

**Ю. Г. КОЗУБ,
С. В. РОЩУПКІН,
О. В. КАЛАЙДО**

**МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО
ТА МАТЕРІАЛИ В
МАШИНОБУДУВАННІ**

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Державний заклад
«Луганський національний університет
імені Тараса Шевченка»

Ю. Г. КОЗУБ,
С. В. РОЩУПКІН,
О. В. КАЛАЙДО

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ТА МАТЕРІАЛИ В МАШИНОБУДУВАННІ

*Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт
для студентів напряму підготовки «Професійна освіта»
профілів підготовки «Транспорт» та «Технологія
виробництва і переробка продуктів сільського
господарства» усіх форм навчання*

Луганськ
ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка»
2013

УДК 620.22(076.5)
ББК 30.3р3
К59

Рецензенти :

- Зубков В. Є.** – доктор технічних наук, професор, завідувач відділу міжнародних зв'язків ДЗ «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка».
- Шаповалов В. І.** – доктор технічних наук, професор кафедри легкої і харчової промисловості Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.
- Возний Б. В.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри інженерно-педагогічних дисциплін ДЗ «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка».

Козуб Ю. Г.

К59 Матеріалознавство та матеріали в машинобудуванні : метод. реком. до вик. лаб. робіт для студ. напряму підготовки «Професійна освіта» профілів підготовки «Транспорт» та «Технологія виробництва і переробка продуктів сільського господарства» усіх форм навчання / Ю. Г. Козуб, С. В. Рощупкін, О. В. Калайдо; Держ. закл. «Луган. нац. ун-т імені Тараса Шевченка». – Луганськ : Вид-во ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка», 2013. – 123 с.

Методичні рекомендації складаються з 24 лабораторних робіт за усіма розділами дисципліни. Кожна лабораторна робота містить загальні теоретичні відомості, порядок виконання експерименту, детальний алгоритм розрахунку величини, що знаходиться.

Рекомендовано для студентів 1 – 2 курсів напряму підготовки «Професійна освіта» профілю підготовки «Транспорт» денної та заочної форм навчання, може бути використаний студентами інших технічних спеціальностей.

УДК 620.22(076.5)
ББК 30.3р3

*Рекомендовано до друку Навчально-методичною радою
Луганського національного університету імені Тараса Шевченка
(протокол № 4 від 07 листопада 2012 року)*

© Козуб Ю. Г., Рощупкін С. В., Калайдо О. В., 2013
©ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка», 2013

ЗМІСТ

Вступ.....	6
Питання курсу.....	8
Математична обробка результатів вимірювань фізичних величин.....	11
1. Класифікація вимірювань і похибок.....	11
2. Визначення похибок при прямих вимірюваннях.....	13
3. Визначення похибок при непрямих вимірюваннях.....	14
Прилади вимірювання лінійних величин.....	16
1 модуль. Механічні властивості матеріалів.....	20
<i>Лабораторна робота № 1</i>	
Визначення пружних характеристик сталі при випробуванні на згин.....	20
<i>Лабораторна робота № 2</i>	
Визначення твердості металів методом Брінелля.....	25
<i>Лабораторна робота № 3</i>	
Визначення твердості металів методом Роквелла.....	29
<i>Лабораторна робота № 4</i>	
Визначення твердості металів методом Віккерса.....	32
<i>Лабораторна робота № 5</i>	
Визначення твердості металів динамічним методом.....	35
<i>Лабораторна робота № 6</i>	
Визначення динамічних характеристик матеріалів методом ударної проби.....	38
2 модуль. Мікроструктура матеріалів.....	41
<i>Лабораторна робота № 7</i>	
Вивчення конструкції та принципу дії металографічного мікроскопу МИМ-7.....	41
<i>Лабораторна робота № 8</i>	
Визначення розмірів зерен металів за допомогою металографічного мікроскопу МИМ-7.....	46
<i>Лабораторна робота № 9</i>	
Вивчення процесу кристалізації металів.....	50
<i>Лабораторна робота № 10</i>	
Побудова діаграм стану термічним методом.....	55
<i>Лабораторна робота № 11</i>	
Вивчення мікроструктури вуглецевих сталей в стані рівноваги.....	62
<i>Лабораторна робота № 12</i>	
Вивчення мікроструктури чавунів в стані рівноваги.....	66

