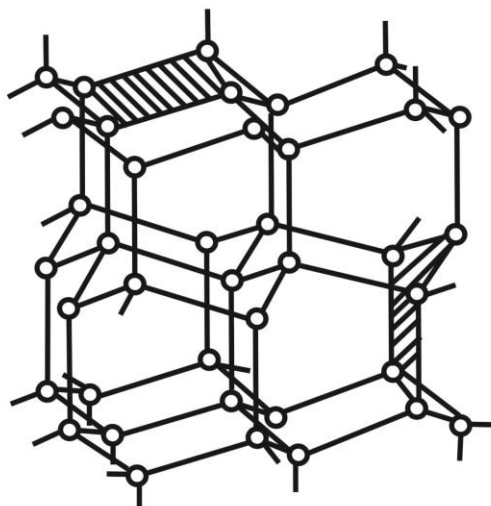


ЗМІЦНЮЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ ПОВЕРХНЕВО-ПЛАСТИЧНОЇ ОБРОБКИ



*Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт
здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти
спеціальності «Матеріалознавство»*

Хмельницький національний університет

ЗМІЦНЮЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ ПОВЕРХНЕВО-ПЛАСТИЧНОЇ ОБРОБКИ

*Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт
здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти
спеціальності 132 «Матеріалознавство»*

*Затверджено на засіданні кафедри
трибології, автомобілів та матеріалознавства.
Протокол № 6 від 09.02.2023*

Хмельницький 2023

Зміцнюючі технології поверхнево-пластичної обробки : методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 132 «Матеріалознавство» / О. П. Бабак, С. Ф. Посонський, К. Е. Голенко, А. А. Вичавка. Хмельницький : ХНУ, 2023. 20 с.

Укладачі: Бабак О. П., канд. техн. наук, доц.;
Посонський С. Ф., канд. техн. наук, доц.;
Голенко К. Е., канд. техн. наук, викл.;
Вичавка А. А., викл.

Відповідальний за випуск: Диха О. В., д-р техн. наук, проф.

Випусковий редактор: Яремчук В. С.

Технічне редагування і верстка: Карпанасюк В. П.

Макетування та друк здійснено редакційно-видавничим відділом Хмельницького національного університету (м. Хмельницький, вул. Інститутська, 7/1). Підп. до друку 21.03.2023. Зам. № 22/23, тир. 50 прим., 2023.

© ХНУ, 2023

Вступ

Навчальна дисципліна «Зміцнюючі технології поверхнево-пластичної обробки» є обов'язковою складовою фахової підготовки здобувачів вищої освіти (освітній ступінь «магістр»), які навчаються за освітньо-професійними програмами спеціальності 132 «Матеріалознавство» і спрямована на вивчення основних принципів та положень технологічних процесів зміцнення поверхні.

Метою дисципліни є формування у фахівця в галузі зварювання та споріднених технологій, сучасних уявлень і теоретичних знань про методи і механізм зміцнення поверхонь деталей машин та конструкцій, і проектування технологічних процесів утворення зносостійкого поверхневого шару.

Метою лабораторних робіт є формування у здобувачів практичних навичок з проектування технологічних процесів зміцнення деталей та конструкцій з використанням сучасних технологій.

Завданнями дисципліни є: засвоєння методики проведення робіт зі зміцнення деталей, правильний підбір матеріалів для поверхнево-пластичного оброблення, раціональне визначення кінцевих операцій та методів контролю якості використаних конструкційних матеріалів; обґрунтування економічної доцільності вибору тих чи інших способів зміцнення конструкційних матеріалів.

Лабораторні роботи мають практичний характер, в кожній з них стисло викладені необхідні для їх виконання основні теоретичні положення, методики проведення і завдання для самостійного виконання здобувачами, приклад оформлення звіту з проведеної роботи та контрольні питання для визначення ступеня засвоєння отриманих знань. Здобувачі досліджують вплив ступеня деформування, механічних властивостей, кратності прикладеного навантаження та структури матеріалу на характер зміцнення поверхні, вплив структури наплавленого шару металу на зносостійкість.

