної твердості (рис. 2.2, інтервал І). Проте при появі у вихідній структурі сталі залишкового метастабільного аустеніту, характер зміни мікротвердості, придбаной в процесі зношування, в залежності від вихідної твердості змінюється. Чим більше знижується первісна твердість зі збільшенням кількості залишкового аустеніту, тим вище

твердість поверхні тертя (рис. 2.2, інтервал II). Тому природно, що закономірності зміни опору зношуванню залежно від вихідної твердості матеріалу або від дійсної твердості поверхні тертя, істотно розрізняються. У зв'язку з цим практично неможливо коректне узагальнення, співставлення та трактування результатів досліджень сталей різних структурних груп, якщо в якості параметра, що характеризує властивості матеріалу використовувалася вихідна твердість. Очевидно, що значення критичних співвідношень H_a/H_m , що є орієнтиром при прогнозуванні механізму і інтенсивності зношування слід було б визначати тільки за значеннями твердості поверхні тертя як для сталей, в яких фазові перетворення не протікають в процесі зношування, так і для матеріалів у метастабільному стані.



1 - сталь У8; 2 - сталь 140X12 (I - інтервал структурних станів металевої матриці від мартенситу після високого відпуску, до мартенситного з максимальною вихідною твердістю, II - інтервал структурних станів від мартенситного, до переважно аустенітного)

Рисунок 2.2 - Взаємозв'язок між мікротвердістю поверхні до зношування (H_m) і мікротвердістю поверхні тертя ($H_{ПТМ}$) сталей в різному структурному стані

Виходячи з результатів робіт, в яких були встановлені критичні співвідношення H_a/H_m [4 - 7], але беручи до уваги що мікротвердість

поверхні тертя ($H_{\text{ПТМ}}$) була вище вихідної, нескладно порахувати, що величини відношення $H_a/H_{\text{ПТМ}}$, при якому зношуюча здатність абразиву прагне до нуля складе 0,5. Відсутність процесів прямого різання слід очікувати при значенні цього показника на рівні 1,2. Аналіз результатів наших досліджень підтвердив, що ці показники точніше характеризують «пороги» зміни механізмів зношування ніж критичні значення H_a/H_m , обчислені на основі вихідної твердості навіть для матеріалів, які прийнято вважати стабільними.

Однак, все ж у деяких випадках, прогноз про вид механізму зношування заснований і на величині уточненого показника $H_a/H_{\text{ПТМ}}$ не підтверджується. Зокрема, в процесі досліджень закономірностей поверхневого руйнування сплавів вогнетривкими масами на основі шамоту, у продуктах зношування виявляли мікростружку всупереч очікуванню, заснованому виходячи з рівня показника $H_a/H_{\text{ПТМ}}$. При цьому для оцінки цієї величини використовували довідкові дані про середню твердість шамоту. Мабуть, даних про середню мікротвердість зерен абразивних мас, які наводяться в літературі, не завжди достатньо для об'єктивної оцінки та прогнозування механізму зношування, особливо в тих випадках, коли твердість абразиву і матеріалу, що зношується знаходяться на близьких рівнях. Тому, враховуючи, що шамот є широко використовуваною абразивною масою - на його основі виготовляють більше мільйона тонн вогнетривів на рік, була проведена більш детальна оцінка мікротвердості зерен і зношуючої здатності цього матеріалу.

Для дослідження мікротвердості абразиву використовувалися частинки, що залишилися після просіювання на ситі з осередками 2 мм. Абразив перемішувався з мастикою АКР-7 і суміш заливалася в циліндричні форми. Після годинної витримки і двадцятихвилинного кип'ятіння мастика тверднула і міцно утримувала зерна, що знаходяться в ній. З цієї суміші шліф виготовлявся таким чином, щоб на поверхні знаходилися декілька зерен шамоту, мікротвердість яких вимірювалася на приладі ПМТ-3 при навантаженні 50 г.

Результати дослідження великої кількості абразивних зерен ($n = 100$) практично однакових форм і розмірів показали, що для них характерний широкий діапазон значень мікротвердості в інтервалі від $H_{a, \min} = 7$ ГПа до $H_{a, \max} = 15,9$ ГПа. Середні значення цього параметра близькі до літературних даних [7, 15], однак величина інтервалу (розмах розподілу R) при цьому значно ширше: $R = 8,9$ ГПа. Це і є

причиною того, що механізм зношування ряду матеріалів шамотом не відповідає попередньому прогнозу, що ґрунтується на інформації про середню твердість зерен. Важливий також характер розподілу цього показника.

