

УДК 669.017:620.178.16

Андрущенко М.І., к.т.н., Капустян О.Є. старш. викл., Осіпов М.Ю., к.т.н., Куликовський Р.А., к.т.н., Акритова Т.О., старш. лаб.

Запорізький національний технічний університет

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА МЕТОДІВ СТАНДАРТНИХ І СПЕЦІАЛЬНИХ  
ВИПРОБУВАНЬ МАТЕРІАЛІВ НА ОПІР БЕЗУДАРНОМУ АБРАЗИВНОМУ  
ЗНОШУВАННЮ**

*Проведено аналіз і дослідження стандартних та спеціальних методів випробувань матеріалів на опірність абразивному зношуванню. Показані переваги і недоліки досліджень матеріалів на зносостійкість деталей безпосередньо в виробничих умовах на діючому обладнанні в порівнянні з лабораторними методами. Показана можливість спрощення та прискорення досліджень в промислових умовах шляхом використання зразків, вставлених в натурні деталі. Виконано порівняльний аналіз схем та конструкцій приладів та установок, створених для проведення лабораторних випробувань. Наведені схеми стендів, створених в Запорізькому національному технічному університеті для випробувань матеріалів на зносостійкість напівзакріпленим абразивом при задіянні корозійного фактору, або без його впливу та можливості зміни параметрів процесу випробувань (тиск абразиву, твердість абразивних зерен, температура) в широких межах. Показані принципи проектування обладнання та подана методика досліджень. На прикладі трьох сталей різного хімічного складу (1 – сталь 50X; 2 – сталь 90X3; 3 – сталь 120X3) та різною структурою (1 – мартенсит, 2 – мартенсит та метастабільний аустеніт, 3 – переважно метастабільний аустеніт) показані результати випробувань на інтенсивність зношування.*

**Ключові слова:** абразивне зношування, лабораторні випробування, установка для випробувань, методика випробувань.

**Вступ.** Однією з найважливіших складових вирішення проблеми зношування деталей машин є випробування на зносостійкість. Відомо багато способів і схем проведення випробувань, як в лабораторних, так і в виробничих умовах.

На перший погляд при вирішенні прикладних задач підвищення зносостійкості деталей найбільш достовірними і надійними можуть бути випробування деталей (матеріалів) безпосередньо в виробничих умовах на діючому обладнанні.

Однак, по-перше дуже часто практично неможливо провести випробування в умовах виробничого процесу по ряду причин. Особливо, якщо мова йде не про поодинокі випробування деталей і матеріалів, а стоїть завдання встановлення закономірностей зношування групи матеріалів в різному структурному стані.

По-друге, в виробничих умовах, якщо мова йде про тривалі випробування немінучі коливання параметрів умов зношування (тиску, температури, фракційний склад абразивних мас та ін.). Це обов'язково призводить до значних похибок результатів випробувань. Наприклад, при випробуваннях облицювальних пластин прес-форм вогнетривкого виробництва [1] з одного і того ж матеріалу (сталь X12) в одному і тому ж структурному стані на одному й тому ж пресі коливання результатів досягали 70 %. Тому нескладні розрахунки показують, що для встановлення закономірностей зношування з точністю 90–95 %, треба було б випробувати десятки дослідних деталей одного виду і понести великі матеріальні та часові витрати. А в тих випадках, коли не виключено, що серед досліджуваних матеріалів будуть зустрічатися такі, які по зносостійкості нижче, ніж деталі діючого виробництва на даний час, вирішення питання про проведення виробничих випробувань ще більш ускладнюється.

У деяких випадках, якщо мова йде про невеликі деталі з низьким терміном служби, виробничі випробування можуть бути цілком ефективними. Так, наприклад, при пресуванні карбідкремніювих нагрівачів методом екструзії тривалість роботи деталей оснастки складає всього кілька годин [2].

У техніці дуже багато прикладів проблем зношування невеликих деталей (деякі види бил молоткових дробарок, робочі елементи машин для різання асфальту – та інші). Тому до теперішнього часу багато дослідників проводять випробування у виробничих умовах на діючому обладнанні [3].

Виробничі випробування можуть бути в ряді випадків спрощені шляхом дослідження зразків, вставлених в натурні деталі. Зокрема випробування вставних зразків, закріплених в зоні найбільшого зносу облицювальних пластин для пресування будівельної силікатної цегли [4], дозволили значно прискорити отримання попередніх результатів про механізм, характер зношування і зносостійкість великої групи матеріалів за відносно короткий час. Подібний підхід практикувався і при дослідженні зносостійкості матеріалів в ряді інших умов зношування. Зокрема, при вирішенні проблеми низького терміну служби прес-вальців для брикетування порошкових матеріалів, зубів ковшів екскаваторів і ін. Однак і при випробуванні вставних зразків не виключений помітний розкид результатів випробувань, оскільки неминучий вплив "тіньового ефекту", наявність зазорів між зразками, негативно впливає і масштабний фактор. Тому основний обсяг випробувань на опірність зношування виконується в лабораторних умовах.

Невелика частина з них є стандартними (як, наприклад, випробування на установці Х4-Б [5-7]), а більшість – нестандартні, яких на даний час в багато разів більше, ніж стандартних. Це викликано зрозумілим бажанням дослідників якомога ближче наблизити умови лабораторних випробувань до реальних.

Різноманіття умов зношування і способів випробувань значно ускладнюють вибір найбільш прийняттого методу. Часто дослідники змушені для вирішення своїх завдань використовувати кілька лабораторних установок і проводити тривалі випробування.

**Мета роботи.** Дослідження стандартних та спеціальних методів випробувань матеріалів на опір абразивному зношуванню та проведення порівняльного аналізу схем та конструкцій приладів та установок, створених для проведення випробувань.

**Викладення основного матеріалу.** Різноманіття схем випробувань на абразивне зношування, які найбільш часто зустрічаються на практиці, можна умовно розбити на наступні групи зношування при терті [1,8-10]:

- а) закріпленим абразивом;
- б) напівзакріпленими абразивними частинками;
- в) в абразивній масі.

До найпоширеніших схем випробування на абразивне зношування закріпленим абразивом відносяться дослідження зносостійкості на машині (установці) Х4-Б (рис. 1), яка розроблена в Інституті машинознавства Хрущевим М.М., Бабичевим М.А.