Дисципліна має за мету розширити і доповнити формування у здобувачів загальних та фахових **компетентностей** та набуття ними **результатів** навчання, передбачених освітньою програмою, зокрема:

– планувати та проводити дослідження в сфері матеріалознавства у лабораторних та виробничих умовах на відповідному рівні з використанням сучасних методів і методик здійснювати статистичну обробку та статистичний аналіз результатів експериментів, обґрунтовувати висновки;

– обґрунтовано здійснювати вибір технологій виготовлення, оброблення, випробування матеріалів і виробів, для конкретних умов експлуатації: призначати та контролювати показники якості матеріалів та виробів;

– проектувати нові матеріали, розробляти, досліджувати та використовувати фізичні та математичні моделі матеріалів та процесів; розробляти комплексний дизайн нових матеріалів і виробів на їх основі з урахуванням експлуатаційних властивостей та умов використання;

– аналізувати основні види відмов деталей автомобілів, ідентифікувати їх причини, розробляти технологічні процеси відновлення зношених поверхонь деталей автомобіля.

Зазальні методичні поради. Глибоке вивчення здобувачем теоретичного матеріалу є головною передумовою виконання лабораторної роботи. Ґрунтовно опанувавши теоретичні відомості з теми роботи, він зможе проаналізувати, зрозуміти та пояснити отримані результати. Ступінь підготовки до виконання лабораторної роботи перевіряється шляхом усного опитування на початку заняття. Здобувач, який не засвоїв необхідного теоретичного матеріалу, до виконання роботи не допускається.

За результатами виконання лабораторної роботи складається звіт, який має містити: назву та мету роботи, вихідні дані, детальний розрахунок необхідних показників, результати та висновки. Здобувач без наявності звіту, до захисту роботи не допускається.

Захист лабораторної роботи здійснюється на наступному занятті у формі усного опитування, що дає змогу найбільш об'єктивно виявити якість засвоєних знань та здатність до критичного мислення. Для самоконтролю знань до кожної роботи розроблено перелік питань. Здобувачі, які успішно виконали всі заплановані лабораторні роботи та захистили їх, допускаються до підсумкового семестрового контролю з дисципліни.

Оцінювання лабораторних робіт здійснюється за інституційною чотирибальною шкалою. Оцінки виставляються викладачем в електронному журналі групи в електронній мережі університету. Оцінка за лабораторний практикум є складовою підсумкової семестрової оцінки здобувача.

Оцінку **«відмінно»**, отримує здобувач за грамотні, логічні та повні відповіді на контрольні запитання та якісне оформлення роботи (схеми, графіки, епюри).

Оцінку **«добре»**, отримує здобувач за повні відповіді на контрольні запитання з деякими неточностями або похибками та якісне оформлення роботи (схеми, графіки, епюри).

Оцінку **«задовільно»**, отримує здобувач за не повні відповіді на контрольні запитання з неточностями, похибками та якісне оформлення роботи (схеми, графіки, епюри).

Оцінку **«незадовільно»**, отримує здобувач за абсолютно невірні відповіді на контрольні запитання та неякісне оформлення роботи (схеми, графіки, епюри).

Лабораторна робота 1.

Вплив ступеня деформування на зміцнення матеріалу поверхні

Мета: засвоєння методики визначення залежності ступеня зміцнення поверхні від величини тиску на робоче тіло (індентор), пластичним деформуванням поверхні.

Прилади, інструменти та матеріали: твердоміри ТК-2М, ТШ-2М; індентор кульковий; індикатор годинникового типу; плита вимірвальна; мікроскоп; лінійка; зразки з вуглецевих сталей $d = 50$, $h = 15$ мм.

Теоретичні відомості

Зміцнення в технології металів – це підвищення опору матеріалу заготовки або виробу руйнуванню або залишковій деформації.

Характеристикою зміцнення є ступінь зміцнення – показник відносного підвищення значення заданого параметра опору матеріалу руйнуванню, залишковій деформації в порівнянні з його вихідним значенням у результаті зміцнюючої обробки, а також (у ряді випадків) глибиною зміцнення (товщиною зміцненого шару). Зміцнення звичайно супроводжується зниженням пластичності. Тому практичний вибір способу та оптимального режиму зміцнення визначається максимальним підвищенням міцності матеріалу при припустимому зниженні пластичності, що забезпечує найбільшу конструкційну міцність.

Поверхневий шар при обробці деталей поверхнево-пластичною обробкою (ППО) формується в результаті складних взаємозалежних явищ, що відбуваються у місці деформування і прилеглих до нього зонах.

Як при статичній, так і при ударній взаємодії на оброблюваній поверхні утвориться відбиток від інструменту, що потім перетворюється в прилягаючі один до одного сліди або серію відбитків. При навантаженні твердої кулі статичною чи ударною силою P (див. рис. 1.1) вона вдвлюється в оброблюваний матеріал, у міру збільшення сили спочатку виникає пружна деформація поверхні, а потім – пластична (лінія OAB , рис. 1.1, б).