Основні параметри розподілу H_a (таблиця 2.1) оцінювали відповідно до рекомендацій [14]. Характер емпіричної зміни мікротвердості, представлений у вигляді полігона і гістограми (рис. 2.3), дозволяє припустити нормальний закон її розподілу.

Таблиця 2.1 - Основні параметри емпіричного розподілу мікротвердості зерен шамоту

Найменування параметру	Значення
Кількість інтервалів, K	9
Ширина інтервалу, ΔH_a	0,989
Середнє значення $H_{a\text{cp}}$	12,3
Дисперсія, σ_{H_a}	3,339
Асиметрія, A	- 0,34
Ексцес, E	0,13

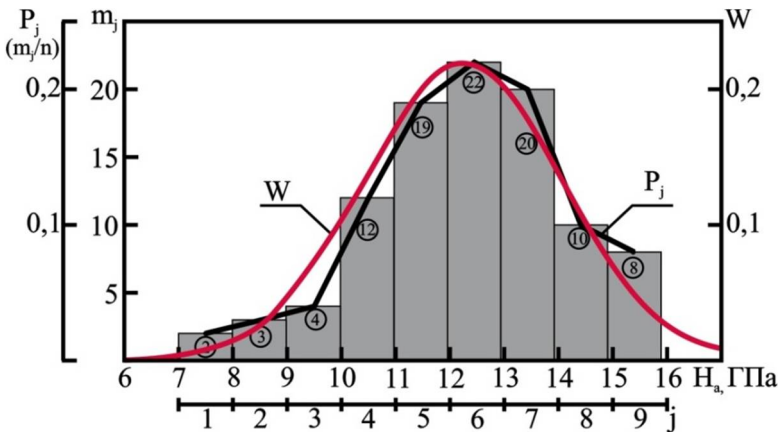


Рисунок 2.3 - Гістограма (m_j), полігон (P_j) і закон (W) розподілу мікротвердості зерен шамоту

Параметрами, які можуть вказувати на відхилення емпіричного закону розподілу від нормального, є асиметрія (A) і ексцес (E). Однак відомо [14], що абсолютні значення асиметрії та ексцесу не можуть бути критеріями оцінки «нормальності» закону розподілу.

У той же час, порівняння значень A і E з деяким критичним значенням цих параметрів може спростовувати гіпотезу про нормальність емпіричного закону.

Вибірковий розподіл є нормальним, якщо виконуються наступні умови [14]:

$$|A| \leq 1,5\sigma_A \quad (2.1)$$

$$\left| E - \frac{6}{n+1} \right| \leq 1,5\sigma_E \quad (2.2)$$

де σ_A і σ_E відповідно середньоквадратичні помилки коефіцієнтів асиметрії та ексцесу.

$$\begin{cases} \sigma_A = \sqrt{\frac{6(n-2)}{(n+1)(n+3)}}; \\ \sigma_E = \sqrt{\frac{24n(n-2)(n-3)}{(n+1)^2(n+3)(n+5)}}. \end{cases} \quad (2.3)$$

Результати розрахунку σ_A і σ_E дали наступні значення: $\sigma_A = 0,238$; $\sigma_E = 0,455$. Так як $A < 1,5 \cdot 0,238$ і $E < 1,5 \cdot 0,455$, то гіпотеза про нормальність вибіркового розподілу підтверджується.

Таким чином, щільність розподілу мікротвердості зерен шамоту $W(H_a)$ описується за відомим законом Гауса наступним виразом:

$$W(H_a) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_{H_a}} e^{-\frac{[H_a - M(H_a)]^2}{2\sigma_{H_a}^2}} \quad (2.4)$$

де H_a - значення випадкової величини;

$W(H_a)$ - математичне очікування величини H_a ;

σ_{H_a} - дисперсія величини H_a .