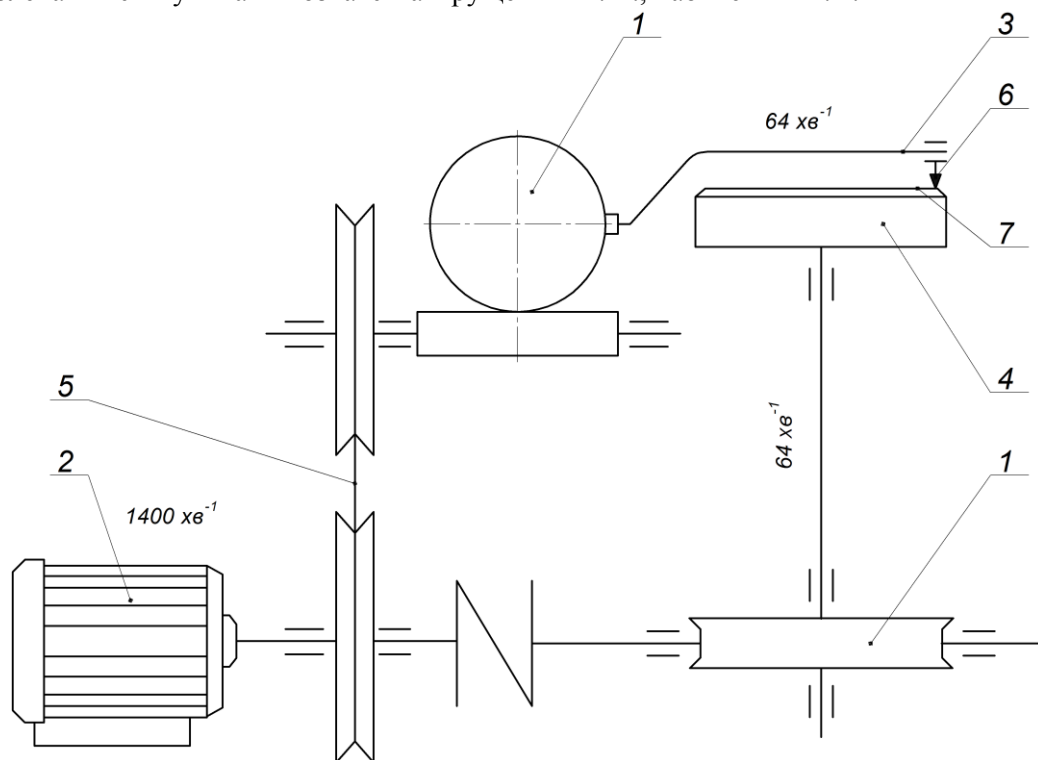


Рис. 1. Кінематична схема машини Х4-Б

- 1 – черв'ячна передача; 2 – електричний двигун; 3 – шток; 4 – металевий диск;
- 5 – проміжний вал; 6 – зразок; 7 – абразивна шкурка

В даній установці на плоскій стороні металевого диска який обертається, закріплена абразивна шкурка. Циліндричний зразок діаметром 2 мм і довжиною 10-15 мм, закріплений в цанговій державці, знаходиться під навантаженням, треться своїм торцем об шкурку і переміщується при обертанні диска в радіальному напрямку; шлях тертя являє собою спіраль Архімеда. Поверхня шкурки розділена на зони з однаковою довжиною шляху тертя. У цих зонах ведеться випробування досліджуваного і еталонного матеріалів. Знос визначається по зменшенню довжини зразка, або його маси.

Недоліки – це значний вплив масштабного фактору через малі розміри зразка, змінна швидкість ковзання при випробуванні одного зразка через спіралеподібний шлях тертя.

Крім випробувань на Х4-Б відомі ще ряд методів і машин для дослідження абразивного зношування. Більше за інших поширені випробування на машині НК (нерухоме кільце) (рис. 2) та за схемою Брінелля-Хаворта (рис. 3).