В наслідок появи пластичних деформацій зворотний процес іде по лінії BC . Залишкова пластична деформація виражається розміром відбитка d , що відповідає OC . Пластичне деформування під відбитком поширюється рівномірно, і як би копіюючи з деяким деформуванням поверхню кулі.

Основною причиною зміцнення є лавиноподібний розвиток дислокацій – дефектів кристалічної ґратки металу, що накопичуються поблизу ліній зміцень, і наступною зупинкою перед різного роду перешкодами, що утворюються в процесі деформування (пересікання дислокацій, траєкторія руху яких перетинається між собою під деяким кутом; смуги деформування тощо) які існували до цього (міжкристалічні граничні шари, скупчення атомів домішок, елементи другої фази і т.д.). Подрібнення на блоки об'ємів металу, що

знаходяться між лініями ковзання, поворот цих блоків, скривлення площини ковзання і нагромадження на них продуктів кристалічної ґратки сприяють збільшенню нерівностей на площинах ковзання, а отже, і зміцненню.

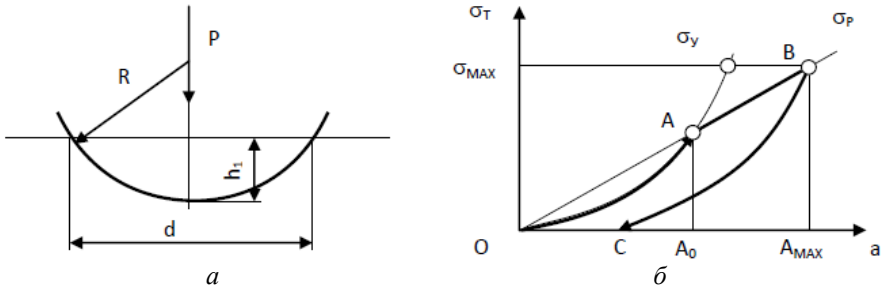


Рис. 1.1 – Плин металу при вдавлюванні сферичного індентора: a – відбиток; b – залежність пружної і пластичної деформації від напруження вдавлювання

Однак при завищених силових параметрах обробки може відбуватись перенаклеп, в результаті якого в поверхневому шарі з'являються небезпечні мікротріщини, pojawiaються частки металу, що відшаровується, зерна біля поверхневі сплескаються так, що стають майже нерозрізненими. Різко збільшується шорсткість поверхні. Наклеп металу можна частково або повністю зняти шляхом відпалу. Перенаклеп – незворотний процес, за якого нагрів не відновлює вихідну структуру і його механічні властивості.

Порядок і методичні рекомендації з виконання роботи

1. Ознайомитись з будовою твердомірів та правилами техніки безпеки роботи на устаткуванні.
2. Установити зразок на вимірювальний столик твердоміра ТШ-2М (рис. 1.2) та виміряти його вихідну твердість. Дані занести в таблицю 1.1.

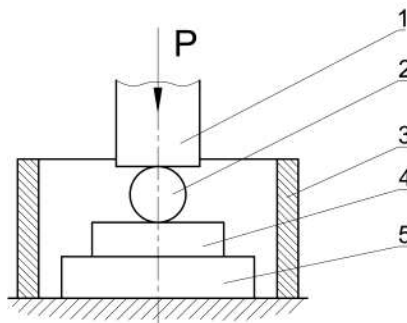


Рис. 1.2 – Розміщення зразка, індентора та вимірювального столика при дії навантаження: 1 – шток гідроциліндра; 2 – індентор; 3 – захисний кожух; 4 – зразок; 5 – вимірювальний столик

Таблиця 1.1

Вид індентора	Твердість вихідного матеріалу, HRC	Твердість матеріалу після прикладання навантаження, кг				
		200	500	1000	1500	2000
Кульковий						
Роликовий						

3. Установити індентор (кулька або ролик $d = 10$ мм, сталь ШХ15) та захисний кожух.

4. Увімкнути твердомір і вдавнити індентор з фіксованим навантаженням $P = 200$ кгс.

5. Зняти навантаження.

6. Пункти 2–5 повторити для навантажень $P = 500, 100, 1500, 2000$ кгс.

7. Зняти зразок з машини і виключити установку.

8. Зробити виміри твердості на твердомірі ТК-2М у місцях вдавнення індентора. Дані занести у таблицю 1.1.

9. Виміряти відбитки діаметра d і глибини h втиснення. Дані занести у таблицю 1.2.