З метою отримання залежності, яка характеризує щільність розподілу показника $H_a/H_{\text{ПТМ}}$ - $W(H_a/H_{\text{ПТМ}})$, перетворимо вираз 4:

$$W(H_a) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_{H_a}} e^{-\frac{\left[\frac{H_a}{H_{\text{ПТМ}}} - M(H_a) \frac{H_{\text{ПТМ}}}{H_{\text{ПТМ}}}\right]^2}{2\sigma_{H_a}^2}} = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_{H_a}} e^{-\frac{\left[\frac{H_a}{H_{\text{ПТМ}}} - M(H_a) \frac{H_{\text{ПТМ}}}{H_{\text{ПТМ}}}\right]^2}{2\left(\frac{\sigma_{H_a}}{H_{\text{ПТМ}}}\right)^2}} \quad (2.5)$$

Тоді з отриманого виразу (2.5) щільність розподілу $W(H_a/H_{\text{ПТМ}})$ буде мати вигляд:

$$W(H_a/H_{\text{ПТМ}}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_{H_a/H_{\text{ПТМ}}}} e^{-\frac{\left[\frac{H_a}{H_{\text{ПТМ}}} - M\left(\frac{H_a}{H_{\text{ПТМ}}}\right)\right]^2}{2\sigma_{H_a/H_{\text{ПТМ}}}^2}} \quad (2.6)$$

де $M\left(\frac{H_a}{H_{\text{ПТМ}}}\right) = \frac{M(H_a)}{H_{\text{ПТМ}}}$ - математичне сподівання величини $H_a/H_{\text{ПТМ}}$;

$\sigma_{H_a/H_{\text{ПТМ}}} = \frac{\sigma(H_a)}{H_{\text{ПТМ}}}$ - дисперсія величини $H_a/H_{\text{ПТМ}}$.

Отриману залежність використовували при аналізі результатів тестувань дослідних безкарбідних сплавів, що мають різну здатність до зміцнення в процесі зношування (табл. 2.2). Випробування на зносостійкість проводили на лабораторному стенді, що імітує умови поверхневого руйнування деталей пресового оснащення для виготовлення вогнетривів на основі шамоту. Зношування здійснюється стовпом напівзакріпленої абразивної маси при зворотно-поступальному русі зразка.

Таблиця 2.2 - Результати досліджень дослідних безкарбідних сплавів, що мають різну здатність до зміцнення в процесі зношування

Номер сплаву	Хімічний склад, %		Кількість залишків аустеніту (А), %	Кількість мартенситу деформації (М), %	Мікротвердість до зношування ($H_{0,5}$), ГПа	Мікротвердість поверхні тертя ($H_{0,5}$), ГПа	Відносна зносостійкість ε
	С	Cr					
1	0,51	0,94	0	0	6,1	8,6	1 (еталон)
2	0,53	5,65	19	19	6,4	9,6	1,20
3	0,52	15,02	67	45	4,9	10,0	2,00
4	0,89	3,35	29	22	7,1	10,8	4,14
5	1,47	3,35	75	50	6,0	12,0	9,54

Аналіз кривих щільності розподілу відношення мікротвердості абразиву і вихідної мікротвердості поверхні тертя дослідних сплавів $W(H_a/H_M)$ (рис. 2.4), показує, що на початку процесу зношування

практично всі зерна абразиву можуть виконувати пряме різання. По мірі зміцнення матеріалу вірогідність цього процесу знижується (рис. 2.4). Однак у сплавах з недостатньо високою кількістю мартенситу деформації і, головне, з пониженим вмістом вуглецю, значна частина зерен, для яких відношення H_a/H_m нижче критичного, здатна здійснювати одноактний процес руйнації. Тому ці сплави характеризуються порівняно низькою зносостійкістю. Про це свідчать також глибокі борозни на зношеній поверхні і наявність у продуктах зношування великої кількості мікростружки у вигляді розтягнутих спіралей або дуг, що є наслідком процесу одноактного відділення мікрооб'єму металу від поверхні тертя. Зі збільшенням кількості мартенситу деформації і вмісту вуглецю в твердому розчині мікротвердість поверхні досягає 12 ГПа, співвідношення H_a/H_m , в основному, стає нижче критичного (рис. 2.4). Частка одноактних процесів руйнування поверхні зменшується, зношування відбувається в основному в результаті полідеформаційного руйнування. Про переважання цього виду зношування при зміцненні шару до 12 ГПа, вказує практично повна відсутність мікростружки в продуктах зношування і наявність лусочок, характерних для втомного руйнування.

