

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт з дисципліни
«Термічні методи підвищення строку служби вузлів тертя»
для студентів освітньої програми
«Відновлення та підвищення зносостійкості деталей і конструкцій»
всіх форм навчання

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Термічні методи підвищення строку служби вузлів тертя» для студентів освітньої програми «Відновлення та підвищення зносостійкості деталей і конструкцій» всіх форм навчання / Укл. Бриков М.М. Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2021. – 33 с.

Укладач: М.М. Бриков, д-р техн. наук, проф.

Рецензент: О.В. Овчинников, д-р техн. наук, проф.

Відповідальний за випуск: М.М. Бриков

Голова методичної комісії каф. ОТЗВ д. ф. н., проф. С.М. Попов

Затверджено

на засіданні кафедри ОТЗВ

Протокол № 10 від 31.03.2021

Рекомендовано до видання

НМК Інженерно-фізичного факультету

Протокол № 8 від 13.04.2021

ЗМІСТ

Лабораторна робота №1 Дослідження стандартизованого методу випробувань металевих матеріалів на зношування закріпленим абразивом.....	4
Лабораторна робота №2 Дослідження впливу вуглецю та термічної обробки на зносостійкість залізвуглецевих сплавів у різному структурному стані	14
Лабораторна робота №3 Дослідження впливу легування та термічної обробки на зносостійкість залізвуглецевих сплавів у різному структурному стані	20
Лабораторна робота №4 Дослідження зносостійкості термооброблених сталей в умовах одночасного зношування за різними режимами	27
Вказівки з техніки безпеки	33

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНДАРТИЗОВАНОГО МЕТОДУ ВИПРОБУВАНЬ МЕТАЛЕВИХ МАТЕРІАЛІВ НА ЗНОШУВАННЯ ЗАКРІПЛЕНИМ АБРАЗИВОМ

1.1 Мета роботи

Ознайомитись із стандартизованим методом випробувань металевих матеріалів на зношування закріпленими абразивними частинками. Набути навичок проведення випробувань та визначення відносної зносостійкості зразків металевих матеріалів різної густини.

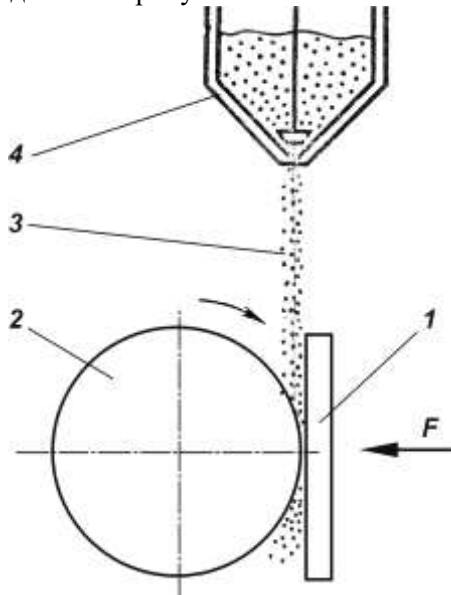
1.2 Загальні відомості

У вітчизняній і зарубіжній практиці використовують стандартні методи випробувань матеріалів – ДСТУ або міжнародні стандарти, стандарти різних країн і професійних суспільств (ISO, DIN, ASTM, ГОСТ і так далі). Використання стандартних методів випробувань значно підвищує цінність отримуваних результатів і висновків, зроблених на підставі аналізу експериментальних даних.

Існують два ГОСТи на проведення випробувань металевих матеріалів на абразивне зношування. ГОСТ 23.208-79 регламентує випробування на зношування незакріпленим абразивом. Установка для проведення цих випробувань аналогічна машині Брінелля-Хаворта (рис. 1.1). Аналогом даного стандарту є американський стандарт ASTM G65 [1]. Суть методу полягає в зношуванні плоского зразка притиснутим до нього гумовим колесом. При цьому вільний абразив певного гранулометричного складу подається між зразком і колесом.

Інтенсивність руйнування матеріалу при такому режимі випробувань не є максимальною, оскільки більшість абразивних частинок лише пластично деформують поверхню, що зношується. Видалення мікрооб'ємів відбувається тільки після багатократної взаємодії ділянки поверхні з абразивними зернами. До того ж, існує вірогідність шаржування зразків малої твердості, що взагалі виключає

можливість проведення випробувань.



1 - зразок; 2 - гумове колесо; 3 - абразив; 4 - бункер

Рисунок 1.1 – Схема машини Брінелля-Хаворта

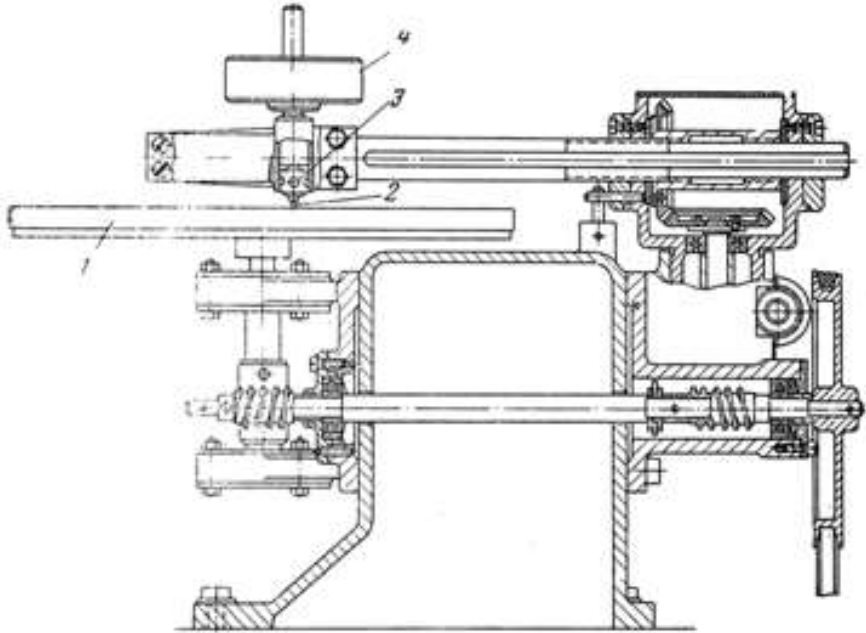
ГОСТ 17367-71 регламентує випробування металевих матеріалів на зношування закріпленим абразивом. Аналогом цього стандарту є американський стандарт ASTM G152 [2]. Суть методу полягає в стиранні циліндричного зразка об абразивну полотнину. Зразок певним зусиллям притискається торцем до абразивної поверхні і рухається відносно неї. Зразок проходить заданий постійний шлях, і про інтенсивність зношування матеріалу зразка судять по зміні його маси або лінійних розмірів.

Ця випробувальна методика відтворює найбільш жорсткий режим абразивного зношування - одноциклове руйнування поверхні тертя. При одноцикловому руйнуванні напруження в контактах твердих частинок з матеріалом поверхні перевищують межу міцності матеріалу, мікроб'єми якого руйнуються при одноразовій взаємодії з абразивними зернами або, переходячи в передруйнований стан, можуть бути легко відокремлені при наступному контакті з абразивом. В цьому випадку зношування є найінтенсивнішим, тому саме одноцикловий режим визначає швидкість руйнування в

більшості випадків взаємодії матеріалу і абразиву.