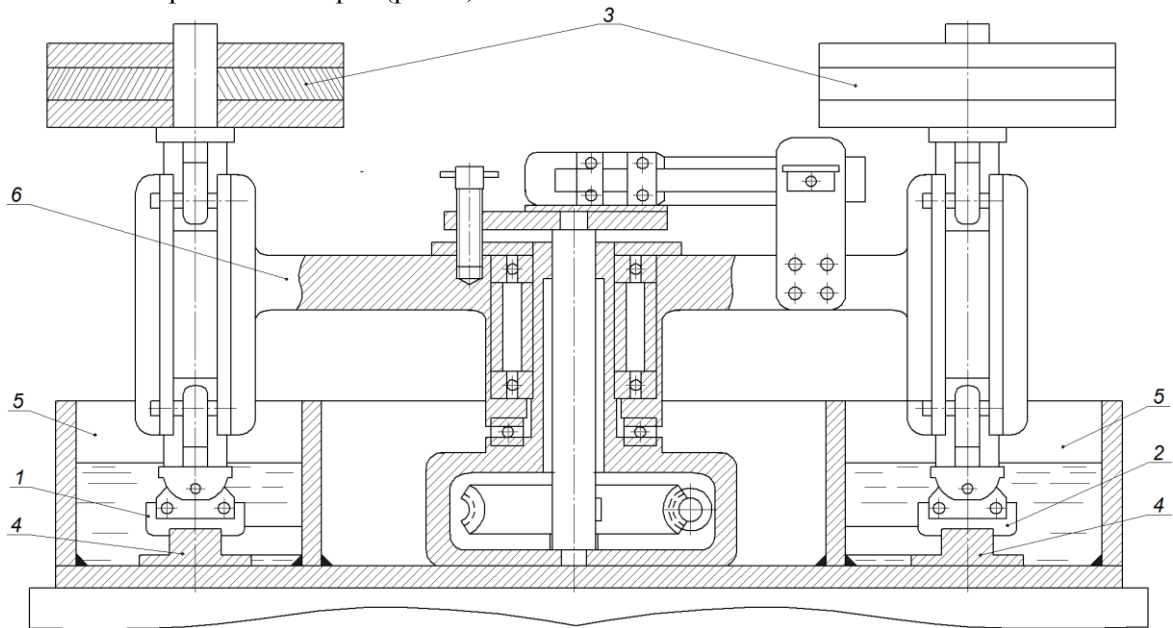


Рис. 2. Схема машини НК

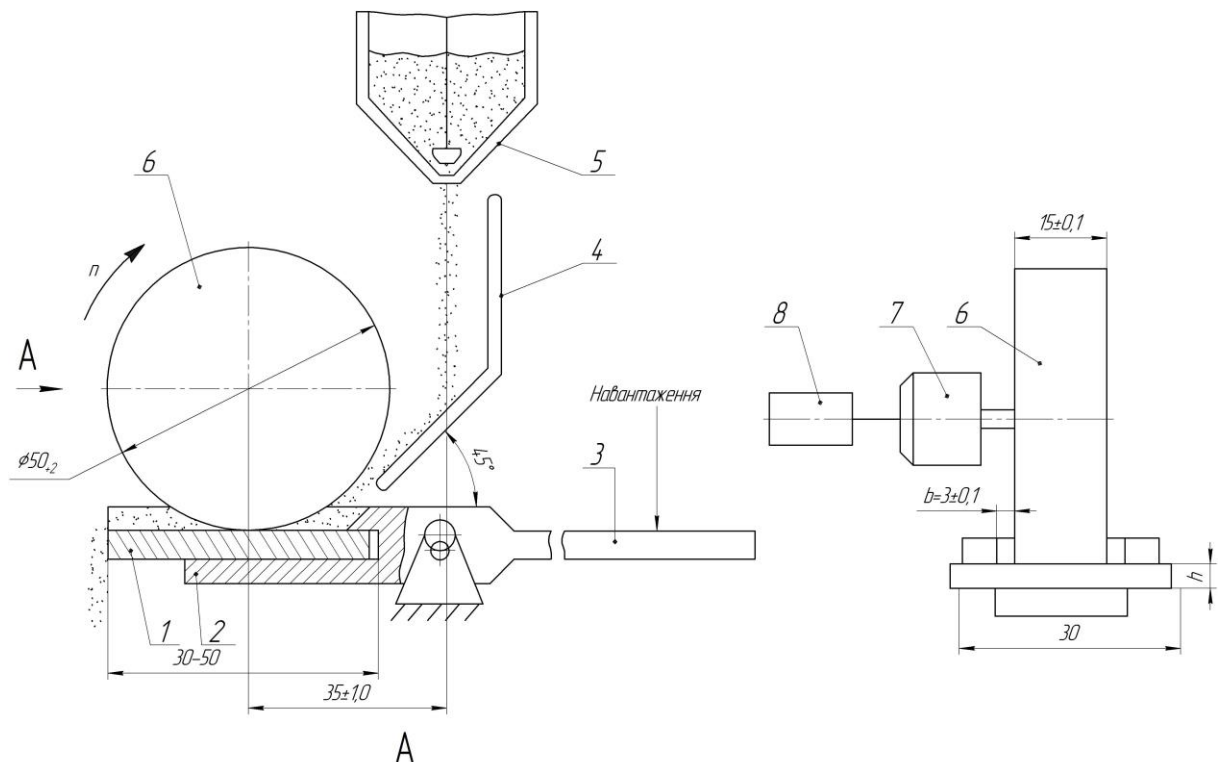


Рис. 3. Схема машини випробуванні за схемою Брінелля-Хаворта

Випробувальна машина НК була сконструйована Інститутом машинознавства на базі лабораторних бігунів для розмелювання кускових матеріалів [8, 9].

Одночасно випробовуються два однакових зразки 1 і 2 – перший з випробуваного, другий з еталонного матеріалу. Вони ковзають під навантаженням 3 по плоскій поверхні кільцевого диску з червоної міді 4, на дні кільцевої ємності 5, в якій знаходяться вода і пісок. Пісок попадає на поверхню тертя (за допомогою скребків, що рухаються перед зразками), викликаючи зношування. Державки зразків рухаються на кулькових опорах в вертикальних напрямних, закріплених на кінцях поперечини 6, яка обертається. Знос визначається за втратою маси зразків. Результат випробування виражається у вигляді відносної зносостійкості, рівною відношенню зносу еталона до зносу випробуваного матеріалу.

Випробування за схемою Бринелля-Хаворта (рис. 3) проводять на випробувальній установці [8], яка містить привід 7, що забезпечує обертання навколо горизонтальної осі гумового ролика 6, тримач зразків 2, важіль 3, що притискає зразок 1 до ролика, пристрій 5, який дозує подачу абразивних частинок в зону тертя по направляючому лотку 4, пристрій 8 для контролю сумарної кількості обертів ролика в процесі випробувань. Знос визначається за втратою маси зразка при певній кількості поданого абразиву. В таких же умовах випробовується еталонний матеріал. Відносна зносостійкість визначається, як відношення зносу еталонного і випробуваного матеріалів.

Зазвичай при виборі схеми і умов випробування виходять з необхідності відтворення експлуатаційних умов зношування натурних деталей. Зручною ознакою для класифікації методів випробування на зношування в абразивній масі є інтенсивність зношування, яка залежить від навантажувального режиму і співвідношення властивостей випробуваного металу і абразиву. Умовно випробування за величиною питомого навантаження на поверхню тертя можна розділити на три групи: випробування при малих, середніх і великих питомих навантаженнях [9].

При дуже малих питомих навантаженнях зношування може проходити з надзвичайно малою інтенсивністю, з тенденцією переходу до окислювального характеру зношування.

При дуже великих питомих навантаженнях може інтенсивно руйнуватися сам абразив. Найменша інтенсивність навантаження зношування металевого зразка спостерігається при його ковзанні по поверхні ущільненої сипучої абразивної маси 5 під малим навантаженням. Серед машин для випробування на зношування цього типу найбільш відома машина типу «чаша, яка обертається» (рис. 4) [9]. У машині є два конічних катки 1, які ущільнюють і вирівнюють шар абразивної маси. Чаша 2 обертається навколо вертикальної осі з частотою  $60 \text{ хв}^{-1}$ .