3 модуль. Термічна і механічна обробка.....	71
<i>Лабораторна робота № 13</i>	
Дослідження впливу пластичної деформації на механічні властивості сплавів.....	71
<i>Лабораторна робота № 14</i>	
Градуювання термопар.....	74
<i>Лабораторна робота № 15</i>	
Вивчення методів термічної обробки сталей.....	77
<i>Лабораторна робота № 16</i>	
Визначення критичних точок сталей методом пробних гартувань.....	82
<i>Лабораторна робота № 17</i>	
Експериментальне дослідження прогартовуваності сталей.....	86
<i>Лабораторна робота № 18</i>	
Вивчення процесу корозії металів і сплавів.....	88
4 модуль. Неметалеві конструкційні та експлуатаційні матеріали.....	91
<i>Лабораторна робота № 19</i>	
Вивчення макроструктури деревини.....	91
<i>Лабораторна робота № 20</i>	
Експериментальне визначення фізико-механічних властивостей деревини.....	95
<i>Лабораторна робота № 21</i>	
Визначення пружних характеристик гумових матеріалів.....	98
<i>Лабораторна робота № 22</i>	
Визначення динамічного коефіцієнту в'язкості експлуатаційних матеріалів.....	102
<i>Лабораторна робота № 23</i>	
Вивчення фізико-механічних характеристик волокнистих армуючих матеріалів.....	106
<i>Лабораторна робота № 24</i>	
Дослідження міжшарової міцності полімерних композиційних матеріалів.....	111
Додатки.....	114
Список використаної літератури.....	120

ВСТУП

Матеріалознавство – наука, що вивчає властивості речовин та їх спрямовану зміну з метою отримання речовин з наперед заданими робочими характеристиками. Вона вивчає фізичні та механічні властивості конструкційних і експлуатаційних матеріалів, процеси, що протікають в матеріалах під впливом різних чинників, різні типи обробки матеріалів з метою покращення робочих характеристик. Матеріалознавство є дуже динамічною наукою, оскільки майже щодня з'являються нові матеріали, на зміну класичним металевим конструкційним матеріалам приходять полімери і композиційні матеріали. В університетській інженерній освіті матеріалознавство виконує роль фундаменту, на якому базується вивчення подальших загальнотехнічних дисциплін: теоретичної механіки, опору матеріалів, теорії машин і механізмів, деталей машин, а також ряду спеціальних дисциплін.

Мета курсу *«Матеріалознавство та матеріали в машинобудуванні»* – пізнання природи і властивостей матеріалів, що використовуються в транспортній сфері, вивчення методів отримання матеріалів з заданими характеристиками для більш ефективного використання в техніці. До задач курсу відноситься формування у студентів розуміння фізико-хімічної суті явищ, що протікають в матеріалах під впливом різноманітних чинників в умовах виробництва; розуміння залежність між хімічним складом, будовою і властивостями матеріалів; практичне вивчення способів отримання і обробки матеріалів; набуття знань про сфери застосування основних груп матеріалів. Досягненню вказаних цілей сприяє курс лабораторних робіт, що виконуються на обладнанні, наявному на кафедрі інженерно-педагогічних дисциплін.

Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт з дисципліни *«Матеріалознавство та матеріали в машинобудуванні»* мають з практичного боку сприяти закріпленню матеріалу, отриманого на лекційних заняттях та під час самостійної роботи з літературою. Для повного засвоєння матеріалу дані методичні рекомендації мають застосовуватись разом з навчальним посібником *«Матеріалознавство та матеріали в машинобудуванні»* (автори Козуб Ю.Г., Калайдо О.В., Рощупкін С.В.), де у повному обсязі викладено лекційний матеріал курсу.