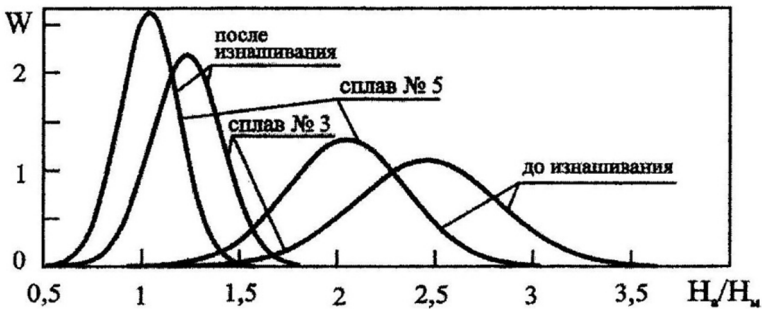


Рисунок 2.4 - Криві щільності розподілу (W) відношення мікротвердості абразиву до мікротвердості матеріалу (H_a/H_m)

Таким чином, при прогнозуванні механізму абразивного зношування і рівня зносостійкості за показником H_a/H_m , як стабільних по відношенню до фазовим перетворенням, так і метастабільних матеріалів, слід виходити із значення твердості поверхні тертя, що набувається в процесі зношування ($H_{птм}$). Величина цього відношення,

при якому пряме різання поверхні змінюється полідеформаційним зношуванням, знаходиться на рівні 1,2, а зношуюча здатність абразиву наближається до нуля (перехід до механохімічного зношування), якщо $H_a/H_{птт}$, досягає 0,5. При зношуванні матеріалів абразивними масами, що складаються із зерен, мікротвердість яких змінюється в широкому діапазоні, необхідно враховувати характер розподілу частотного розподілу цього параметра.

3 ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ І КОНТРОЛЮ ПІДГОТОВЛЕНOSTІ СТУДЕНТІВ ДО РОБОТИ

1. Який параметр є найважливішим в системі «матеріал - умови зношування» при прогнозуванні механізму поверхневого руйнування та інтенсивності зношування?

2. Зобразіть схему зміни інтенсивності зношування матеріалу твердістю H_m в залежності від твердості абразиву H_a

3. Які механізми зношування матеріалу можуть діяти в залежності від значення H_a/H_m і як при цьому змінюється інтенсивність зношування?

4. Розкрийте взаємозв'язок між мікротвердістю поверхні до зношування (H_m) і мікротвердістю поверхні тертя ($H_{птт}$) сталей в різному структурному стані.

5. Що є признаком протікання мікрорізання поверхні абразивом?

6. Розкрийте методику підготовки абразивних зерен до випробувань на мікротвердість.

7. Що таке шамот, електрокорунд і карборунд?

8. При яких значеннях $H_a/H_{птт}$ пряме різання поверхні змінюється полідеформаційним зношуванням?

9. Нормальний розподіл (закон Гаусса). Поясніть на прикладі рис. 2.4.

10. Що потрібно враховувати при зношуванні матеріалів абразивними масами, які складаються із зерен, з широким діапазоном мікротвердістю?

4 МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТ, ПРИЛАДИ, ОБЛАДНАННЯ

1. Зерна муліту.
2. Мастика АКР-7.
3. Зразки із дослідних матеріалів.
4. Циліндричні форми.
5. Набір цифрових фотографій структур.
6. Оптичний мікроскоп NU-2.
7. Комп'ютер.
8. Прилад для визначення твердості за шкалою Роквелла.
9. Прилад для визначення твердості за шкалою Віккерса.
10. Прилад для визначення мікротвердості ПМТ-3.
11. Лабораторний стенд для випробування матеріалів на зносостійкість.
12. Верстат для полірування зразків.

5 ВКАЗІВКИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

Використовувані при виконанні роботи прилади підключаються до мережі змінного струму напругою 220 В. Тому існує небезпека враження електричним струмом, а також травмування диском, що обертається на верстаті.

Щоб попередити виникнення подібних нещасних випадків, а також пошкодження апаратного забезпечення обладнання, необхідно виконувати певні вимоги безпеки.

1. Приступати до роботи після прослуховування інструктажу по техніці безпеки у керівника роботи і засвоєння матеріалу даних методичних вказівок.

2. Включати верстат і освітлювальний пристрій за дозволом викладача або лаборанта.

3. Виконувати тільки ту роботу, яка передбачена завданням.

4. Переконатися в надійності заземлення електродвигуна верстата, електроізоляції кабелю і проводів.