У основу ГОСТ 17367-71 покладено розроблений М.М. Хрущовим і М.А. Бабічевим метод випробувань на машині Х4-Б [3], який полягає у такому.

Циліндричний зразок 2 діаметром 2 мм з матеріалу, який випробовується, (рис. 1.2) третью торцем об абразивну полотнину.



1 – диск; 2 – зразок; 3 – державка; 4 – вантаж

Рисунок 1.2 – Схема машини Х4-Б

Полотно закріплене на металевому диску 2 з вертикальною віссю обертання. Зразок за допомогою цангового затиску закріплений в державці 3, суміщеної з вантажем певної маси 4. Маса державки з вантажем складає 300 г, що забезпечує задане постійне нормальне навантаження на зразок протягом всього часу випробувань.

Кронштейн з'єднано з приводом машини таким чином, що кронштейн радіально переміщується на 1 мм на кожен оберт диска. Тому траєкторія руху зразка по абразивній поверхні є спіраллю Архімеда.

Радіальне переміщення зразка забезпечує постійне тертя по свіжій поверхні абразиву, незважаючи на те, що при діаметрі зразка 2

мм зсув відбувається тільки на 1 мм. При розробці методу випробувань на машині Х4-5 (рис. 1.3) показано [3], що одноразове проходження зразка по абразивній поверхні практично не змінює її властивості. В той же час подача на 1 мм замість 2 мм дозволяє удвічі збільшити довжину шляху тертя, доступну для випробування на одному листі абразиву.

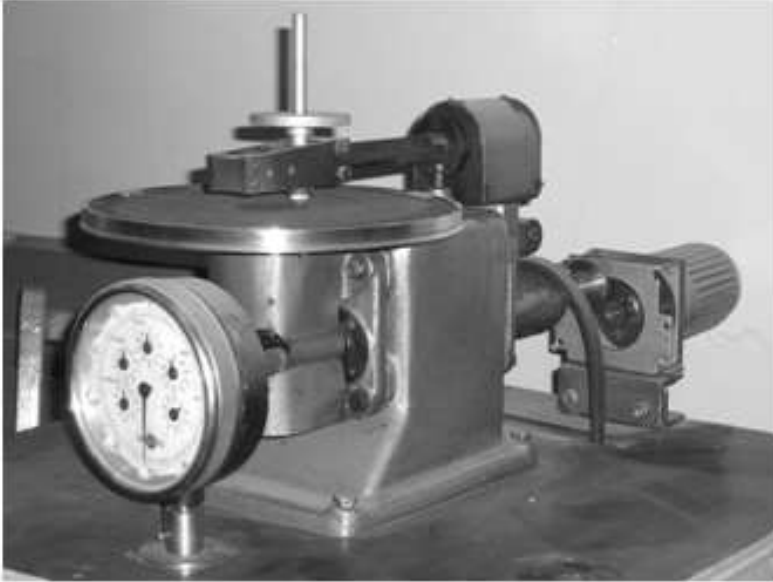


Рисунок 1.3 – Машина Х4-Б

Теоретично за постійних умов тертя знос зразка є постійним на шляху тертя певної довжини. За дійсно постійних умов тертя це дозволило б визначати залежність абсолютного зносу різних матеріалів від їх властивостей.

На практиці умови тертя ніколи не бувають постійними. Навіть при використанні сучасних технологій виробництва абразивних матеріалів властивості абразивних полотен змінюються навіть в межах одного рулону. Тому практично неможливо визначити залежність абсолютного зносу матеріалу від його властивостей з прийнятною погрішністю.

Для компенсації непостійності властивостей абразивного полотна за один випробувальний цикл окрім зразка досліджуваного матеріалу (зразок) проводять випробування зразка еталонного

матеріалу (еталон) на суміжній ділянці абразивної поверхні. При цьому шлях тертя зразка дорівнює шляху тертя еталону. За еталонний матеріал приймають матеріал з постійними властивостями для того, щоб коливання зносу еталону на постійному шляху тертя відбивали коливання властивостей абразивного полотна.

Відношення зносу зразка до зносу еталону є відносним зносом матеріалу. Відносний знос матеріалу залежить тільки від його властивостей, оскільки коливання здатності абразивного полотна, що зношує, компенсуються за допомогою еталону.

Як еталон використовують м'які матеріали (метали або відпалені сталі), властивості яких найбільш постійні за об'ємом. Проте знос таких еталонів істотно більше зносу випробовуваних матеріалів (загартовані сталі, чавуни). Тому відносний знос матеріалів, як правило, менше одиниці, що незручно для сприйняття. Дійсно, чим краще матеріал з точки зору терміну його служби, тим менше величина його відносного зносу.

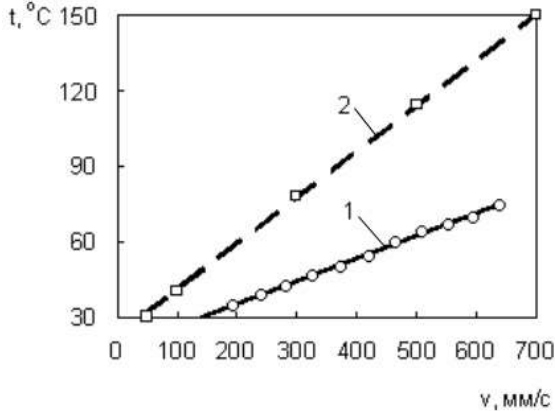
Щоб уникнути подання результатів випробувань числами менше одиниці використовують відносну зносостійкість, яка є величиною, зворотною відносному зносу. Таким чином, відносна зносостійкість матеріалу розраховується як відношення зносу еталону до зносу зразка. Ця величина також не залежить від коливання зношувальної здатності абразивного полотна.

Відносну зносостійкість еталонного матеріалу приймають за одиницю, тому величини відносної зносостійкості випробовуваних матеріалів, як правило, більше одиниці. Це є зручним, оскільки чим вище число відносної зносостійкості, тим більше стійкий матеріал в умовах дії абразиву.

Малий діаметр зразка (2 мм) дозволяє усунути шаржування поверхні тертя м'яких металів абразивними частинками і засмічення продуктами зносу проміжку між зразком і абразивом. В результаті з'являється можливість проводити дослідження широкого ряду матеріалів, від м'яких металів і низьковуглецевих конструкційних сталей до твердих загартованих сталей і чавунів. Цієї можливості немає при використанні інших методик, які не дозволяють проводити випробування м'яких металів у зв'язку з їх шаржуванням абразивними зернами.

Недоліком машини Х4-Б є змінна лінійна швидкість ковзання зразка по абразиву. При частоті обертання диска 1 c^{-1} лінійна

швидкість зразка досягає 700 мм/с на зовнішньому радіусі диска. Тому температура поверхні тертя зразка безперервно збільшується (рис. 1.4), що порушує постійність умов тертя і вимогу ГОСТ 17367-71 про відсутність нагріву.



1 - температура поверхні тертя; 2 - температура в контактах з абразивними зернами

Рисунок 1.4 – Зміна температури поверхні тертя зразків при випробуваннях залізобетонних сплавів на абразивне зношування на машині Х4-Б

Зниження частоти обертання диска машини Х4-Б дозволяє значно понизити температуру поверхні тертя зразків. При зменшенні частоти обертання в сім разів максимальна швидкість ковзання зразків по абразиву складає близько 100 мм/с, що дозволяє обмежити максимальну температуру поверхні тертя на рівні 30-40 °C. Проте, лінійна швидкість ковзання зразків по абразиву все одно залишається змінною, що може вносити похибку до результатів випробувань.

