

АБРАЗИВНА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ В УМОВАХ ЗНОШУВАННЯ ЗАКРІПЛЕНИМ АБРАЗИВОМ

Олександр Добровольський¹, Валерій Косенко²

¹Київський національний університет будівництва і архітектури,
Воздухофлотський проспект, 31, Київ, Україна, e-mail: dobrovolsky34@ukr.net

²Університет "Україна",
вул.Львівська, 23, Київ, Україна, e-mail: ukraine.vdk@mail.ru

ABRASIV WEAR RESISTANCE STRUCTURAL MATERIALS IN THE ABRASIV WEAR IS FIXED

Alexander Dobrovolsky¹, Valeriy Kosenko²

¹Kyiv National University of Construction and Architecture,
03680, Povitroflotsky Avenue 31, Kyiv, Ukraine, e-mail: dobrovolsky34@ukr.net

²University "Ukraine",
03115, vul. Lvivska, 23, Kyiv, Ukraine

АНОТАЦІЯ. Наведені значення абразивної зносостійкості сталей, чавунів, кольорових металів і сплавів на їх основі, керамічних матеріалів, пластмас. Результати випробування отримані за єдиною стандартною методикою при терті зразків на машині Х4-Б.

Ключові слова: сталі, чавуни, кольорові метали, кераміка пластмаси, абразивна зносостійкість, абразив.

АННОТАЦИЯ. Приведены значения абразивной износостойкости сталей, чугунов, цветных металлов и сплавов на их основе, керамических материалов, пластмасс. Результаты исследований получены при использовании единой стандартной методики с применением машины трения Х4-Б.

Ключевые слова: стали, чугуны, цветные металлы, керамика, пластмассы, абразивная износостойкость, абразив.

ABSTRACT. Purpose. The results of studies of the abrasive wear resistance of structural materials. **Methodology / approach.** The research results obtained by using a single standard methodology using friction machine. Х4-Б. **Finding.** The values of the abrasive wear resistance of steels, cast irons, non-ferrous metals and their alloys, ceramic materials, plastics. **Reserch lemitation / implication.** It is shown that more abrasive wear resistance than austenitic steels have white cast irons, ceramics, coverage. **Originaliti / volue / Creation.** New wear-resistant materials should be more widely application.

Key words : steel, cast iron, non-ferrous metals, ceramics, plastics, abrasive wear resistance, abrasive.

ВСТУП

Абразивному зношуванню підлягають деталі сільськогосподарських, дорожньо-будівельних, гірничих, транспортних машин і засобів транспортування, вузли металургійного обладнання, металорізальних верстатів тощо [1, 2]. В зв'язку з тим, що одну третину світових енергетичних витрат пов'язано з відновленням зношеного устаткування і більше половини цих витрат виникає через абразивне зношування, впровадження у виробництво нових абразивно зносостійких матеріалів наразі являється актуальною задачею у машинобудуванні.

МЕТА РОБОТИ

Механізм і інтенсивність абразивного зношування суттєво залежать від властивостей абразиву і умов тертя. Абразиви можуть мати більшу або меншу твердість, крихкість, міцність, бути закріпленим або у вигляді сипучої маси. Абразив може рухатись з різними швидкостями, повільно або дуже динамічно (з ударом), діяти на деталь під різним тиском, рухатись в суміші з газами або рідиною, діяти під різним кутом до поверхні деталі тощо. В цих умовах може підвищуватись температура поверхні тертя, можуть змінюватись поверхневі властивості матеріалу, що зношується, збільшувати або, навпаки, зменшувати свою міцність, твердість та інші властивості. В

такому багатofакторному впливі на матеріали однозначно визначатися із зносостійкістю як з властивістю неможливо. Таким чином – зносостійкість не властивість матеріалу, а результат взаємодії різних факторів.