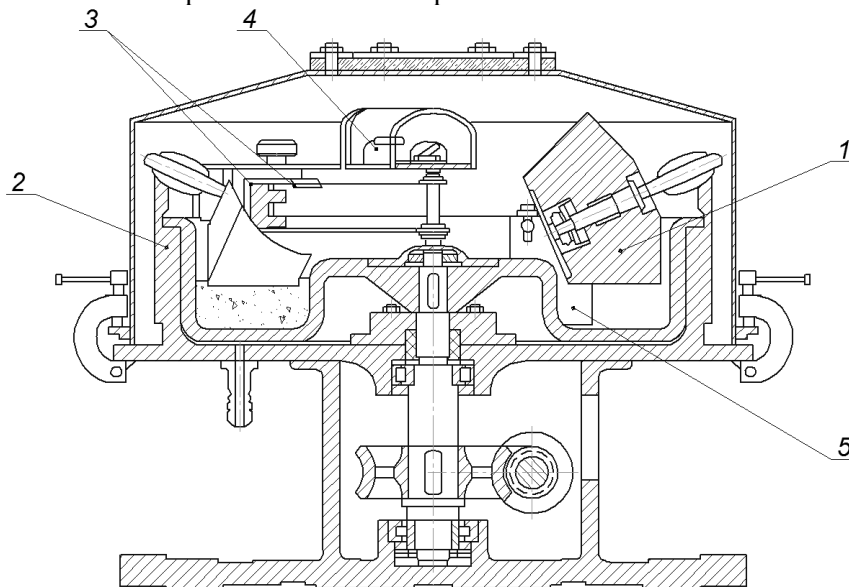


Рис. 4. Схема машини типу «чаша, яка обертається»

Дві державки зразка 3 утримують його на відстані 150 мм від осі обертання чаші. Число обертів фіксується лічильником 4. Для отримання свіжої абразивної поверхні служать розпушувачі. Товщина шару абразивної маси дорівнює 40 мм.

При випробуванні на шнековій машині, розробленій В. Н. Ткачевим (рис. 5) [9, 10], різець з випробуваного матеріалу ріже безперервно ущільнену абразивну масу, що підводиться до нього. Цим випробуванням в лабораторних умовах відтворюється зношування леза різця, аналогічне зношування лез ґрунтообробних машин. Конструкція машини передбачає можливість змінювати щільність абразивної маси, яка подається до різця, в широких межах. Абразивна маса певного складу і вологості, засипана в бункер, подається обертовим вертикальним шнеком в нижню частину машини, де за допомогою іншого обертового вертикального шнека ущільнюється до заданого ступеня щільності і потім витискається через кільцеву горловину. Зразок у вигляді різця спеціальної форми, закріплений в диску обертається навколо осі, яка співпадає з віссю кільцевої горловини. При цьому він ріже витиснену з горловини абразивну масу і поступово зношується. Показником зносу служить зміна довжини зразка. Ця схема, як і попередня не передбачає кількісного регулювання тиску абразивної маси на поверхню.

В деяких випадках абразивна маса працює в сполученні з вологою агресивною складовою. Тому в Запорізькому національному технічному університеті створена лабораторна установка (рис. 5) для визначення зносостійкості матеріалів в умовах, які відтворюють реальні процеси абразивно-корозійного зношування шнеків стрічкових пресів для виготовлення вогнетривів, або будівельних виробів методом пластичного пресування. В даному випадку крім дії абразиву, значний вплив на опір робочих поверхонь деталей зношуванню може надавати корозійний фактор, оскільки абразивна маса при пластичному пресуванні значно зволожена. Проектування установки проводилося з урахуванням наступних вимог:

- максимальне наближення кінематики процесу зношування шнеків до виробничих умов;
- можливість проведення дослідів в більш широкому діапазоні режимів, в порівнянні з виробничими умовами;
- відтворюваність результатів дослідів;
- простота і низька трудомісткість дослідів при достатній надійності їх результатів із застосуванням простих зразків та невеликої кількості абразивної маси.

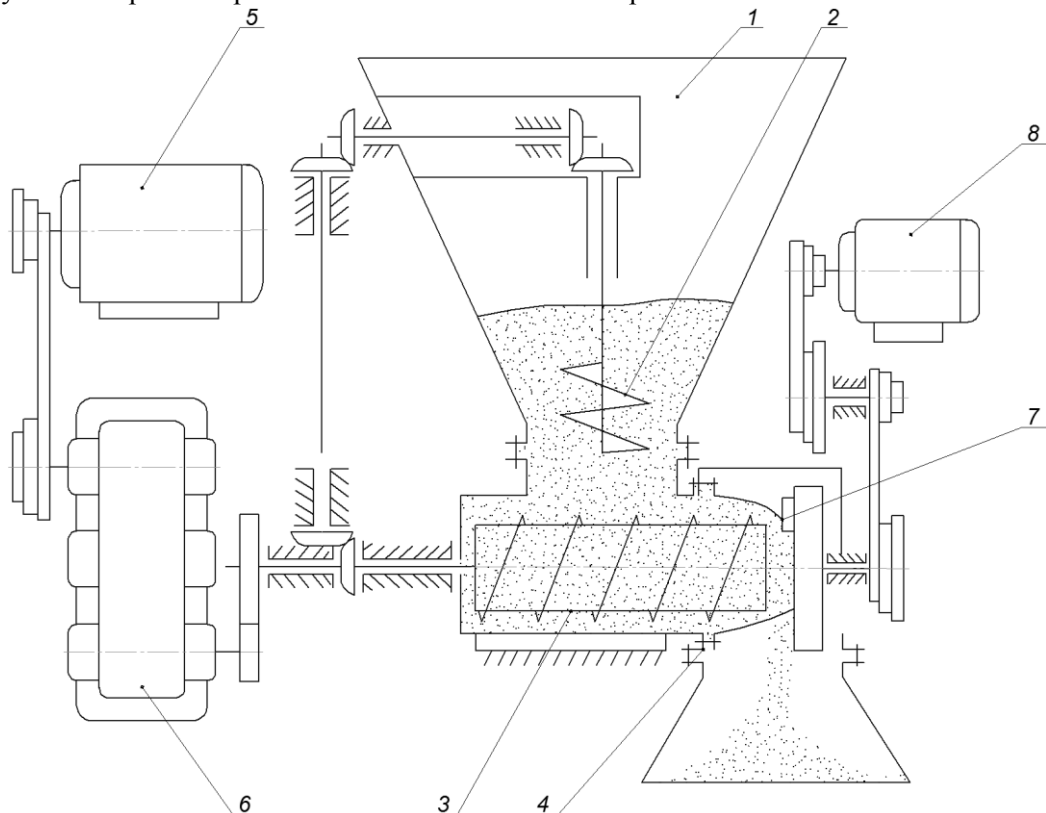


Рис. 5. Схема шнекової машини для випробувань на абразивне зношування

1 – бункер; 2 – вертикальний шнек; 3 – горизонтальний шнек; 4 – пружинне кріплення горловини; 5 – електродвигун, що приводить в рух шнеки; 6 – редуктор; 7 – зразок, закріплений в обертовому диску; 8 – електродвигун, що приводить в рух диск із зразками