Для проведення випробувань в дійсно постійних умовах тертя використовують установку, яка показана на рисунку 1.5.

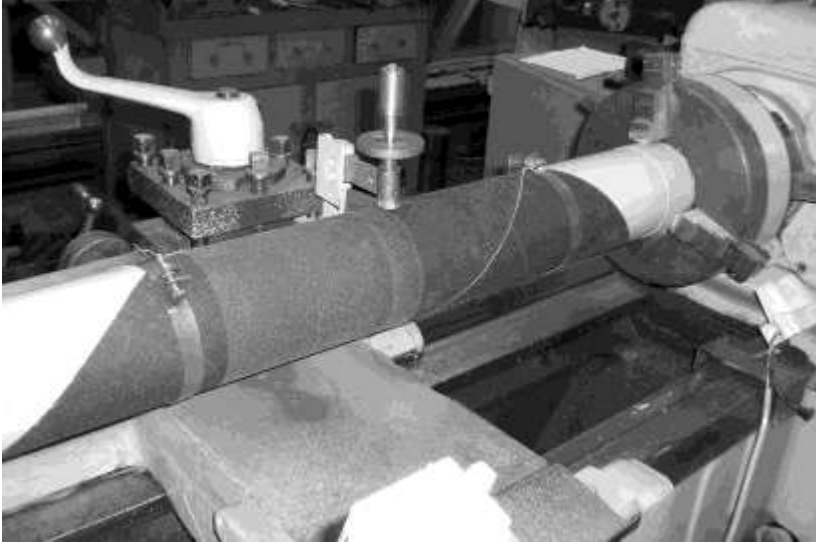


Рисунок 1.5 – Установка типу «Барабан» для проведення випробувань металевих матеріалів на абразивне зношування в умовах, ідентичних ГОСТ 17367-71

Шлях тертя зразка по абразиву визначається за кількістю обертів барабана. Подача супорта складає 1 мм/об. Всі параметри випробувань, тобто розмір зразка, абразив, навантаження - відповідають ГОСТ 17367-71.

Відносна зносостійкість випробовуваного зразка визначається за формулою:

$$\varepsilon = \frac{\Delta m_{\text{ет}}}{\Delta m_{\text{зр}}} \cdot \frac{\rho_{\text{зр}}}{\rho_{\text{ет}}}, \quad (1.1)$$

де $\Delta m_{\text{ет}}$ – масовий знос еталонного матеріалу;

$\Delta m_{\text{зр}}$ – масовий знос випробовуваного матеріалу;

$\rho_{\text{зр}}$ – щільність випробовуваного матеріалу;

$\rho_{\text{ет}}$ – щільність еталонного матеріалу.

1.3 Контрольні запитання для самоперевірки і контролю підготовленості студентів до роботи

1. Чому середня температура поверхні тертя менше температури в контакті абразивних зерен з поверхнею?
2. Для чого використовують еталонний матеріал?
3. Чому у формулу розрахунку відносної зносостійкості входить щільність еталонного і випробовуваного матеріалів?
4. Який мінімальний знос підлягає вимірюванню при випробуваннях на зношування закріпленим абразивом?
5. Які матеріали необхідно використовувати як еталонні?
6. У чому переваги маленьких зразків при випробуваннях на абразивне зношування?
7. Що таке шаржування і як воно впливає на результати випробувань?
8. Які чинники можуть порушити постійність умов тертя при проведенні випробувань? Як за наслідками випробувань можна виявити раптову появу деякого чинника, що змінив умови випробувань?

1.4 Матеріали, інструмент, прилади, обладнання

1. Випробувальна установка (див. рис. 1.5).
2. Електрокорундове абразивне полотно з розміром зерен основної фракції 63-80 мкм, максимально допустимий розмір 100 мкм.
3. Терези аналітичні АДВ-200 з ціною ділення шкали 0,0001 г.
4. Прилад для вимірювання твердості ТВП 5012.
5. Піч для термообробки зразків СУОЛ 0,25.1.1/12МР-НЗ, термопара ХА, потенціометр А-565-003-02.

1.5 Порядок проведення лабораторної роботи

Одиничне випробування полягає в наступному.

Проводять зважування зразків еталонного і випробовуваного

матеріалів, результат записують в протокол.

Зразок еталонного матеріалу закріплюють в цанговому затиску з вантажем так, щоб торець зразка виступав із затиску приблизно на 5 мм. Цанговий затиск встановлюють в кронштейн випробувальної машини і проводять стирання зразка на шляху тертя, який відповідає 100 обертам барабану. Потім зразок еталонного матеріалу виймають з цангового затиску і на його місце встановлюють зразок випробовуваного матеріалу. Цанговий затиск встановлюють в кронштейн випробувальної машини і проводять аналогічне стирання зразка на суміжній ділянці абразивного полотна на шляху тертя тієї ж довжини (100 обертів барабана).

Проводять повторне зважування зразків еталонного і випробовуваного матеріалів, результат записують в протокол.

Обчислюють значення відносної зносостійкості випробовуваного матеріалу за формулою (1.1). Результат записують в протокол.

Для визначення одного значення відносної зносостійкості зразка матеріалу необхідно не менше п'яти ідентичних випробувань. За результат приймають середнє значення, визначене за даними серії ідентичних випробувань. Довірчі інтервали значень відносної зносостійкості розраховують при надійності висновку 0,96. Результати, що містять грубі похибки, виключають з надійністю висновку 0,90.

1.6 Зміст звіту

Звіт по роботі повинен містити опис методу випробувань металевих матеріалів на зношування закріпленим абразивом, визначення термінів *відносно зношування* і *відносна зносостійкість*, протокол випробувань зразка заданого матеріалу, результати статистичної обробки експериментальних даних, остаточне значення відносної зносостійкості заданого матеріалу.

1.7 Рекомендована література

1. ASTM G65. Standard test method for dry sand rubber wheel abrasion testing // Friction and wear testing source book of selected references from ASTM standards and ASM handbooks. – ASTM : ASM. - 1997.
2. ASTM G132. Standard test method for pin abrasion testing // Friction and wear testing source book of selected references from ASTM standards and ASM handbooks. – ASTM : ASM. - 1997.
3. Хрущов М. М., Бабичев М. А. Исследования изнашивания металлов. - М. : Изд-во АН СССР, 1960. - 352 с.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВУГЛЕЦЮ ТА ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВИХ СПЛАВІВ У РІЗНОМУ СТРУКТУРНОМУ СТАНІ

2.1 Мета роботи

Дослідити вплив вмісту вуглецю та термічної обробки на зносостійкість залізовуглецевих сплавів з різним структурним станом металевої основи.

2.2 Загальні відомості

У заданих умовах зношування зносостійкість матеріалів, зокрема залізовуглецевих сплавів, залежить від трьох груп факторів: склад, структура й властивості. Спроби виключити з розгляду будь-яку із цих груп при вивченні зносостійкості сплавів приводять до одержання заздалегідь марних результатів. Тому дослідження впливу вуглецю необхідно проводити при диференціюванні структурного стану металевої основи.