Щоб наблизити поняття зносостійкості до поняття властивості треба обмежити коло факторів, що діють на матеріал при абразивному зношуванні. Для цього в роботах [2,3] було класифіковано абразивне зношування по видах, враховуючи ступінь закріпленості абразиву, а також характер його дії на деталь, що зношується

В зв'язку з тим, що результати вимірювання абразивної зносостійкості залежать від виду зношування, в цій роботі наведені данні, які були отримані за єдиною методикою випробування і однаковими умовами вимірювання, а саме, на машині тертя Хрущова – Бабічева Х4-Б (ГОСТ 17367-71) [4], який відноситься до методу випробування закріпленим абразивом. Це дало можливість більш реально оцінювати відносну зносостійкість матеріалів різних класів. В якості основного критерія було застосовано характеристику відносної зносостійкості, яка розраховувалась за формулами

$$\varepsilon = \Delta V_e / \Delta V_i; \quad (1)$$

$$\varepsilon = \Delta m_e \rho_i / \Delta m_i \rho_e; \quad (2)$$

$$\varepsilon = \Delta m_e / \Delta m_i, \quad (3)$$

де V_e і V_i - відповідно об'єми еталону і зразка після випробування, m_e і m_i - відповідно, маси еталону і зразка, які випробовуються, ρ_e і ρ_i - відповідно, щільність матеріалів еталону і зразка, які випробовуються. Якщо щільності еталону і зразка, який випробовується, були однакові, застосовували формулу (3). У якості матеріалу еталону використовували відпалене технічне залізо, вміст вуглецю в якому не перевищував 0,02% або відпалену сталь 45, в якості абразиву застосовували корундову абразивну шкурку, твердість якої складає HV 20150...22500 МПа.

Практично зношування закріпленим абразивом відбувається при роботі скребкових конвєсєрів, ножів бульдозєрів, ковшів екскаваторів гірського інструменту, під час тертя штанги бура по породі, при обробці матеріалів абразивним інструментом тощо

В технічній літературі, в тому числі і в підручниках [3, 4], зносостійкими вважаються аустенітні сталі такі, як 110Г13Л та інші, які після певної термообробки приймають метастабільну аустенітну структуру, здатну в процесі роботи деталі перетворюватись на зносостійку мартенситну, завдяки чому, поверхня деталі в умовах абразивної дії та високих навантажєнь стає відносно зносостійкою. В роботі [5] нами було надані результати досліджень абразивної зносостійкості таких сталей. Їх відносна абразивна зносостійкість за методикою, що описана вище, складала $\varepsilon = 3 - 4$, а у деяких, що були леговані хромом, марганцем та іншими хімічними елементами доходила навіть до $\varepsilon = 8$. В зв'язку з тим, що в якості зносостійких можна застосовувати інші матеріали, в цій роботі зроблено спробу надати порівняну оцінку зносостійкості матеріалів різних класів.

ВИКЛАД МАТЕРІАЛУ

Найбільший вплив на абразивне зношування має відношення H_a/H_m (рис.1), де H_a і H_m - відповідні значєння твердості абразиву і матеріалу, що випробовується.

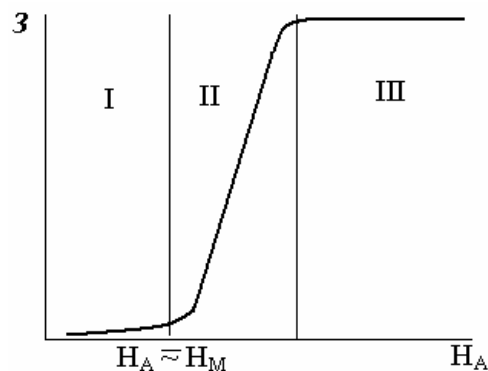


Рис. 1. Залежність зносу матеріалу Z за Ваалем [1]

Fig. 1. Dependence of wear on materials Z from Vaal [1]

При зношуванні закріпленим абразивом останній володіє властивостями ріжучої або дряпаючої дії при умові

$H_a / H_m > 0,7 \dots 1,1$, де H_a і H_m - значєння твердості абразиву і матеріалу, що зношу-

ється. Якщо відношення H_a / H_m буде меншим, ніж 0,7 ...1,1, то абразивного зношування відбуватися не буде, але знос матеріалу можливий за рахунок інших видів зношування, наприклад, втоми матеріалу, які звичайно характеризуються значно меншою інтенсивністю. В зоні, коли $H_a/H_m > 1,7...5,5$ знос буде великим і стабільним, який не залежить від відношення H_a/H_m . При умові, коли $H_a/H_m > 1,3$, але менше 1,7...5,5 відбувається тенденція до збільшення зносостійкості при збільшенні твердості матеріалу.

Більшість матеріалів, що застосовуються в якості абразивно зносостійких, мають меншу твердість ніж твердість корунду. Закономірність їх зношування знаходиться в зоні II (рис.1), тому при випробуванні на машині тертя Х4-Б із застосуванням корундової шкурки вони повинні зношуватись і тим сильніше, чим більшим буде відношення H_a/H_m .