Установка (рис. 6 а) складається з двоходового шнеку 1, обойми 2, жорстко закріплених на вертикальному валу 3 конічного редуктора 4, який приводиться до обертання від електродвигуна 5 потужністю 2 кВт, через черв'ячний редуктор 6. Шнек з обоймою обертаються в камері 7, яка вставляється у виточку кришки (бункера) 8 і закріплюється болтами. Зразки 15 розміром 10 мм × 10 мм × 15 мм в кількості 12 штук затискаються гайкою 16 між нижнім і верхнім дисками обойми 17 за схемою, наведеній на рис. 6 б. Абразивна маса 9 вологістю 18 % при зняттю поршні 11 завантажується в бункер 10, і потім подається до шнеку вставленим на місце поршнем під дією вантажу 12, який може ступінчасто змінюватись. Далі маса ущільнюється і витискається через отвір 13 зразками, які обертаються, та по похилому жолобу надходить до ємності 14. Таким чином, зразки постійно зношуються свіжою абразивною масою, як і у виробничих умовах. Одинарне завантаження маси в кількості 5 кг забезпечує безперервність випробувань протягом двох годин.

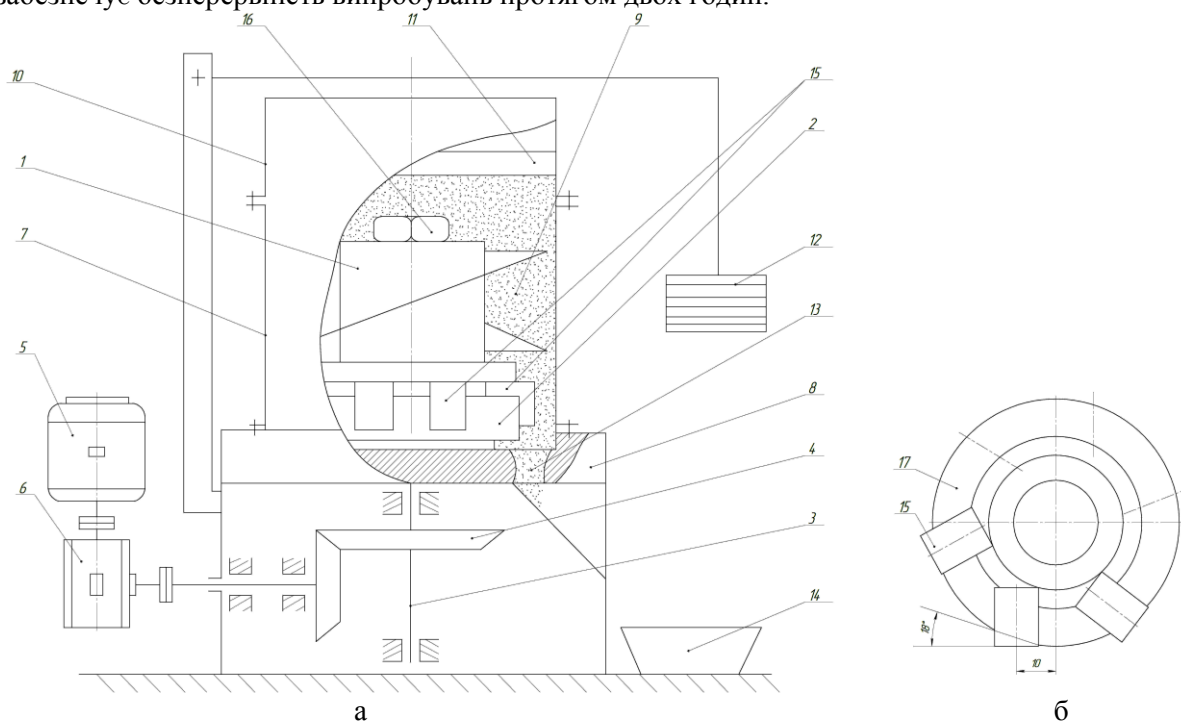


Рис. 6. Схема лабораторної установки для випробування зразків відповідно до умов експлуатації шнеків стрічкових пресів (а) та схема розміщення зразків в обоймі (б)

Одним із загальних недоліків наведених вище схем випробування, є незначні розміри зразків. Це збільшує негативний вплив масштабного фактора на рівень відповідності результатів лабораторних випробувань рівню зносостійкості натурних деталей. Тому в ЗНТУ був створений стенд для моделювання процесів зношування, перш за все, деталей оснастки для пресування вогнетривких та будівельних виробів (рис. 7).

На цьому стенді випробовуються зразки розмірами 90 мм × 30 мм × 10 мм, тобто за товщиною вони практично такі ж, як і пластини прес-форм для виготовлення силікатної цегли. Принцип роботи лабораторного стенду полягає в наступному. Зношування зразка 2, що здійснює зворотно-поступальний рух, виконується стовпом стиснутої пуансоном 6 абразивної маси 5, що знаходиться в нерухомій обоймі 8, яка армована твердим сплавом. Зусилля на пуансон від вантажу 10 передається через важільну систему 9. З кожним ходом зразка шар абразиву, що безпосередньо контактує з поверхнею тертя, автоматично видаляється із обойми через проміжок (зазор) між її торцем і зразком.

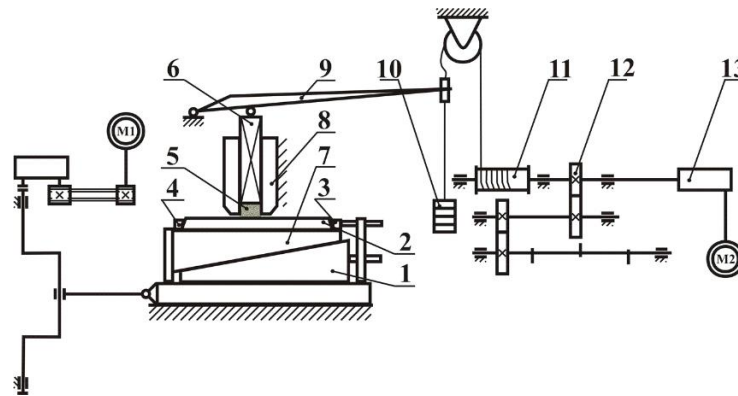


Рис. 7. Схема лабораторного стану

1 – нижній клин; 2 – зразок; 3 – рухомий упор; 4 – нерухомий упор; 5 – абразивна маса;  
6 – пуансон; 7 – верхній клин; 8 – обойма; 9 – важільна система; 10 – вантаж;  
11 – барабан; 12 – блок шестерень; 13 – редуктор

В загальному вигляді основними критеріями відтворюваності процесів, які протікають в поверхневому шарі натурних деталей і на дослідних зразках були:

- характер мікрорельєфу зношеної поверхні (наявність, або відсутність рисок, чи подряпин);
- повнота фазових перетворень в поверхневому шарі (частіш за все це метастабільного аустеніту в мартенсит деформації);
- рівень самозміцнення поверхні тертя (мікротвердість до і після зношування);
- порівнянність рядів зносостійкості зразків і натурних деталей із різних матеріалів і однакових структурних станах, або одного і того матеріалу з різними структурами).