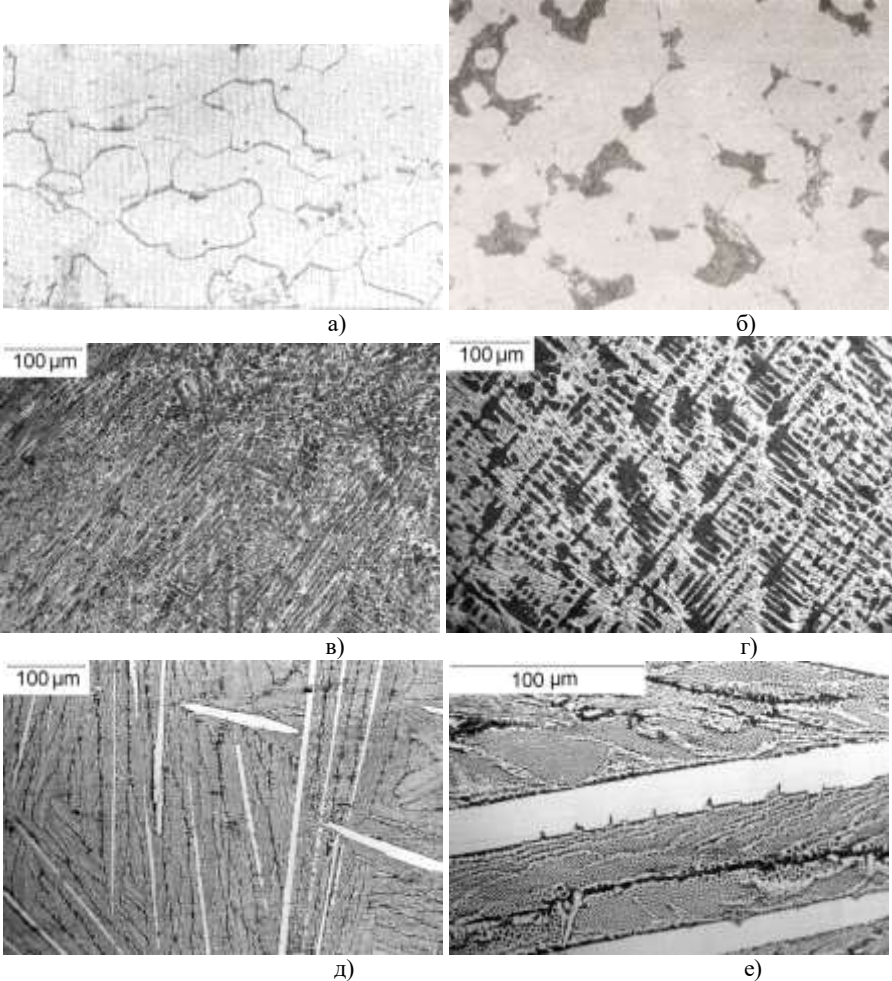
Структура залізовуглецевих сплавів є сполученням металевої основи з тією чи іншою кількістю цементиту (сталі й білі чавуни) або графіту (графітізовані сталі й сірі чавуни). Оскільки зносостійкість графіту при абразивному зношуванні дуже мала, тут не розглядаються залізовуглецеві сплави із графітом у структурі.

Властивості цементиту не можна змінити, можна змінити лише його кількість у металевій основі або за рахунок зміни вмісту вуглецю в сплаві, або шляхом термообробки. У той же час, властивості металевої основи можуть бути змінені в широких межах.

Перший спосіб зміни властивостей основи – зміна її структурного стану. У залізовуглецевих сплавах можуть бути отримані три структурних стани металевої основи: ферит, мартенсит, аустеніт. У загальному випадку властивості цих структурних складових змінюються в тих або інших межах залежно від вмісту вуглецю. Однак межі можливого вмісту вуглецю значно відрізняються

для фериту, мартенситу й аустеніту.

Максимальна розчинність вуглецю у фериті (рис. 2.1, а) при кімнатній температурі становить 0,006% мас. Тому з вірогідністю, достатньою для практики, можна прийняти, що зміна вмісту вуглецю у фериті не впливає на його властивості, і, отже, зносостійкість.



а) ферит; б) ферит + перліт; в) перліт + цементит вторинний; г) перліт + ледебурит;
д) і е) ледебурит + цементит первинний

Рисунок 2.1 – Структура залізовуглецевих сплавів з феритною основою (відпал)

Збільшення вмісту вуглецю вище 0,006 % у сплаві з феритною основою приводить до появи надлишкового цементиту спочатку в складі перліту (доевтектоїдні сталі, рис. 2.1, б), потім у вигляді вторинного цементиту (заевтектоїдні сталі, рис. 2.1, в), ледебуриту (доевтектичні білі чавуни, рис. 2.1, г) і первинного цементиту (заевтектичні білі чавуни, рис. 2.1, д-е).

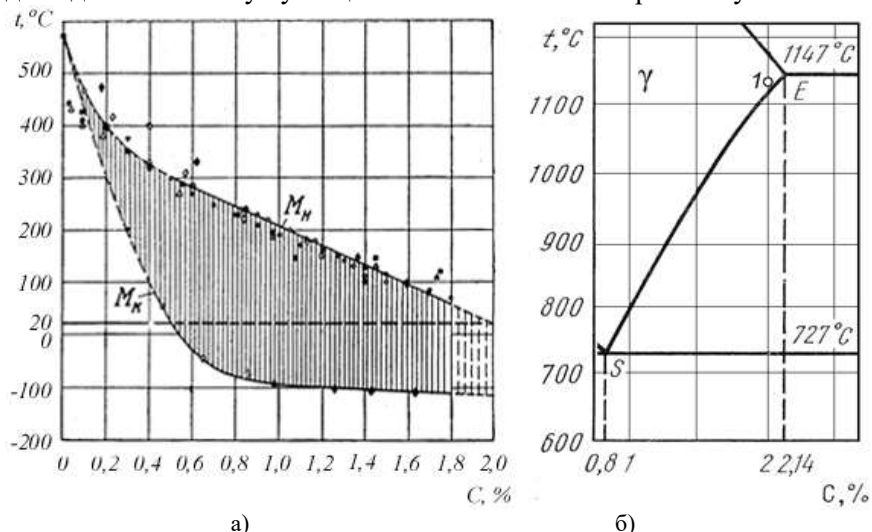
Межі вмісту вуглецю в аустеніті є значно ширшими. Максимально можлива концентрація вуглецю в аустеніті становить 2,14% при температурі 1147° С. Однак одержання залізовуглецевих сплавів з аустенітною структурою при кімнатній температурі є ускладненим. При повільному охолодженні аустеніт перетворюється в перліт (ферит + цементит). При швидкому охолодженні (гартування) аустеніт перетворюється в мартенсит.

Єдина можливість одержання аустеніту в структурі залізовуглецевих сплавів при кімнатній температурі полягає в гартуванні високовуглецевих заевтектоїдних сталей. Зі збільшенням вмісту вуглецю в аустеніті перед гартуванням знижується температура початку мартенситного перетворення (рис. 2.2, а), що приводить до збільшення кількості залишкового аустеніту після гартування. При максимально можливому вмісті вуглецю в аустеніті (2,14%, рис. 2.2, б) структура загартованої сталі повинна бути майже повністю аустенітною (рис. 3), оскільки в цьому випадку температура початку мартенситного перетворення знаходиться на рівні 20 °С (рис. 2.2, а).