Нижче наведені результати досліджень абразивної зносостійкості металів, сталей, чавунів, сплавів на основі кольорових матеріалів, кераміки, покриттів.

Метали і Сталі. При умові зношування в II зоні (рис. 1) для металів і відпалених сталей зносостійкість має пряму залежність від твердості згідно формулі

$$\varepsilon = KHV, \quad (4)$$

а для термічно зміцнених сталей

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + C_1 (HV_1 - HV), \quad (5)$$

де K – константа, яка залежить від твердості еталону. Для еталону, виготовленого з відпаленого технічного заліза $K = 0,7$; ε_0 і HV – відносна зносостійкість і твердість сталі у відпаленому стані; C_1 – константа; HV_1 – твердість сталі після термічної обробки.

Випробування на машині тертя Х4-Б різних сталей показало, що на зносостійкість переважно впливає їх твердість (рис 2.). Залежно від марки сталі і виду термічної обробки твердість сталей може мати значення HV від 0,1 до 8 ГПа, а після лазерної обробки – сягати 11ГПа, що обумовлює широкий діапазон значень абразивної зносостійкості цієї групи матеріалів.

Термічна та інші види обробок дозволяють зміцнювати сталі, підвищувати їх уда-

рну в'язкість, витривалість та інші властивості, сприяють розширенню їх застосування як матеріалу, стійкого до абразивного зношування. Дослідження сталей, що проводились на машині тертя Х4-Б, показали, що інтенсивність зношування сталей із збільшенням тиску підвищується лінійно, а швидкість тертя впливає мало. Наприклад, при зміні швидкості тертя з 0,17 до 2,74 м/с (в 16 разів) інтенсивність зношування відпаленої сталі марки 40 підвищується на 13%, а загартованої сталі марки 45 – на 5,5%.

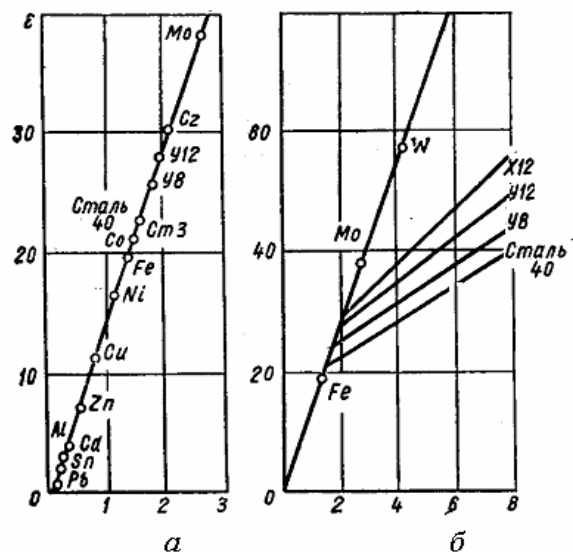


Рис. 2. Залежність відносної зносостійкості ε при зношуванні по карборундовій шкурці від твердості матеріалів, що зношувались: *a* – технічно-чистих металів і вуглецевих сталей у відпаленому стані; *б* – сталей Y12, X12, Y8 і 40 у відпаленому і термічно обробленому стані (гартування, відпуск) [6].

Fig. 2. Dependents of relative abrasive wear resistance ε at karborundoviy skin on the hardness of the materials wear: *a* - technically pure metals and carbon steels in the annealed condition; *b* - steels Y12, X12, Y8 and 40 in the annealed and thermally treated state (hardening, tempering) [6].

Відхилення від таких залежностей спостерігаються для сталей з аустенітною метастабільною структурою, поверхнева твердість яких під час тертя збільшується, або у випадках зношування неоднорідних структур, які містять тверді та крихкі частинки, здатні до мікросколювання. Подібне явище відбувається при зношуванні сплавів сис-

теми С - Cr - Mn - Ni - В, які містять крихкі частинки карбідів і карбоборидів .

Зносостійкість вуглецевих сталей залежить від структури. Якщо розташувати структури у порядку збільшення зносостійкості, то отримаємо ряд: ферит, перліт, перліт-цементит, сорбіт, тростит, мартенсит. Отак, відносна абразивна зносостійкість ϵ вуглецевої відпаленої сталі 10, що має переважно феритну структуру, $\epsilon = 1,05$, а у сталі У 12, структура якої перліт-цементит, $\epsilon = 1,5$. Значно збільшується зносостійкість сталей при застосуванні термічної обробки (гартування і відпуск). Данні [1, 6] показують, що зносостійкість сталі У 12 після термічної обробки може збільшитись до $\epsilon = 2,619$.