Таблиця 1.2

Вид індентора	Лінійний розмір	Розмір відбитка після прикладання навантаження, мм				
		200	500	1000	1500	2000
Кульковий	d					
	h					
Роликовий	L					
	b					
	h					

10. На підставі отриманих даних побудувати графіки залежностей зміни $HRA = f(P)$, $h = f(P)$. Зробити висновки.

Контрольні питання

1. Що таке зміцнення поверхні?
2. Що таке ступінь зміцнення поверхні?
3. Що таке ППО?
4. Чим відрізняються пластичні і ударні методи зміцнення?
5. Що таке: а) пружна деформація; б) пластична деформація?
6. Що таке перенаклеп?

Література: [1, с. 12–30; 2, с. 15–20]

Лабораторна робота 2.

Вплив механічних властивостей матеріалу на ступінь зміцнення матеріалу поверхні

Мета: визначення впливу механічних властивостей матеріалу на ступінь зміцнення поверхні.

Прилади, інструменти та матеріали: твердоміри ТК-2М, ТШ-2М; індентор кульковий; індикатор годинникового типу, плита вимірвальна; мікроскоп; лінійка; зразки з вуглецевих сталей $d = 50$, $h = 15$ мм.

Теоретичні відомості

Структурні складові мають різну здатність до зміцнення. Для структур мартенситу глибина зони наклепу трохи більша ніж для інших структур. Для структури сорбіту притаманна найменша глибина наклепу.

Ступінь наклепу різноманітних структур оцінюється за відносним прирощенням крихкості:

$$\frac{\Delta HV}{HV} \times 100.$$

Обробка методами ППО супроводжується складними структурними та фазовими перетвореннями. В початковий момент часу виникає роздроблення зерен металу на блоки та утворюється мозаїчна структура. У подальшому, внаслідок підсилення розвитку зсуву по площинам ковзання, виникають нові більш дрібніші зерна. При цьому кристали втрачають свою глобальну форму, сплескуються, витягуються у напрямку деформації. Суттєво змінюється співвідношення їх розмірів, виникає упорядковано-орієнтована структура волокнистого характеру з анізотропними механічними властивостями, коли пластичність у повздож волокон вища, ніж у поперечному перерізі.

При наклепі перенасиченого твердого розчину частково відбувається їх розпад, внаслідок чого утворюються дрібні частки нових структурних перетворень. Останні, попавши на площини ковзання, блокують розвиток зсувів. При деформуванні сталей з феритно-перлітною структурою розпадається твердий розчин α -заліза та вуглецю, роль шипів відіграють карбіди заліза, які випадають у вигляді дрібних карбідних включень. Можливе також утворення сполук азоту – нітриди. Збільшення крихкості при пластичному деформуванні сталей з мартенситною структурою загартування пояснюється частковим перетворенням залишкового аустеніту у мартенсит.

Питомий об'єм структурних складових наступний (у порядку зменшення): тетрагональний мартенсит, мартенсит з кубічною ґраткою, перліт (сорбіт, троостит), аустеніт. Якщо при обробці виникають структурні перетворення, які супроводжуються збільшенням питомого об'єму (наприклад,

перехід аустеніту у мартенсит), виникають залишкові напруження стиску, а при зворотному процесі – напруження розтягу.

Порядок і методичні рекомендації з виконання роботи

1. Ознайомитись з будовою твердомірів та правилами техніки безпеки і роботи на устаткуванні.

2. Установити зразки на вимірювальний столик твердоміра ТК-2М виміряти твердість. Дані занести в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1

Матеріал зразка	Твердість вихідного матеріалу, <i>HRC</i>	Твердість матеріалу після прикладання навантаження, кгс				
		200	500	1000	1500	2000
1						
...						
<i>n</i>						

3. Установити зразок на вимірювальний столик твердоміра ТШ-2М за рис. 2.1.

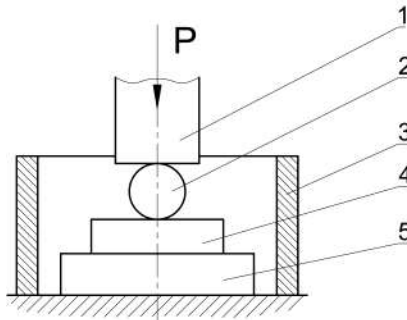


Рис. 2.1 – Розміщення зразка, індентора та вимірювального столика при дії навантаження

1 – шток гідроциліндра машини; *2* – індентор; *3* – захисний кожух; *4* – зразок; *5* – вимірювальний столик твердоміра.

4. Установити індентор (кулька $d = 10$ мм, сталь ШХ15) та захисний кожух.