Таким чином, теоретично повністю аустенітну структуру залізовуглецевого сплаву може бути отримано тільки при гартуванні сплаву зі вмістом вуглецю близько 2,14% від температури, близької до 1147° С. Але в цьому випадку одержується тільки аустеніт з високим вмістом вуглецю. Повністю аустенітну структуру з меншим вмістом вуглецю при кімнатній температурі одержати неможна, тому що зменшення вмісту вуглецю в аустеніті перед гартуванням приведе до підвищення температури початку мартенситного перетворення (рис. 2.2, а), збільшенню кількості мартенситу й, відповідно, зменшенню кількості аустеніту.

Вміст вуглецю в мартенситі може бути зміненим в найбільш широких межах. Дійсно, при вмісті вуглецю в аустеніті перед гартуванням до 0,5% температура кінця мартенситного перетворення лежить вище 20° С (рис. 2.2, а). Отже гартування сталей зі вмістом вуглецю до 0,5% дає повністю мартенситну структуру зі вмістом

вуглецю в мартенситі, рівному вмісту вуглецю в сталі. Подальше збільшення вмісту вуглецю в аустеніті перед гартуванням до 0,8% приводить до зниження температури кінця мартенситного перетворення до -80°C . Тому після загартування сталі зі вмістом вуглецю 0,8%, тобто інструментальної сталі У8, у структурі поряд з мартенситом вже присутні близько 15% залишкового аустеніту. Вміст вуглецю в мартенситі при цьому становить 0,8%. Таким чином, у нелегованих залізовуглецевих сплавах можна одержати повністю мартенситну або переважно мартенситну структуру при вмісті вуглецю в мартенситі до 0,8%. Цього діапазону цілком достатньо для дослідження впливу вуглецю на зносостійкість мартенситу.



- а) - залежність температури початку й кінця мартенситного перетворення від вмісту вуглецю в аустеніті перед гартуванням [1];
 б) - температура нагрівання під гартування (1) сплаву, що містить 2,0 % С.

Рисунок 2.2 – Визначення хімічного складу сплаву й температури його нагрівання під гартування для одержання аустенітної структури

З огляду на сказане, для дослідження впливу вуглецю на зносостійкість залізовуглецевих сплавів у різному структурному стані необхідно випробувати зразки наступних сталей і чавунів:

- 08 кп (відпал). Структура: ферит з невеликими включеннями цементиту;
- 2,14 %С (гартування від 1130°C). Структура: 90% аустеніту

(рис. 2.3);

- У8 (гартування). Мартенсит зі вмістом вуглецю 0,8%;
- сталь 45 (гартування). Мартенсит зі вмістом вуглецю 0,45%;
- Ст3 (гартування). Мартенсит зі вмістом вуглецю 0,15%;
- У8 (відпал). Перліт (ферит + цементит);
- чавун зі вмістом вуглецю 3,30% (відпал). Перліт + цементит

(див. рис. 2.1, г);

- 2,14 %C (відпал). Перліт + цементит (див. рис. 2.1, в)

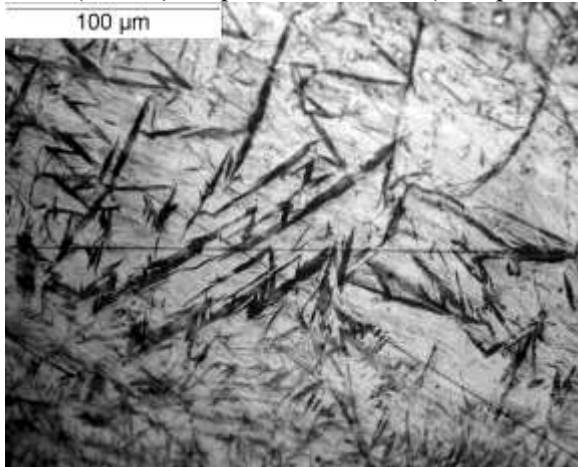


Рисунок 2.3 – Мікроструктура сплаву зі вмістом вуглецю 2,05% після гартування від 1130° С

2.3 Контрольні запитання для самоперевірки і контролю підготовленості студентів до роботи

1. Який діапазон вмісту вуглецю в фериті залізовуглецевих сплавів при температурі 20° С?
2. Який діапазон вмісту вуглецю в аустеніті залізовуглецевих сплавів при температурі 20° С за умов повністю аустенітної структури?
3. Який діапазон вмісту вуглецю в мартенситі залізовуглецевих сплавів при температурі 20° С за умов повністю мартенситної структури?

4. Яка з структурних складових володіє найвищою зносостійкістю: ферит, аустеніт, мартенсит, цементит?

2.4 Матеріали, інструмент, прилади, обладнання

Див. п. 1.4.

2.5 Порядок проведення лабораторної роботи

Див. лабораторна робота №1, п.4.

2.6 Зміст звіту

Звіт по роботі повинен містити таблицю значень твердості і відносної зносостійкості досліджених зразків, їх хімічний склад та опис структури, діаграму в координатах «відносна зносостійкість - твердість» з нанесеними результатами випробувань.

2.7 Рекомендована література

1. Гуляев А.П. Металловедение. Учебник. 5-е изд., перераб. – М. : Металлургия, 1977. – 650 с.

2. Брыков М.Н., Ефременко В.Г., Ефременко А.В. Износостойкость сталей и чугунов при абразивном изнашивании : Научное издание. Херсон : Гринь Д.С., 2014. 364 с.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЛЕГУВАННЯ ТА ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВИХ СПЛАВІВ У РІЗНОМУ СТРУКТУРНОМУ СТАНІ

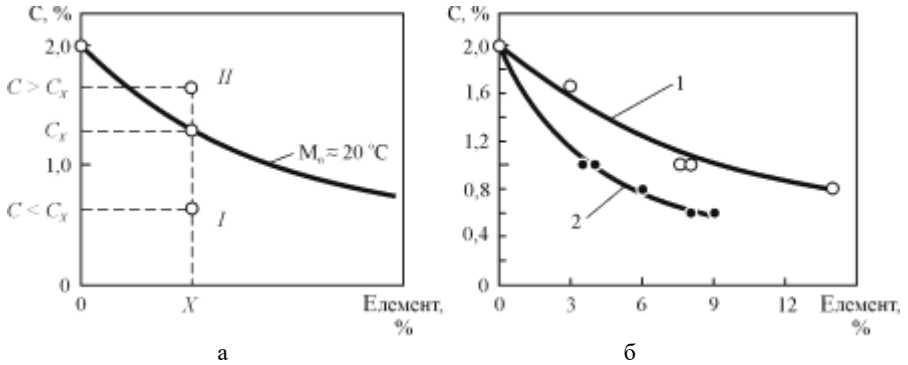
3.1 Мета роботи

Дослідити вплив легування та термічної обробки на зносостійкість при абразивному зношуванні залізовуглецевих сплавів у різному структурному стані.

3.2 Загальні відомості

Висока зносостійкість аустенітних сплавів при абразивному зношуванні досягається у випадку, коли певний вміст вуглецю та інших елементів забезпечує температуру початку мартенситного перетворення M_n на рівні 20°C . При надлишковому легуванні M_n знижується, що приводить до стабілізації аустеніту і зниженню зносостійкості сплаву.