Леговані сталі у відпаленому або нормалізованому стані за рахунок збільшення твердості при легуванні володіють відносно більшою абразивною зносостійкістю. Отак, конструкційні низько леговані сталі 15Х, 20Г, 15ХМ та ін. (HV1,59-1,77 ГПа) мають $\epsilon = 1,12-1,25$, а сталі з більшою кількістю вуглецю і легуючих елементів такі, як 30ХРА, 40Х2Н2МА, 40ХМФА, 30ХН2МФА та ін. (HV 2,4- 2,72 ГПа), мають $\epsilon = 1,7-1,92$.

Для важких умовах експлуатації деталей (щопи дробарок, коронки землерийних машин та інші) в умовах праці при високому тиску і абразивно-ударних навантаженнях було створено клас аустенітних зносостійких, сталей, які характеризуються високою в'язкістю, незначною твердістю, гарними міцністю і зносостійкістю. Для цих сталей твердість не стає головною характеристикою, що обумовлює високу абразивну зносостійкість. Першою з такими характеристиками було створено сталь 110Г13Л (ГОСТ 977-88) [5, 7]. Після гартування ця сталь отримує метастабільну аустенітну структуру, яка в процесі експлуатації в умовах праці при високому тиску і абразивно-ударних навантаженнях здатна перетворюватись в мартенситну структуру. При цьому деформована поверхня деталі стає більш твердою (HV 6 ГПа) і зносостійкою, а інша частина деталі подовжує зберігати структуру аустеніту з усіма його високими властивостями в'язкості і міцності. Велика

твердість на поверхні деталі обумовлює її високу зносостійкість. В процесі експлуатації поверхневі шари поступово зношуються але наступна пластична деформація сприяє перетворенню аустеніту в мартенсит, що обумовлює відносно високу зносостійкість сталі ($\epsilon = 3$) на протязі всієї роботи деталі.

Сталь 110Г13Л широко застосовують в промисловості в якості зносостійкої [5...9]. Її переваги перед іншими сталями проявляються лише при великих динамічних або статичних навантаженнях. При невеликих навантаженнях в умовах абразивного зношування деформаційне мартенситне перетворення не відбувається, в зв'язку з чим зносостійкість сталі 110Г13Л являється низькою і застосування її стає не виправданим.

Більшою абразивною зносостійкістю ніж сталь 110Г13Л володіють відливки зі сталі з аустенітно-мартенситною структурою, що включає карбіди титану або цирконію і мінімальну кількість евтектик. Їх відносна зносостійкість сягає значень $\epsilon = 4,8 - 7,5$. Збільшенню абразивної зносостійкості цих сталей сприяють домішки молібдену і бору. Після відпалу абразивна зносостійкість хромотитанових і хромоцирконієвих сталей знижується, але після гартування з наступним низьким відпуском її значення наближується до тих, які мають у литих сталей, а іноді і перевищують їх.

На основі сталі 110Г13Л були розроблені і випускаються такі марки аустенітних зносостійких сталей: 110Г13ФТЛ 130Г14ХМФАЛ, 120Г10ФЛ, 120Г13Х2БЛ, 110Г13Х2БРЛ, 110Г13Х2ТЛ 110Г13ХМЛ.

Абразивна зносостійкість сталей з аустенітною структурою залежить від ступеню метастабільності аустеніту і чим вона вище, тим більше зносостійкість. Стабільний аустеніт не володіє високим опором абразивної дії. Наприклад, зносостійкість загартованої сталі 20Х18НД і 110Г13Л зі стабільною аустенітною структурою близька до зносостійкості вуглецевих сталей тієї ж твердості [5].

Було також показано, що аустенітну метастабільну структуру може мати вуглецева сталь, що містить 2% вуглецю, якщо її

загартувати з 1100 °С. Значення її відносно зносостійкості складає $\epsilon = 3$ при твердості HV 4 ГПа. У вуглецевих сталей з меншою кількістю вуглецю ніж 2% твердість після гартування стає вищою, а зносостійкість – меншою.