5. Виявляти особливу уважність і акуратність при роботі.
6. Не торкатися рухомих і струмоведучих частин обладнання.
7. Працювати на верстаті в спецодязі із застібнутими манжетами.
8. Повідомляти викладачеві або лаборанту про виниклі несправності обладнання, не намагатися усунути їх самостійно.
9. Виконувати роботу при наявності в лабораторії не менше двох осіб.
10. Після закінчення роботи вимкнути верстат і освітлювальний пристрій мікротвердоміра, привести в порядок робоче місце.

6 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

- 6.1 Абразивні зерна перемішати з мастикою АКР-7 і суміш залити в циліндричні форми.
- 6.2 Після годинної витримки і двадцятихвилинного кип'ятіння мастика затвердне і міцно буде утримувати зерна, що знаходяться в ній.
- 6.3 З цієї суміші виготовити шліф таким чином, щоб на поверхні знаходилися декілька зерен шамоту.
- 6.4 Провести заміри мікротвердості 10 зерен на приладі ПМТ-3 при навантаженні 50 г.
- 6.5 Провести заміри мікротвердості поверхні тертя зразка дослідної сталі до зношування.
- 6.6 На лабораторному стенді провести випробування зразка дослідної сталі.
- 6.7 Провести заміри мікротвердості поверхні тертя зразка дослідної сталі після зношування.
- 6.8 Обробити результати. Скласти звіт.

7 ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Найменування і мета роботи.
2. Короткі теоретичні відомості про самозміцнення сталей і сплавів в процесі зношування.
3. Хімічний склад досліджених сталей та опис їх структур.
4. Методика випробувань.
5. Хімічний склад абразивів.
6. Таблиця результатів досліджень.
7. Гістограма розподілу мікротвердості зерен абразиву.
8. Аналіз результатів.
9. Висновки.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Поверхностная прочность материалов при трении / Костецкий Б.И., Носовский И.Г., Караулов А.К. и др. - К.: Техника, 1976. - 292 с.
2. Mutton P.J. High stress abrasion testing of wear // Resistant Materials Technical Bulletin. - 1980. - V.24, -.№1 - P 34-38.
3. Wahl H. Verschleissprobleme im Braunkohlenberhbau. – «Braunkohle, Wärme und Energie», 1951, Bd 3, № 5/6, S. 75-87.
4. Хрущев М.М., Бабичев М.А. Исследование изнашивания металлов. - М.: Изд-во АН СССР, 1960.-351 с.
5. Тененбаум М.М. Сопротивление абразивному изнашиванию. - М.: Машиностроение, 1976. - 271 с.
6. Тененбаум М.М. Износостойкость конструкционных материалов и деталей машин. - М.: Машиностроение, 1966.-331 с.
7. Хрущев М.М., Бабичев М.А. Абразивное изнашивание. - М.: Наука, 1970. - 272 с.
8. Сорокин Г.М., Малышев В.Н. Влияние абразива на природу механического изнашивания / Вестник машиностроения. - 2006. - № 11. - С. 25 - 28.
9. Восстановление и повышение износостойкости и срока службы деталей машин. / Под. ред. В.С. Попова. - Запорожье: Изд-во ОАО «Мотор Сич», 2000. - 394 с.

10. Андрущенко М.Д., Рузов О.Э. Куликовский Р.А., Брыков Н.Н. Влияние углерода и хрома на способность к упрочнению и износостойкость бескарбидных сталей в условиях абразивного изнашивания // Проблемы трибологии, - 2003. - № 2. - С. 112-116.

11. Брыков Н.Н., Пугачев Г.А., Брыков М.Н. Влияние условий изнашивания на степень упрочнения и износостойкость метастабильных аустенитных сплавов / Проблемы трибологии. - 2003. - № 3-4. - С. 158-173.

12. Torrance A.A. The correlation of abrasive wear tests / Wear. - 1980, Vol. 63, N 2. - P. 359-370.

13. Пугачев Г.А. Исследование износостойкости сплавов при трении в абразивной массе и разработка наплавочных материалов / Дис. канд. техн. наук: 05.16.01 - Запорожье, 1979. - 216 с.

14. Алиев А.Г. Планирование и статистическая обработка эксперимента. Учебное пособие. - 2-е изд., перераб. - Воронеж: ВПИ, 1980. - 80 с.

15. Добровольский А.Г., Кошеленко П.И. Абразивная износостойкость материалов: Справочное пособие. - К.: Техніка, 1989. - 128 с.