Для підтримки температури M_n на рівні 20°C концентрація вуглецю в нелегованому аустеніті має бути $\sim 2,0\%$. Якщо в сплаві присутній легувальний елемент, то необхідна менша кількість вуглецю. Отже, існує залежність вмісту вуглецю, достатнього для підтримки температури M_n на рівні 20°C , від вмісту легувального елемента (рис. 3.1, а). Заданому вмісту легувального елемента X відповідає оптимальний вміст вуглецю C_x , що забезпечує максимально можливу зносостійкість аустеніту. Якщо вміст вуглецю менше оптимального (область I), то температура M_n знаходиться на занадто високому рівні. Через це під час гартування утворюється менше аустеніту, тому зносостійкість не досягає максимуму. Підвищувати вміст вуглецю більше оптимального C_x також недоцільно, тому що це занадто знижує температуру M_n , стабілізує аустеніт та знижує зносостійкість (область II).



а - схема; б - легування хромом (1) або марганцем (2).

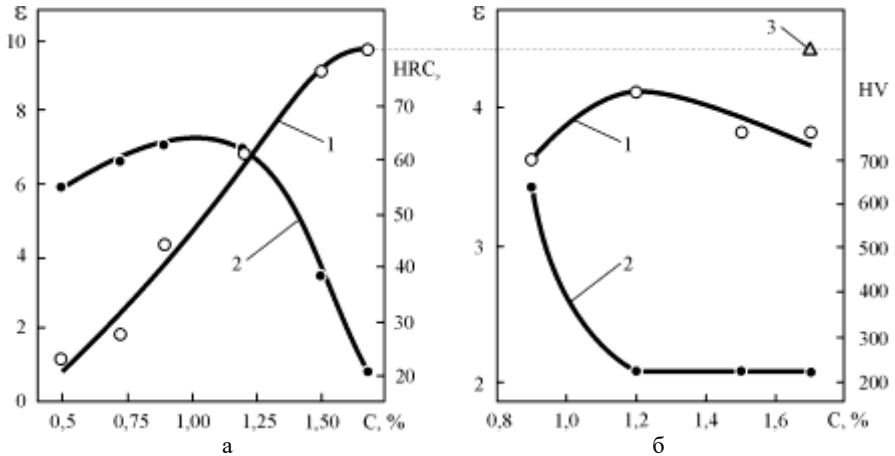
Рисунок 3.1 – Вміст вуглецю в аустеніті, який є достатнім для підтримки температури M_n на рівні $20^\circ C$, у залежності від концентрації легувального елемента

Нестабільний аустеніт може бути одержано у широкому діапазоні вмісту вуглецю і легувальних елементів. Але високу зносостійкість має лише високовуглецевий нестабільний аустеніт. Оскільки при збільшенні кількості легувальних елементів знижується оптимальний вміст вуглецю (див. рис. 3.1, а), то природно відбувається зниження зносостійкості. Тому вміст легувальних елементів у зносостійких сплавах повинен бути мінімальним.

Хром і марганець є основними легувальними елементами, тому маємо провести порівняльні дослідження впливу хрому і марганцю на зносостійкість сплавів на основі заліза після гартування на аустеніт.

За умов легування марганцем оптимальний вміст вуглецю знижується набагато інтенсивніше, ніж за умов легування хромом (див. рис. 3.1, б). Тому за однакової кількості легувального елемента хромисті сплави досягають більшої зносостійкості, ніж марганцеві (рис. 3.2).

Результатом цих міркувань може бути відмова від використання марганцю при створенні зносостійких сплавів. Але слід враховувати, що при виготовленні деталей з великим перерізом необхідно забезпечити достатню прогартуваність, щоб одержати структуру аустеніту як на поверхні, так і по всьому перерізу. Як хром, так і марганець збільшують прогартуваність, але вплив марганцю більш значний.



а – 3 %Cr, стендові випробування (1 – відносна зносостійкість, 2 – твердість HRC);
б – 3 %Mn, випробування в умовах ГОСТ 17367-71 (1 – відносна зносостійкість, 2 – твердість HV, 3 – результат випробувань сплаву 1,7 %C – 3,0 %Cr)

Рисунок 3.2 – Відносна зносостійкість ϵ і твердість легованих сплавів із різним вмістом вуглецю після гартування з однофазної γ -області

Аналіз ізотермічних діаграм перетворення аустеніту з різним хімічним складом показує, що мінімальний час до початку перлітного перетворення аустеніту, що містить 0,9 %C та 2,86 %Mn складає 100 с (рис. 3.3, б). Якщо при тому ж вмісті вуглецю в сплаві замість марганцю знаходиться хром у цієї ж концентрації, то мінімальний час до початку перлітного перетворення складає лише 10 с (рис. 3.3, а). Тому для створення зносостійких сплавів, із яких виробляють деталі великого перерізу, необхідно використовувати марганець.

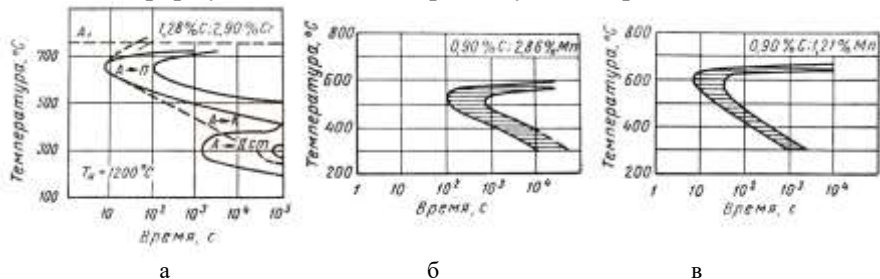


Рисунок 3.3 – Ізотермічні діаграми перетворення аустеніту різного хімічного складу

При зниженні вмісту марганцю прогартовуваність значно зменшується. Наприклад, мінімальний час до початку перлітного перетворення для аустеніту складу 0,9 %C і 1,21 %Mn знаходиться на рівні 10 с (рис. 3.3, в), що вже не дозволяє використовувати перевагу марганцю. Підвищення його вмісту також недоцільно, оскільки при цьому знижується оптимальний вміст вуглецю в аустеніті (див. рис. 1, б) і, відповідно, зносостійкість (див. рис. 3.2, б). Тому необхідний і достатній вміст марганцю в зносостійкому сплаві знаходиться на рівні 3%, що обумовлює оптимальний вміст вуглецю близько 1,2%. Такий сплав можна позначити як 120ГЗ.

При легуванні хромом відсутня необхідність так жорстко обмежувати його концентрацію. Невеликі коливання вмісту хрому мало впливають на прогартовуваність і оптимальний вміст вуглецю (див. рис. 1, б). Отже, з незначною погрішністю можна прийняти, що оптимальний рівень легування хромом також складає 3% при оптимальній концентрації вуглецю 1,5%. Такому хімічному складу відповідає марка 150Х3.

Таким чином, максимальна зносостійкість аустеніту за умов абразивного зношування досягається при можливо більшому вмісті вуглецю при одночасній граничній нестабільності цього аустеніту ($M_n = 20^\circ\text{C}$).