Таким чином, абразивна зносостійкість аустенітних сталей не залежить від їх твердості. Такий же висновок можна зробити і для сталі X12Ф1, яка в результаті гартування з температури 1170 °С отримує аустенітно-мартенситну метастабільну структуру. В результаті такого гартування вміст аустеніту в структурі складає 83,7 % , мікротвердість дорівнює HV 5,2 ГПа, відносна абразивна зносостійкість $\epsilon = 8,2$.

Після гартування цієї сталі з температур більших або менших ніж 1170 °С утворюються структури, які містять меншу кількість метастабільного аустеніту. В результаті відносна зносостійкість зразків стає меншою і дорівнює таких значень: $\epsilon = 2$ (при гартуванні з 1020 °С), $\epsilon = 3$ (при гартуванні з 1050 °С) або $\epsilon = 5,3$ (при гартуванні з 1230 °С) [5].

Чавуни. Абразивна зносостійкість чавунів залежить від складу і структури. Якщо основні структурні складові чавунів (фаза) розставити у порядку збільшення твердості, то отримуємо наступний ряд: графіт, ферит, перліт, аустеніт, мартенсит, цементит, карбіди хрому, вольфраму, ванадію та інших хімічних елементів. Сірі, ковкі і високоміцні чавуни, які складаються з графіту і металевої основи, що структурно являє собою ферит, феритоперліт або перліт, володіють низькою абразивною зносостійкістю. Білі чавуни, або чавуни, структура яких вміщує різні карбідні фази, є зносостійкими. Найбільшою зносостійкістю характеризуються чавуни з аустенітною, мартенситною або аустенітно-мартенситною основою, які забезпечують міцне утримання твердих карбідних складових і перешкоджають їх викришуванню.

Переважаючою структурною складовою білих чавунів є цементит Fe_3C або $(\text{Fe},\text{Cr})_3\text{C}$ та інші карбіди, які утворюються при наявності карбідоутворюючих хімічних елементів, таких як титан, молібден вольфрам та інших... Крім карбідної в структурі

таких чавунів існує нетверда металева фаза. Якщо такі чавуни загартувати і відпустити при 200°С, то абразивна зносостійкість їх підвищується завдяки перетворенню перлітної складової в мартенсит. Додатковим легуванням отримують більш зносостійкі чавуни завдяки зміцненню металевої матриці і утворенню карбідів, які володіють більшою твердістю ніж цементит. Відносна зносостійкість зносостійких чавунів при випробуванні на машині Х4-Б складає 2 -7.

Кольорові метали і сплави. Внаслідок низької твердості майже всі кольорові метали недостатньо протидіють абразивному зношуванню. Виключенням являються хром, берилій, молібден і вольфрам, які мають такі властивості: хром – HV7-13 ГПа, $\epsilon = 1,552$; берилій - HV3,136 ГПа, $\epsilon = 2,253$; молібден - HV2,763 ГПа, $\epsilon = 1,974$; вольфрам - HV4,165 ГПа, $\epsilon = 3,010$ [1]. Але ці матеріали звичайно не застосовують в якості конструкційних матеріалів для роботи в абразивному середовищі внаслідок їх високої ціни. В той же час хром часто застосовується в якості зносостійкого покриття.

Керамічні матеріали. В промисловості в якості абразивно зносостійких керамічних матеріалів практично застосовують оксиди, карбіди, бориди, нітриди та порошкові сплави на їх основі, які володіють високою твердістю, завдяки чому за значенням H_a/H_m вони знаходяться у зоні I (рис.1) або наближуються до неї і характеризуються високими значеннями зносостійкості при випробуванні на машині тертя Х4-Б. Наприклад, оксид алюмінію (Al_2O_3) має твердість HV 22 ГПа, TiC – HV 32 ГПа, WC – HV 16,4 ГПа, Cr_3C_2 – HV 17,5 ГПа, V_4C - HV 50 ГПа, TiN – HV 20 ГПа. Недоліком цих матеріалів є крихкість, яка знижує зносостійкість. Наприклад, відносна зносостійкість більш твердого TiC складає $\epsilon = 15$, а для менш крихкого WC, який володіє меншою твердістю, $\epsilon = 55$.

Зносостійкі покриття. В якості абразивно зносостійких матеріалів покриття застосовують матеріали, що володіють більшою твердістю за твердість сталей. Це такі матеріали: хром (HV7-13 ГПа), бориди за-

ліза FeB і Fe₂B (HV18-23 ГПа), нітрид титану TiN (HV20 ГПа) та ін.