5. Включити машину і вдавити індентор (протягом 10 с) з фіксованим навантаженням $P = 200$ кгс.

6. Зняти навантаження.

7. Пункти 3–6 повторити для навантажень $P = 500, 100, 1500, 2000$ кгс.

8. Зняти зразок з машини виключити установку.

9. Повторити пункти 3–8 для зразків з різних сталей.

10. Виміряти твердість в місцях вдавлення індентора. Дані занести в таблицю 2.1.

11. Виміряти відбитки діаметра d та глибини h вдавлення. Дані занести в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Матеріал зразка	Лінійний розмір	Розмір відбитка після прикладання навантаження, мм				
		200	500	1000	1500	2000
1	D					
	H					
.....	D					
	h					
n	d					
	h					

13. На підставі отриманих даних побудувати графіки залежностей зміни $HRA = f(P)$, $h = f(P)$. Зробити висновки.

Контрольні питання

1. Для якої структури характерна найглибша зона наклепу?
2. Для якої структури притаманна найменша глибина наклепу?
3. Розкрийте механізм структурних та фазових перетворень при ППО.
4. Чим пояснюється збільшення крихкості при пластичному деформуванні сталей зі мартенситною структурою загартування?
5. В наслідок чого виникають залишкові стискуючі напруження?
6. В наслідок чого виникають залишкові розтягуючі напруження?

Література: [1, с. 12–30; 2, с. 15–20]

Лабораторна робота 3.

Залежність ступеня зміцнення поверхні матеріалу від кратності прикладеного навантаження

Мета: Визначення залежностей ступеня зміцнення матеріалу поверхні від кратності навантажень.

Прилади, інструменти та матеріали: твердоміри ТК-2М, ТШ-2М; індентор кульковий; індикатор годинникового типу, плита вимірювальна; мікроскоп; лінійка; зразки з вуглецевих сталей $d = 50$, $h = 15$ мм.

Теоретичні відомості

Поверхневий шар при обробці деталей ППО, як нам вже відомо, формується в результаті складних взаємозалежних явищ, що відбуваються у місці деформування і прилеглих до нього зонах.

Як при статичній, так і при ударній взаємодії на оброблюваній поверхні утвориться відбиток від інструменту, що потім перетворюється в прилягаючі один до одного сліди або серію відбитків. При навантаженні твердої кулі статичною чи ударною силою P індентор вдавлюється в оброблюваний матеріал: у міру збільшення сили P збільшується зона наклепу. Таких самих наслідків збільшення зони можливо досягти при багатократному навантаженню в ту ж саму точку з меншою силою P .

Багатократне навантаження, сталою статичною силою при вдавлюванні кулі в одне і теж саме місце, не призводить до суттєвого збільшення розміру пластичного матеріалу.

На відміну від статичного, при ударному втисненні кулі – індентора з збільшенням числа ударів до 15–20, розмір відбитку для різноманітних умов обробки збільшується в 1,25–1,55 рази. Це збільшення буде ще меншим, у випадку більш крихких матеріалів, при цьому діаметр індентора не має великого впливу і знаходиться з наступної залежності (3.1).

$$\frac{d_{\max}}{d} = 1,55 - \frac{HB}{1000}. \quad (3.1)$$

Порядок і методичні рекомендації з виконання роботи

1. Ознайомитись з будовою твердомірів ТК-2М, ТШ-2М, правилами техніки безпеки роботи на даному устаткуванні.
2. Встановити зразки на вимірювальний столик твердоміра ТК-2М виміряти твердість. Дані занести в таблицю 3.1.
3. Встановити зразок на вимірювальний столик твердоміра ТШ-2М згідно з рис. 3.1.

Таблиця 3.1

Матеріал зразка	Твердість вихідного матеріалу, HRC	Твердість матеріалу після прикладання навантаження $P = 100$ кг (разів)						
		1	5	10	15	20	25	30
1								
...								
<i>n</i>								

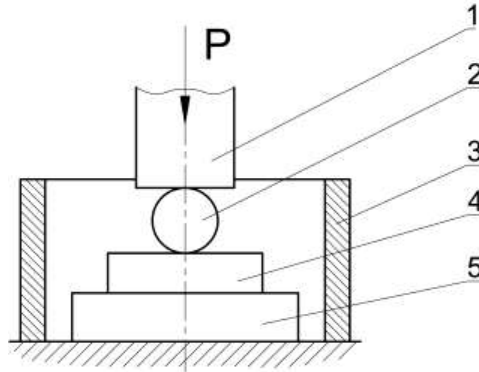


Рис. 3.1 – Розміщення зразка, індентора та вимірювального столика при дослідях: 1 – шток гідроциліндра; 2 – індентор; 3 – захисний кожух; 4 – зразок; 5 – вимірювальний стіл