Основними параметрами режиму випробувань, які варіювалися з метою знаходження необхідного рівня відтворюваності процесів при зношуванні поверхні тих чи інших деталей та зразків є:

- тиск;
- тип і фракційний склад абразиву;
- початкова висота стовпа стиснутої абразивної маси;
- число ходів зразка на одну засипку абразивної маси і ступінь оновленості абразивної маси (регулюється величиною зазору між обоймою і зразком);
- температура поверхні тертя.

Усереднений тиск стовпа стисненої абразивної маси і відповідно середні напруження регулюються шляхом зміни навантаження вагами 10 (див. рис. 7). В той же час напруження, які виникають в поверхні зразка в одиничному контакті з абразивним зерном визначити складно. Проте, судячи з характеру зношеної поверхні робочої кромки (наявність рисок, подряпин), можна судити, чи прикладеного тиску достатньо, або не вистачає для створення напруження в місці контакту абразивного зерна з поверхнею, які перевищують межу плинності, або міцності металу, який випробовується.

Дуже важливою складовою умов випробувань являється тип абразиву. Його зерна характеризуються мікротвердістю, формою і розміром зерен.

У загальному вигляді відомо, що одним з основних показників системи «матеріал–умови зношування», що впливає на зносостійкість, є відношення мікротвердості абразиву  $H_a$  до твердості матеріалу  $H_m$ , точніше  $H_{птм}$  – мікротвердості поверхні тертя, придбаною матеріалом зразка або деталі в процесі зношування. Різке підвищення зносостійкості може бути досягнуто, якщо твердість поверхні тертя наближається до твердості абразивних зерен.

В роботі [11] для прогнозування механізму зношування поверхні матеріалу зернами абразиву (мікрорізання або полідеформаційний процес), при достатньо високому значенні параметра  $H_a/H_m$ , було запропоновано також використовувати коефіцієнт форми зерен:

$$K_{\phi} = \frac{M(n_i)M(D_i - d_i)}{M(R_i)}, \quad (1)$$

де  $M(n_i)$ ,  $M(R_i)$ ,  $M(D_i-d_i)$ , – математичне сподівання, – відповідно: числа вершин, їх радіусів і різниць діаметрів кіл, описаного навколо контуру і вписаного в контур зерна.

Аналіз геометрії зерен шамоту (рис. 8), при розмірах порівнянних з розмірами зерен піску показав, що коефіцієнт їх форми знаходиться в межах 45-70 в залежності від вихідної сировини (родовища), яка застосовується для виготовлення цього абразиву. У той же час, зерна піску більш обкатані (див. рис. 8, а), коефіцієнт їх форми незначно перевищує значення 11, а цей же коефіцієнт для карборунду досягає 70-80. Але все ж таки головним чинником впливу на інтенсивність зношування являється мікротвердість зерен. Наприклад, при збільшенні мікротвердості від 13 ГПа (шамот) до 32 ГПа (карборунд) інтенсивність зношування сталі 140X12 в переважно аустенітному стані збільшується більше чим в 100 разів.