За законом Вааля їх слід поділити на такі, що працюють в зоні I і такі, що працюють у зоні II (рис. 1).

Матеріали, що працюють в зоні I мають більшу твердість за твердість абразиву. Співвідношення H_a / H_m для них буде меншим ніж 0,7 ...1,1, в зв'язку з чим абразивного зношування, що може супроводжуватись ріжучою або дряпаючою дією на поверхні з утворенням відповідної стружки, відбуватися не буде. Але знос матеріалу можливий за рахунок інших факторів, таких як крихкість, товщина шару покриття, характер щеплення покриття з металевою основою, властивості основи (її твердість, міцність, коефіцієнт термічного розширення), втота матеріалу, форма абразиву тощо. Наприклад, відносна зносостійкість боридного покриття на сталі 10 складає $\epsilon = 121,9$, боридного покриття на сталі 65 $\epsilon = 132...136$, боридного покриття на сталі 38ХМЮА $\epsilon = 92...110,5$. Такі високі значення відносно абразивної зносостійкості боридних покриттів на сталях пояснюються не тільки їх високою твердістю, а також високою міцністю з'єднання покриття зі сталлю. На різницю значень відносно зносостійкості в цих випадках в більшій мірі впливає твердість металевої основи і характер зчеплення покриття з основою.

Матеріали, що працюють в зоні II мають меншу твердість ніж твердість абразиву. Співвідношення H_a / H_m для них буде більшим ніж 0,7 ...1,1, в зв'язку з чим буде відбуватися абразивне зношування, яке супроводжується ріжучою або дряпаючою дією на поверхні з утворенням відповідної стружки. В зв'язку з цим зносостійкість гальванічного покриття з хрому, що володіє твердістю HV 9,8 ГПа при випробуванні на машині тертя Х-4Б при застосуванні корундового абразиву складає лише $\epsilon = 6,65$. В цьому випадку співвідношення H_a / H_m складає 1,7 (твердість корунду HV 22 ГПа, твердість хрому HV 13 ГПа), а це значить, що зносостійкість залежить від твердості і не може бути високою. В той же час можна сподіватися на високі значення зносостійкості хромового покриття при контакті з

іншими абразивами, такими як пісчаний ґрунт (твердість кварцового піску HV 1,1 ГПа) з яким часто працює будівельне та інше обладнання. Для цього випадку співвідношення H_a / H_m буде приблизно дорівнювати 0,8, а це значить, що хромове покриття буде працювати в зоні I, а саме в умовах низьких значень зношування (рис. 1).

Пластмаси. Відносна зносостійкість пластмас при терті о закріпленій абразив залежить від навантаження, швидкості ковзання, твердості і модуля пружності. Якщо прикладене навантаження супроводжується відділенням стружки, зносостійкість пластмас нижча за зносостійкість металів. Вона лінійно залежить від нормального навантаження, що зберігається тільки до певної межі. У подальшому інтенсивність зношування зі зростанням тиску не збільшується. Якщо при навантаженні стружка не утворюється, завдяки високим деформативним властивостям знос пластмас менший ніж у металів. Збільшення швидкості ковзання до 0,5м/с не впливає на інтенсивність зношування. Зі зменшенням швидкості інтенсивність зношування падає, а потім зростає. Відмічається зниження зносостійкості пластмас зі зростанням модуля нормальної пружності [1].

ВИСНОВКИ

Наведені результати лабораторних досліджень абразивної зносостійкості різних конструкційних матеріалів на машині тертя Х4-Б за ГОСТ 17361-71 дають можливість порівняти характеристики абразивної зносостійкості матеріалів різних класів і визначити з них ті, що володіють кращими або гіршими характеристиками. Показником зносостійкості в цих умовах випробування обрано відносну зносостійкість ϵ . Сталі вуглецеві характеризуються $\epsilon = 1,02...1,5$, сталі вуглецеві термічно оброблені – $\epsilon = 1,7...2,619$, сталі низьколеговані відпалені – $\epsilon = 1,59...1,77$, середньолеговані середньовуглецеві сталі – $\epsilon = 1,7...2,72$, термічно оброблені леговані сталі з аустенітною структурою – $\epsilon = 4...7$, сталі вуглецеві

з аустенітною метастабільною структурою – $\epsilon = 3$, леговані хромисті аустенітні сталі з метастабільною структурою $\epsilon = 8,2$, леговані чавуни з білою структурою після термічної обробки – $\epsilon = 2 \dots 7$, кольорові метали $\epsilon = 0,045 \dots 3$ (у хрому $\epsilon = 6,6$), кераміка – $\epsilon = 15 \dots 55$, зносостійкі покриття – $\epsilon = 7 \dots 136$. Таким чином зносостійкі покриття і керамічні матеріали можна вважати найбільш стійкими проти абразивного зношування в умовах тертя закріпленим абразивом.