У роботі А.В.Макарова й Л.Г.Коршунова з колегами [1] показано, що зносостійкість мартенситу вуглецевих сталей за умов абразивного зношування безупинно збільшується при збільшенні вмісту вуглецю в мартенситі до 0,9%. Встановлено також [1], що із усіх легувальних елементів тільки ванадій забезпечує значне підвищення зносостійкості високовуглецевого мартенситу. За однакових значеннях твердості й концентрації вуглецю в мартенситі загартованих сталей У8 і 80Ф1 остання має перевагу в зносостійкості до 20 %.

Ці дані дозволяють стверджувати, що зносостійкість мартенситної матриці залізовуглецевих сплавів після гартування на максимальну твердість повинна знижуватися при збільшенні рівня легування сплаву. При збільшенні вмісту легувальних елементів точка S діаграми стану (евтектоїдна концентрація вуглецю) зрушується у бік менших концентрацій вуглецю. Оскільки гартування на мартенсит проводять від температур дещо вище температури евтектоїдного перетворення, вміст вуглецю в мартенситі після гартування відповідає

евтектоїдній концентрації. Чим більше рівень легування сплаву, тем менше вуглецю в евтектоїді й, отже, в мартенситі після гартування. Це приводить до природнього зниження зносостійкості.

Таким чином, легування знижує зносостійкість як мартенситу, так і нестабільного аустеніту. Отже, використання сталі 150X3 для деталей малого перерізу і сталі 120Г3 для деталей з великим перерізом дозволяє в промислових умовах одержати металеву основу, що має максимально можливу зносостійкість при абразивному зношуванні – високовуглецевий нестабільний аустеніт. На цьому резерв підвищення зносостійкості залізовуглецевих сплавів за рахунок металевої основи вичерпано.

Подальше збільшення зносостійкості можливо при введенні в структуру твердих складових, наприклад карбідної фази. Для підвищення зносостійкості слід використовувати лише ті карбіди, твердість яких вище твердості зміцненого аустеніту, тобто 1250 HV. Тому для підвищення зносостійкості сплавів на основі заліза необхідно використовувати тільки карбіди типу MeC та Me_7C_3 .

Карбіди типу MeC також використовують у виробництві твердих сплавів і карбідосталей. Тверді сплави мають дуже високу зносостійкість, але їх істотними недоліками є крихкість і занадто висока ціна.

Карбіди Me_7C_3 утворюються в залізовуглецевих сплавах, легуваних хромом. Перспективним способом збільшення зносостійкості хромистих сплавів є підвищення вмісту карбідної фази до рівня, при якому ще зберігається можливість використовувати високу зносостійкість аустенітної основи. Склад стандартної сталі X12 забезпечує це оптимальне співвідношення, тому зносостійкість стали X12 після гартування від температури 1075 °C є верхньою межею, яку можна досягти в залізовуглецевих сплавах за рахунок поєднання зносостійкої основи і карбідної фази високої твердості.

З огляду на сказане, для дослідження впливу легування на зносостійкість залізовуглецевих сплавів у різному структурному стані необхідно провести випробування таких матеріалів:

сталь 120Г3 після гартування від 950° C (нестабільний високовуглецевий аустеніт); сталь 150X3 після гартування від 1075° C (нестабільний високовуглецевий аустеніт); сталь 110Г13 після гартування від 1100 °C (стабільний високовуглецевий аустеніт); сталь Р6М5 після гартування від 1120-1130° C + триразове відпускання при

550° С (високолегований мартенсит + карбіди різних типів); сталь X12 після гартування від 1075° С (нестабільний аустеніт + карбіди типу Me_7C_3).

3.3 Контрольні запитання для самоперевірки і контролю підготовленості студентів до роботи

1. Як впливає легування на зносостійкість аустенітної матриці? Обґрунтуйте відповідь.

2. Як впливає легування на зносостійкість мартенситної матриці? Обґрунтуйте відповідь.

3. Які типи карбідних фаз доцільно використовувати для підвищення зносостійкості залізовуглецевих сплавів? Чому?

3.4 Матеріали, інструмент, прилади, обладнання

Див. п. 1.4.

3.5 Порядок проведення лабораторної роботи

Див. лабораторна робота №1, п.4.

3.6 Зміст звіту

Звіт по роботі повинен містити таблицю значень твердості і відносної зносостійкості досліджених зразків, їх хімічний склад та опис структури, діаграму в координатах «відносна зносостійкість - твердість» з нанесеними результатами випробувань.

3.7 Рекомендована література

1. Макаров А.В., Коршунов Л.Г., Коган Л.Х., Горкунов Э.С., Солодова И.Л., Осинцева А.Л.. Абразивная износостойкость углеродистых и низколегированных инструментальных сталей и ее оценка неразрушающими методами // Трение и износ. – 1998. – Т. 19. - №5. – С.633-641.

2. Брыков М. Н. Основы теории износостойкости железоуглеродистых сплавов при абразивном изнашивании // Problems of Tribology. – 2007. - № 2. - С. 46-56.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ТЕРМООБРОБЛЕНИХ СТАЛЕЙ В УМОВАХ ОДНОЧАСНОГО ЗНОШУВАННЯ ЗА РІЗНИМИ РЕЖИМАМИ

4.1 Мета роботи

Набути навичок визначення зносостійкості матеріалів в комбінованих умовах зношування. Визначити провідний механізм зношування зразка, який зношується одночасно за декількома механізмами, і обґрунтувати доцільність застосування термічних методів підвищення зносостійкості.

4.2 Загальні відомості

Однією із проблем багатьох підприємств є вихід із ладу деталей обладнання внаслідок гідроабразивного зношування, яке відбувається під час переміщення потоку рідини, що містить абразив, відносно зношеної поверхні. Матеріал руйнується за одночасної дії як мінімум двох механізмів: корозії і механічного зношування. В результаті втрата маси деталі (зразка) залежить від інтенсивності кожного із складових механізмів.

Можливі декілька варіантів руйнування матеріалу в умовах гідроабразивного впливу:

- інтенсивність втрати маси від корозії перевищує втрати маси від механічного зношування. В такому разі сумарна втрата маси визначається здібністю матеріалу опиратися корозії у визначених умовах процесу;
- механічна складова процесу руйнування є більш інтенсивною, ніж корозійна, отже опір матеріалу суто механічному зношуванню відіграє визначальну роль і переважає антикорозійні властивості.

Останній випадок може також бути поділено на певні варіанти згідно із кутами атаки гідроабразивного струменя:

- практично нульовий (або дуже малий) кут атаки. В такому

випадку гідроабразивний струмінь рухається паралельно поверхні, тверді частинки в абсолютній більшості випадків не дряпають матеріал. Матеріал руйнується у багатоцикловому режимі;

- критичний, або близький до нього кут атаки (приблизно 30...40°). Тверді частинки інтенсивно дряпають матеріал, швидкість руйнування збільшується на порядок або вище. Матеріал руйнується у малоцикловому режимі.

В реальних умовах гідроабразивного зношування, як правило, неможливо відокремити дію кожного з механізмів руйнування робочих поверхонь. Тому висновок про оптимальний матеріал тієї чи іншої деталі можна робити тільки після випробувань самої деталі або зразка-свідка в натурних умовах.

Проведено випробування зразків-свідків, які було встановлено у робочому тракті пульпопроводу земснаряду АСК «УКРРІЧФЛОТ», Філія «Запорізький річковий порт».

Земснаряд ГПП-15 є спеціалізованим судном, який обладнано системою забору донного ґрунту (здебільшого річковий пісок) і завантаження його на баржі (рис. 4.1).