4. Установити індентор (кулька $d = 10$ мм, сталь ШХ15) та захисний кожух.
5. Включити машину і вдавнити індентор з фіксованим навантаженням $P = 1000$ кг протягом 10 с, зняти навантаження (кратність додавання навантаження в одну точку 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30 разів).
6. Зняти зразок з машини вимкнути твердомір.
7. Зробити виміри твердості в місцях вдавлення індентора. Дані занести в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2

Матеріал зразка	Лінійний розмір, мм	Розмір відбитка після прикладання навантаження $P = 100$ кг, разів						
		1	5	10	15	20	25	30
1	d							
	h							
...	d							
	h							
<i>n</i>	d							
	h							

8. Виміряти відбитки діаметра d і глибини h вдавнення. Дані занести в таблицю 3.2.

9. Пункт 3–8 повторити для зразків з різних матеріалів.

10. На підставі отриманих даних побудувати графіки залежностей зміни $HRA = f(P)$, $h = f(P)$. Зробити висновки.

Контрольні питання

1. Які є способи збільшення зони наклепу?
2. Що таке ППО?
3. Чим відрізняються пластичні і ударні методи зміцнення?
4. Що таке пружна деформація?
5. Що таке пластична деформація?
6. Що таке перенаклеп?

Література: [1, с. 12–30; 2, с. 15–20]

Лабораторна робота 4.

Вплив структури матеріалу деталі на зносостійкість

Мета: формування практичних навичок з проведення дослідження впливу структури матеріалу деталі на його зносостійкість.

Прилади, інструменти та матеріали: машина тертя; терези, важки; штангенциркуль (мікрометр); зразки з різних сталей $d = 5$, $h = 75$ мм.

Теоретичні відомості

Більшість сталей, що мають високі механічні властивості, в умовах експлуатації повинні бути в тій чи іншій мірі зносостійкими. Зносостійкими називають сталі, основна властивість яких – високий опір спрацьовуванню (стиранню, контактній втомі тощо). При цьому сталі, зносостійкі при одному виді спрацьовування, можуть бути нестійкими по відношенню до спрацьовування іншого виду.

Зносостійкість сталі та сплавів визначається в основному їхнім хімічним складом, структурою й умовами експлуатації. У випадку абразивного зношування, механізм якого включає мікропластичну деформацію, зріз і відрив часток, зносостійкість пов'язана з твердістю: звичайно при підвищенні твердості сталі абразивне спрацьовування знижується (рис. 4.1).

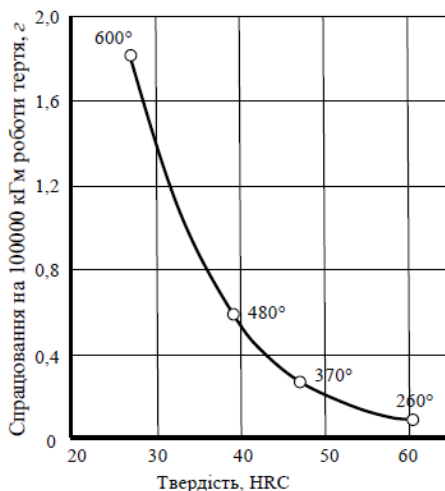


Рис. 4.1 – Вплив твердості на спрацьовування сталі з 0,8 % С, загартованої та відпущеної при 260–600 °С.

Спрацьовування визначали при терті кочення на машині тертя використовуючи зразки $d = 50$ мм, висотою $h = 10$ мм.

Однак не завжди зносостійкість знаходиться в прямому зв'язку з інтегральною твердістю сплаву; більш правильні представлення дають значення мікротвердості структурних складових сплаву в поєднанні з даними про відносну кількість складових, їх величини, розподіл і форми.

Найменшу твердість і зносостійкість має ферит, тому сталі та чавуни з феритною основою відрізняються невисокою зносостійкістю.

Аустеніт при порівняно невисокій твердості сильно зміцнюється в процесі холодної пластичної деформації і тому може бути основою сплавів, зносостійких в умовах ударів, зминання і сильної пластичної деформації.

Мартенсит відрізняється високою твердістю і міцністю, і є основою багатьох зносостійких сплавів. Найбільш твердою структурною складовою сталі і чавуна, що має найвищу зносостійкість, є карбіди. Зносостійкість ферито-цементитних структур (перліт, сорбіт) підвищується зі збільшенням кількості карбідів і зростанням загальної твердості, пластинчасті структури виявляються більш зносостійкими, чим зернисті, тому що зерна легше відокремлюються від м'якої основи, ніж пластинки з розвинутою поверхнею.