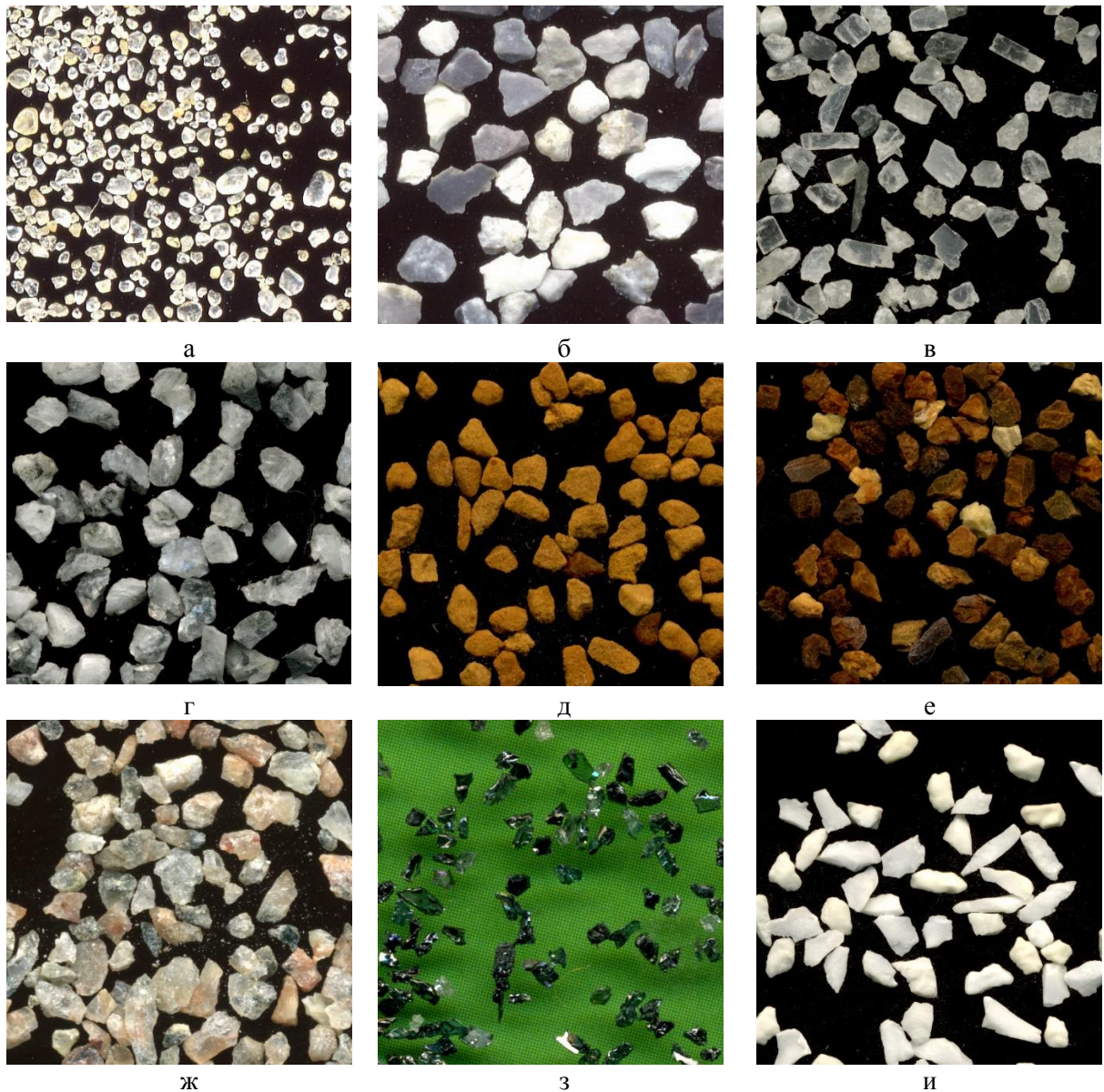


Рис. 8. Зерна абразивних мас

а – пісок кварцевий; б – шамот (Запорізький); в – периклаз (Японія); г – периклаз;  
д – магнезит; е – магнезит відпалений; ж – граніт; з – карборунд; и – клінкер

Було встановлено, що оптимальна початкова висота стовпа абразивної маси над зразком при зношуванні, наприклад, шамотом повинна складати 17 мм, а розміри зерен знаходяться в межах 0,6-1,0 мм. При цьому співвідношенні розмірів зерен і висоти засипки абразиву зазор між обоймою і зразком повинен бути таким, який дозволяє здійснювати десять ходів зразка на одну засипку при досить повній відновлюваності абразивної маси. Середня швидкість переміщення зразка – 24,8 мм/с. При таких параметрах режиму випробувань температура



поверхні зразка не перевищує 60 °С. Для інших видів абразивів ці показники можуть змінюватись, але як правило не в значній мірі.

Кількість ходів за один цикл випробувань (між зважуваннями) вибирається таким чином, щоб втрата маси складала не менше 0,008 г, що забезпечує при зважуванні похибку не більше 5 %. Наприклад, при зношуванні шамотом, частіш за все, для цього достатньо 100 ходів. Для інших абразивів цей показник, в залежності від інтенсивності зношування, може змінюватись в той чи інший бік (встановлюється в ході експерименту).

Дослідження проводяться в наступній послідовності:

1. Зразок без зважування закріплюється на стенді і виконується 200-300 ходів (20-30 заповнень обойми).

2. Далі проводиться перше зважування, перед яким зразки розмагнічуються, щоб виключити вплив взаємодії магнітного поля зразка і деталей вагів.

3. Зразок закріплюється на верхньому клині повзуна стенда і виконується необхідна кількість ходів (перший цикл).

4. Здійснюється зважування зразка після першого циклу зношування.

Всього здійснюється 3-6 циклів випробувань кожного зразка (залежно від щільності результатів). За показник інтенсивності зношування досліджуваного матеріалу береться середнє значення втрати маси зразка за усі цикли випробувань.

Як приклад використання лабораторного стенду можна навести результати випробувань дослідних матеріалів в різних структурних станах при зношуванні шамотом на режимах, наведених вище (рис. 9). Встановлено, що для кривих зношування всіх матеріалів характерні дві ділянки – початкового (до двохсот ходів) процесу і сталого процесу. Наявність першої ділянки і обумовлює необхідність виконання першого пункту послідовності випробування наведеній вище. Серед цих матеріалів найбільшим опором зношуванню характеризується сталь 120X3.

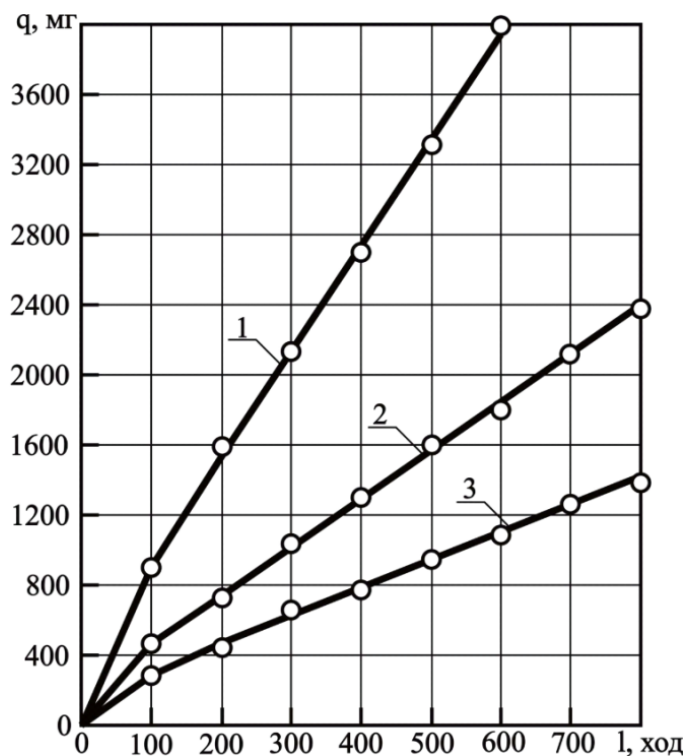


Рис. 9. Абсолютний знос (q) досліджуваних зразків при зношуванні шамотом в залежності від кількості ходів зразка (I)

1 – сталь 50X (мартенсит); 2 – сталь 90X3 (мартенсит та метастабільний аустеніт);  
3 – сталь 120X3 (переважно метастабільний аустеніт)

В даному випадку це обумовлено перш за все двома факторами – найбільш високим вмістом вуглецю в сталі 120X3 і наявністю в структурі великої кількості метастабільного залишкового аустеніту.

В цілому серія випробувань на даному стенді дозволила вибрати, або розробити матеріали для виготовлення деталей, які працюють в різних умовах безударного абразивного зношування (деталі оснастки для виготовлення вогнетривких та будівельних матеріалів, абразивного інструменту та ін.), вибрати структурний стан і способи управління структурою та розробити технологічні процеси виготовлення та зміцнення деталей, що дозволило підвищити їх строк служби від двох до десяти разів.