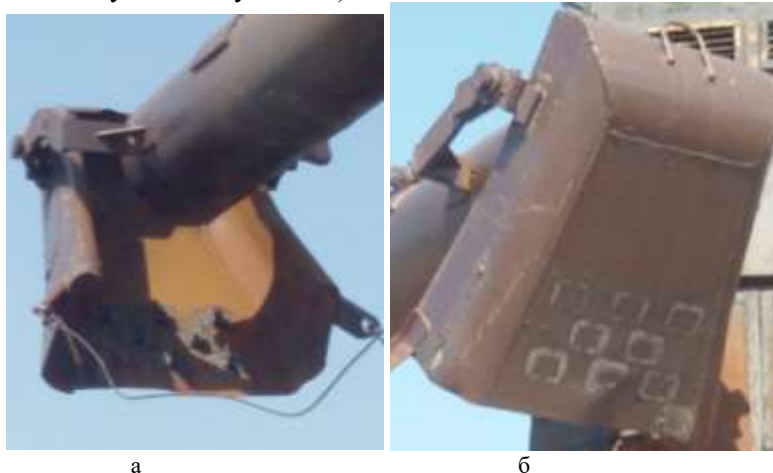
1 – завантажувальний трубопровід; 2 – шарнірна лапа

Рисунок 4.1 – Робота земснаряду ГПП-15. Завантаження річного піску на баржу

Донний ґрунт всмоктується через заборний трубопровід, який захищено решітками від потрапляння великого каміння. Далі пульпа рухається через транспортний трубопровід до насосного вузла, який і створює розрядження і тиск у трубопроводі земснаряду.

З насосного вузла пульпа потрапляє до поворотного завантажувального трубопроводу, на виході з якого змонтовано шарнірну лапу, що направляє потік вниз до вантажної баржі (див. рис. 4.1).

Зразки загартованої на мартенсит сталі 120Г3С2 встановлено на кронштейнах поруч з еталонними зразками (СтЗ), з якої виготовляють шарнірні лапи та трубопровід. Кронштейни приварено у шаховому порядку до поверхні лапи (рис. 4.2). Зразки розташовано так, що вони орієнтовані ребрами назустріч потоку гідроабразивної пульпи. Таким чином, ребра зразків зазнавали переважно механічного, абразивного зношування, а плоскі поверхні руйнувались здебільшого внаслідок корозії, оскільки потік пульпи рухався паралельно цим поверхням (практично нульовий кут атаки).



а

б

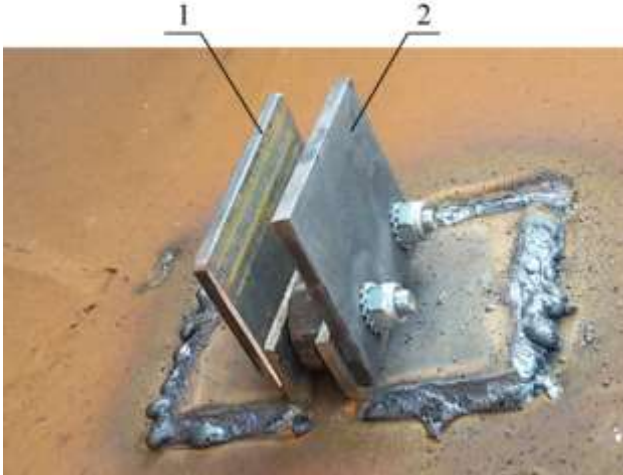
а – робоча сторона; б – зворотна сторона

Рисунок 4.2 – Шарнірна лапа із привареними кронштейнами зі зразками

Габаритні розміри еталонів і зразків становили приблизно 70х50 мм, товщина 5 мм.

Зовнішній вигляд пари зразок-еталон до початку експлуатації земснаряду після зимового ремонту наведено на рисунку 4.3. Зверніть

увагу на поверхню шарнірної лапи, яку вкрито шаром іржі.



1 – еталон; 2 – зразок із досліджуваних матеріалів

Рисунок 4.3 – Пара зразок-еталон, яку встановлено на кронштейнах

Зовнішній вигляд внутрішньої поверхні шарнірної лапи та зразків після випробування впродовж періоду травень-грудень наведено на рис. 4.4. Зверніть увагу на блискучі поверхні шарнірної лапи і еталонів. Одночасно зразки сталі 120Г3С2 було вкрито плівкою продуктів корозії (див. рис. 4.4, б).



а



б

а – загальний вигляд; б - зразок загартованої сталі 120Г3С2 поруч з еталоном;
1 – еталон; 2 - зразок

Рисунок 4.4 – Шарнірна лапа із зразками після випробувань

4.3 Контрольні запитання для самоперевірки і контролю підготовленості студентів до роботи

1. В якому режимі зношування більш зносостійкою виявилася сталь Ст3?
2. В якому режимі зношування більш зносостійкою виявилася загартована сталь 120Г3С2?
3. Який з цих режимів зношування є провідним для деталей пульпопроводу земснаряду?
4. Чи завжди термічна обробка є доцільною для підвищення зносостійкості деталей машин?

4.4 Матеріали, інструмент, прилади, обладнання

1. Зразки сталі 120Г3С2 після випробувань.
2. Еталонні зразки сталі Ст3.
3. Контури зразків і еталонів до випробувань.
4. Товщини зразків і еталонів до випробувань.
5. Маса зразків і еталонів до випробувань.
6. Терези аналітичні АДВ-200 з ціною ділення шкали 0,0001 г.
7. Мікрометр.

4.5 Порядок проведення лабораторної роботи

Зважити зразки і еталони. Визначити втрату маси зразків і еталонів. Визначити відносну втрату маси зразків.

Виміряти товщини зразків і еталонів. Визначити втрати розмірів (звуження) зразків і еталонів. Визначити відносне звуження зразків. Висунути гіпотезу щодо режиму руйнування, який призвів до звуження еталонів і зразків.

За різницею контурів зразків і еталонів до і після випробувань визначити відносний знос зразків з торців. Висунути гіпотезу щодо режиму руйнування, який призвів до зносу з торців еталонів і зразків.

Порівняти інтенсивність зношування зразків і еталонів у кожному з двох розглянутих випадків руйнування. Визначити провідний вид зношування для деталей земснаряду. Зробити висновок про доцільність застосування термічної обробки для підвищення зносостійкості елементів пульпопроводу земснаряду.

4.6 Зміст звіту

Звіт по роботі повинен містити контури зразків і еталонів до і після зношування; таблицю з результатами зважування і вимірювання зразків і еталонів, а також результатами розрахунків відносних зносів, висновки по роботі.

4.7 Рекомендована література

1. Вовк А.О., Бережний С.П., Капустян О.Є. Осіпов М.Ю., Андрущенко М.І., Бриков М.М. Зносостійкість високовуглецевих сплавів в умовах гідроабразивного зношування // Вісник ДДМА. – 2018. - №2. – С. 21-29.

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 рухомими елементами випробувальної установки. 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 пристрої, або стенд за дозволом викладача або лаборанта;

3) виконувати тільки ту роботу, яка передбачена завданням;

4) переконатися в надійності заземлення стенда, електроізоляції кабелю і проводів;

5) виявляти особливу уважність і акуратність при роботі;

6) не торкатися рухомих і струмоведучих частин обладнання;

7) працювати 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 стенд, привести в порядок робоче місце.