Високою зносостійкістю відрізняється евтектика в чавунах, що містять велику частку твердої карбідної фази. Особливу роль у зносостійких сплавах відіграє структурно вільний графіт, включення якого зменшують тертя, відіграючи роль молекулярного мащення. Оптимальною формою графіту виявляється кульова, котра менше, ніж пластинчаста, знижує міцність металевої основи.

Твердість структурних складових підвищується зі збільшенням їх легуваності, і збільшує їх зносостійкість. Особливо це стосується мартенситу та карбідної фази.

Твердість аустеніту істотно залежить від вмісту в ньому вуглецю та легуючих елементів.

Твердість мартенситу зростає зі збільшенням вмісту в ньому вуглецю у межах до 0,45–0,50 % (рис. 4.2).

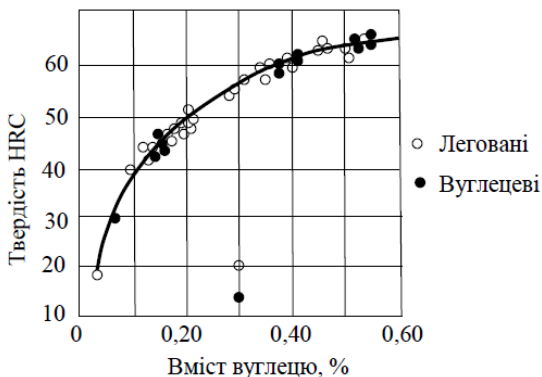


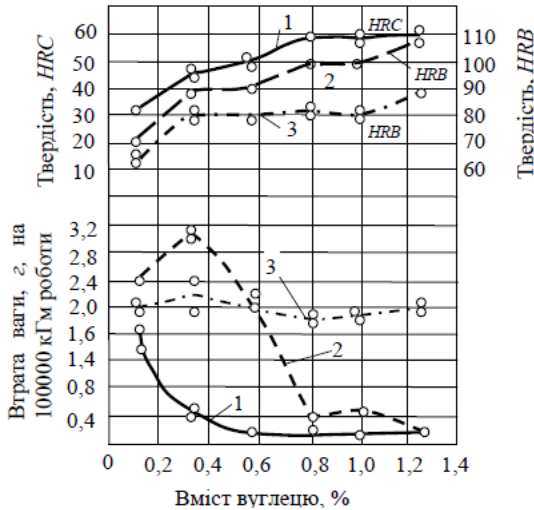
Рис. 4.2 – Зміна твердості загартованої сталі залежно від вмісту в ній вуглецю

У легованих сталях мартенсит може мати знижену твердість через присутність структурно-нерозрізненого залишкового аустеніту.

Твердість евтектики може змінюватись в широких межах, причому графітова евтектика значно менш тверда, чим фосфідна та карбідна.

Твердість карбідної фази значно підвищується при розчиненні хрому, вольфраму, молібдену, ванадію та інших карбїдоутворюючих елементів.

Зносостійкість вуглецевої сталі зростає з підвищенням вмісту вуглецю (рис. 4.3), причому найбільш зносостійкими виявляються загартовані заевтектоїдні сталі і нормалізовані сталі зі структурою пластинчастого перліту.



**Рис. 4.3 – Вплив вмісту вуглецю на зношення вуглецевої сталі при дослідженнях на машині тертя:
1 – загартована сталь; 2 – нормалізована; 3 – відпалена**

Зі сталей, краща зносостійкість характерна для сталей марок У8–У13, що мають у загартованому стані високу твердість (62–66 HRC) та велику кількість надлишкового цементиту. Леговані заевтектоїдні сталі марок 9ХС, Х12, Р18 та ін. мають ще більш високу зносостійкість завдяки більшому вмісту і більш високій твердості карбїдів, легованих хромом, вольфрамом та іншими елементами.

З різних чавунів найменшою зносостійкістю, близькою до зносостійкості заліза, мають чавуни з феритною основою. Зносостійкість сірого чавуна, простого та модифікованого, близька до зносостійкості перліту сталі У8 у відпаленому стані. У результаті гартування сірого чавуна його зносостійкість зростає (так само як і зносостійкість сталі).