#### Висновки

1. Однією з найважливіших складових вирішення проблеми зношування деталей машин є випробування на зносостійкість. Різноманіття умов зношування і способів випробувань значно ускладнюють вибір найбільш прийняттого методу дослідження.

2. Відомо багато способів і схем випробувань, як в лабораторних, так і в виробничих умовах. Всі вони мають переваги і недоліки. Універсальних методів не існує.

3. Промислові випробування часто характеризуються значним розкидом результатів, похибками. Вони як правило трудомісткі.

4. Для лабораторних приладів характерні незначні розміри зразків, наприклад для Х4-Б, тому масштабний фактор негативно впливає на відтворюваність результатів лабораторних випробувань в виробничих умовах, особливо коли досліджуються матеріали з гетерогенною структурою, наприклад заевтектичний наплавлений метал.

5. Зразок для випробувань на стенді, розробленому в Запорізькому національному технічному університеті за площею робочої поверхні в п'ятдесят раз більше, чим площа поверхні зразка для Х4-Б, тому рівень відповідності результатів лабораторних випробувань промисловим значно вищий. Крім того позитивно впливає на результат можливість створювати на стенді умови зношування зразка відповідно умовам роботи поверхонь деталей в широкому діапазоні значень параметрів, які впливають на інтенсивність зношування.

6. Випробування зразків хромистих сталей з різним вмістом вуглецю і різних за структурою показали високу щільність результатів.

#### Інформаційні джерела

1. Зносостійкість сплавів, відновлення та зміцнення деталей машин. Навчальний посібник. Під ред. Попова В.С. – Запоріжжя: ВК ВАТ «Мотор Січ», 2006. – 420 с.

2. Попов В.С., Билоник И. М., Бережный С.П., Капустян А.Е. Исследование износостойкости ножей камнекольных станков // Нові матеріали і технології в металургії і машинобудуванні. – 2002. - №2. – С. 45-48.

3. Долговечность оборудования огнеупорного производства / Попов В.С., Брыков Н.Н., Дмитриченко Н.С., Приступа П.Г. – М.: Металлургия, 1978. – 232 с.

4. Андрущенко М. И., Куликовский Р. А., Брыков М. Н., Савонов Ю. Н. Анализ современного состояния проблемы срока службы деталей оснастки для изготовления силикатного кирпича // Problems of Tribology. – 2010. – № 2. – С. 37-44.

5. ГОСТ 17367-71 Металлы. Метод испытаний на абразивное изнашивание при трении о закрепленные абразивные частицы.

6. ГОСТ 30480-97 Обеспечение износостойкости изделий. Методы испытаний на износостойкость. Общие требования.

7. Хрущов М.М., Бабичев М.А. Абразивное изнашивание. – М.: Наука, 1970. – 251 с.

8. Шведков Е. Л., Ровенский Д. Я., Зозуля В. Д., Браун Э. Д. Словарь-справочник по трению, износу и смазке деталей машин. – К.: Наук. думка, 1990. – 188 с.

9. Тылкин М.А. Справочник термиста ремонтной службы. – М.: Металлургия, 1981. – 648 с.

10. Ткачев В.Н. Износ и повышение долговечности деталей сельскохозяйственных машин. – 2-е изд., доп. – М.: Машиностроение, 1971. – 264 с.

11. Тененбаум М.М. Сопrotивление абразивному изнашиванию. – М.: Машиностроение, 1976. – 271 с.

Андрущенко М.И., к.т.н., Капустян А.Е. старш. препод., Осипов М.Ю., к.т.н.,  
Куликовський Р.А., к.т.н., Акритова Т.А., старш. лаб.  
Запорожский национальный технический университет

### ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ СТАНДАРТНЫХ И СПЕЦИАЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ МАТЕРИАЛОВ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ БЕЗУДАРНОМУ АБРАЗИВНОМУ ИЗНАШИВАНИЮ

*Проведен анализ и исследования стандартных и специальных методов испытаний материалов на сопротивляемость абразивному изнашиванию. Показаны преимущества и недостатки исследований материалов на износостойкость деталей непосредственно в производственных условиях на действующем оборудовании по сравнению с лабораторными методами. Показана возможность упрощения и ускорения исследований в промышленных условиях путем использования образцов, вставленных в натурные детали. Выполнен сравнительный анализ схем и конструкций приборов и установок созданных для проведения лабораторных испытаний. Приведенные схемы стенов созданных в Запорожском национальном техническом университете для испытаний материалов на износостойкость полужакопленными абразивом при действовании коррозионного фактора, или без его влияния и возможности изменения параметров процесса испытаний (давление абразива, утверждает абразивных зерен, температура) широких пределах. Показаны принципы проектирования оборудования и представлена методика исследований. На примере трех сталей различного химического состава (50X, 90X3, 120X3) и различной структуры (мартенсит, мартенсит и метастабильный аустенит, преимущественно метастабильный аустенит) показаны результаты испытаний на интенсивность изнашивания.*

**Ключевые слова:** абразивный износ, лабораторные испытания, установка для испытаний, методика испытаний

**M. Andrushchenko, Ph.D., O. Kapustian, M. Osipov, Ph.D., R. [Kulikovsky](#), Ph.D., T. Akrytova**  
Zaporozhye National Technical University

### RESEARCH AND DEVELOPMENT OF METHODS OF STANDARD AND SPECIAL TESTS OF MATERIALS ON RESISTANCE TO ABANDONIZED ABRASIVE WRAP

*The analysis and research of standard and special methods of materials testing for resistance to abrasive wear are carried out. The advantages and disadvantages of researching materials on wear resistance of parts directly in production conditions on operating equipment as compared to laboratory methods are shown. The possibility of simplifying and accelerating research in industrial conditions is shown by using samples inserted in full-scale details. A comparative analysis of the designs and designs of instruments and installations designed for laboratory testing has been performed. The resulted schemes of the stands created in Zaporozhye National Technical University for testing materials for wear resistance with semi-fixed abrasives with or without the influence of the corrosive factor and the possibility of changing the parameters of the test process (abrasive pressure, asserts abrasive grains, temperature) are wide. The principles of designing the equipment are shown and the research methodology is presented. On the example of three steels of different chemical composition (50X, 90X3, 120X3) and different structures (martensite, martensite and metastable austenite, mainly metastable austenite), the results of tests on the wear rate are shown.*

**Keywords:** abrasive wear, laboratory tests, testing facility, test procedure

Стаття надійшла до редакції 14.05.2018.