ЛІТЕРАТУРА

1. Добровольський А.Г., Кошеленко П.И. Абразивная износостойкость материалов. – Киев.: Техника, 1989, 128 с.
2. Брыков Н.Н., Брыков М.Н. Проблема сопротивления сталей и сплавов абразивному изнашиванию / Проблемы триботехники, №1, 2006, 93 – 107 с.
3. Гуляев А.П. Материаловедение: Учебник – М.: Металлургия, 1978. – 647 с.
4. Брыков М. М. Розробка та застосування матеріалознавчих основ підвищення зносостійкості залізобуглецевих сплавів при абразивному зношуванні: Дис. д.т.н., Запоріжжя. - 2008. – 241 с.
5. Добровольський О.Г., Косенко В.А. Абразивна зносостійкість аустенітних сталей в умовах зношування закріпленим абразивом. Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – Київ, 2015. – № 85. – С. 73-78.
6. Хрущев М.М., Бабичев М.А. Абразивное изнашивание. – М. : Наука, 1970. 272 с.
7. Металлы и сплавы. Справочник. Под редакцией Ю.П. Солнцева; НПО "Профессионал", НПО "Мир и семья"; Санкт-Петербург, 2003 г, 210 с.
8. Абрашкевич Ю. Вплив армування на безпеку експлуатації абразивних кругів / Ю. Абрашкевич, Г. Мачишин, В. Тишковець // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – Київ, 2015. – №86. – С. 54–59.
9. Абрашкевич Ю.Д. Підвищення експлуатаційних показників абразивного інструменту / Ю.Д. Абрашкевич, Л.Є. Педевін, А.Г. Поліщук. // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – 2012. – №80. – С. 30–37.

REFERENCES

1. Dobrovolsky A.G., Koshelenko P.I., 1989. Abrasive wear resistance of materials: Reference toolbox. Kiev TECHNIK Publ., 128. – (in Russian).
2. Brykov N.N., Brykov M.N., 2006. The problem of resistance of steels and alloys abrasion. Problems tribotechnology, No.1, 93-107. – (in Russian).
3. Gulyaev A.P., 1978. Materials science. Moscow, Metallurgy Publ., 647. – (in Rus.).
4. Brikov M.M., 2008. Rozrobka that zastosuvannya materialoznavchih foundations pidvishchennya znosostiykosti zalizovugletsevih splaviv with abrasive znoshuvanni: Dis. Dr., Zaporizhzhya, 241. – (in Russian).
5. Dobrovolsky O.G., Kosenko V.A., 2015. Abrasivna znosostoykist austenitnich stalley v umovach znoshuvannya zakriplenim abrazivom [Abrasive wear resists under austenitic steels are fixed abrasive wear]. Girnichi, budivel'ni, dorozhni ta meliorativni mashini [Mining, construction, road and melioration machines], No.85, 73-78. – (in Ukr.).
6. Chruschov M.M., Babichev M.A., 1970. Abrasivnoye iznachivaniye. M. Nauka, 272.
7. Metals and alloys. 2003. Directory. Edited by JP Solntseva; NGO "Professional", NGO "Peace and family"; St. Petersburg, 210 .
8. Abrashkevych Yu., Machyshyn G., Tyshkovets V., 2015. Reinforcement effects on safety operation abrasive wheels. Girnichi, bedivelni,dorozhni ta meliorativni machine [Mining, construction, road and melioration machines], No 86, 54–59. – (in Ukrainian).
9. Abrashkevich Ju.D., Pedevin L.E., Polishhuk A.G., 2012. Pidvishhennja ekspluatacijnih pokaznikov abrazivnogo instrumentu [Improving operational performance abrasive tools]. Girnichi, bedivelni,dorozhni ta meliorativni machine [Mining, construction, road and melioration machines], No.80, 30–37. – (in Ukrainian).