Зносостійкість твердих сплавів на основі карбїду вольфраму підвищується зі збільшенням їхньої твердості, але наявність невеликих кількостей

м'якої кобальтової зв'язки обумовлює більш легке відділення часток WC, чим при зношенні литих сплавів карбіду вольфраму. Борована сталь за однакової твердості з термодифузійним покриттям хрому має дещо меншу зносостійкість.

Високою зносостійкістю характеризуються також сталі піддані цементації, ціануванню, азотуванню, боруванню, хромуванню та іншим видам хіміко-термічної обробки, у результаті якої утворюються тверді, зносостійкі поверхневі шари. Особливого роду зносостійкістю, в умовах зминальних ударних навантажень, відрізняється сталь аустенітного класу, насамперед, високомарганцева сталь Г13. Зносостійкістю та одночасно, високими антифрикційними властивостями характеризуються графітована сталь та перлітні чавуни. Білі чавуни і тверді сплави, у структурі яких головну роль відіграють тверді карбіди, мають високу зносостійкість при абразивному стиранні.

Порядок і методичні рекомендації з виконання роботи

1. Ознайомитись з будовою машини тертя, правилами техніки безпеки при роботі на ній.
2. Зважити зразки (термічно зміцнені та незміцнені) на вагах з точністю до 0,05 г, виміряти їхні геометричні розміри. Дані занести в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1

Матеріал	Результат вимірювання	Навантаження, кг					
		10,65	15	16	10,65	15	16
		Маса зразка, г			Лінійний розмір зразка, мм		
	до експерименту						
	після експерименту						
	до експерименту						
	після експерименту						
	до експерименту						
	після експерименту						

3. Установити зразок в об'єму машини тертя.
4. Задати навантаження 10,65 кг і засипати абразив у дозатор машини.
5. Увімкнути машину, провести дослідження на знос при проходженні зразком 120 м. Через кожних 30 м, повертати об'єму зі зразком на 90°.
6. Зважити та обміряти зразок, дані занести в таблицю 4.1.
7. Установити навантаження 15 кг і повторити пп. 3–6.
8. Установити навантаження 16 кг і повторити пп. 3–6.

9. На основі отриманих даних побудувати експериментальні залежності масового та лінійного зносу від величини навантаження.

10. Зробити висновок яка зі структур сталей має найкращі показники на зношування.

Контрольні питання

1. Що таке зносостійкість?
2. Чим визначається зносостійкість сталі?
3. Яка структура має найменшу твердість?
4. Яка структура має найбільшу зносостійкість?
5. Як впливає вміст вуглецю на зносостійкість?
6. Які способи збільшення зносостійкості ви знаєте?

Література: [1, с. 12–30; 2, с. 15–20]

Література

1. Афтаназів І. С. Підвищення надійності деталей машин поверхневим пластичним деформуванням : навч. посіб. / І. С. Афтаназів, А. П. Гавриш, П. О. Китичок. – Житомир : ЖІТІ, 2001. – 516 с.
2. Інженерія поверхні : підручник / К. А. Ющенко, Ю. С. Борисов, В. Д. Кузнецов, В. М. Корж. – Київ : Наукова думка, 2007. – 559 с.
3. Погребна Н. Е. Способи зміцнення металів : навч. посіб. / Н. Е. Погребна, В. З. Куцова, Т. В. Котова. – Дніпро : НМетАУ, 2021. – 89 с.
4. Методи поверхневого зміцнення у процесі виготовлення деталей машин : навч. посіб. / А. Г. Фесенко [та ін.]. – Дніпро : РВВ ДНУ, 2015. – 104 с.
5. Горик О. В. Дробоструминне очищення. Теорія і практика / О. В. Горик, Р. Є. Черняк, А. М. Чернявський, Брикун О. М. – Полтава : Вид-во ПП «Астрая», 2021. 326 с.
6. Хільчевський В. В.. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів : навч. посіб. / В. В. Хільчевський, С. Є. Кондратюк, В. О. Степаненко, К. Г. Лопатько. – Київ : Либідь, 2002. – 326 с.
7. Попович В. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство : підручник / В. В. Попович. – Львів : Світ, 2006. – 624 с.

Зміст

Вступ	3
<i>Лабораторна робота 1.</i> Вплив ступеня деформування на зміцнення матеріалу поверхні	5
<i>Лабораторна робота 2.</i> Вплив механічних властивостей матеріалу на ступінь зміцнення матеріалу поверхні	8
<i>Лабораторна робота 3.</i> Залежність ступеня зміцнення поверхні матеріалу від кратності прикладеного навантаження	11
<i>Лабораторна робота 4.</i> Вплив структури матеріалу деталі на зносостійкість	14
Література	19