До даного видання включено 24 лабораторні роботи, що дозволить викладачам даної дисципліни самим визначати структуру лабораторного практикуму, а також використовувати дані рекомендації

при викладанні курсів «Матеріалознавство» і «Технологія конструкційних матеріалів» студентам інших інженерних спеціальностей. На початку кожної роботи наведено стислі теоретичні відомості, той мінімум, без якого неможлива подальша успішна робота. До кожної роботи подано детальний опис обладнання та методики виконання експерименту. Контрольні питання, що наведені в кінці кожної роботи, мають вказати студентам на пріоритетні питання даної теми. В кінці методичних знаходяться *Додатки*, які дозволяють виконувати розрахунки без використання довідникової літератури, яка не завжди є доступною.

Лабораторний практикум з дисципліни «*Матеріалознавство та матеріали в машинобудуванні*» розрахований на значну самостійну роботу студентів на етапі попередньої підготовки до лабораторної роботи, при проведенні розрахунків і оформленні звіту про виконання роботи.

На стадії підготовки до виконання роботи студентам необхідно уважно ознайомитися з методичними рекомендаціями, звернути увагу на мету роботи, обладнання, яке використовується в процесі роботи, теоретичні відомості, виведення розрахункової формули, послідовність дій при виконанні роботи, обчислення похибок. При підготовці до роботи складається бланк звіту, титульний аркуш якого наведений в *Додатку 1*. Бланк звіту оформляється на подвійному аркуші зошиту, в нього заносять тему роботи, рисунок принципової схеми лабораторної установки, розрахункову формулу і таблицю, в яку в процесі роботи записують результати вимірів і розрахунків.

На початку заняття студент повинен отримати дозвіл на виконання лабораторної роботи. Для цього необхідно мати бланк звіту, і вміти відповісти на декілька питань з теорії та по порядку виконання роботи. Відповідна відмітка про дозвіл ставиться викладачем на титульному листі звіту. Отримавши дозвіл, студент може приступати до виконання роботи, при виконанні якої необхідно суворо дотримувати правила техніки безпеки, дбайливо відноситися до устаткування в лабораторії. На робоче місце слід брати тільки те, що необхідне для виконання лабораторної роботи. Категорично забороняється переносити прилади з одного робочого місця на інше. Після закінчення роботи своє робоче місце привести в порядок.

Останнім етапом виконання лабораторної роботи є її захист у порядку, встановленому викладачем дисципліни. Після захисту на титульному листі лабораторної роботи виставляється отримана за неї оцінка. Успішне виконання лабораторних робіт є умовою допуску до контрольної точки.

Питання курсу

1. Класифікація матеріалів, що використовуються в автомобілебудуванні.
2. Класифікація металів.
3. Будова металів.
4. Механічні властивості металів.
5. Дефекти будови, їх вплив на механічні властивості металів.
6. Сплави, що утворюють гетерогенні структури.
7. Сплави, що утворюють тверді розчини.
8. Сплави з необмеженою розчинністю компонентів в твердому стані.
9. Сплави з обмеженою розчинністю компонентів в твердому стані.
10. Будова і властивості заліза.
11. Залізовуглецеві сплави, їх класифікація.
12. Діаграма стану сплавів системи «залізо-вуглець».
13. Компоненти і фази в сплавах системи «залізо-вуглець».
14. Сталі, їх класифікація, сфера застосування і механічні властивості.
15. Вуглецеві сталі, їх класифікація.
16. Класифікація, склад, маркування і застосування конструкційних вуглецевих сталей.
17. Класифікація, склад, маркування і застосування інструментальних вуглецевих сталей.
18. Леговані сталі, їх класифікація.
19. Класифікація, склад, маркування і застосування конструкційних легованих сталей.
17. Класифікація, склад, маркування і застосування інструментальних легованих сталей.
18. Леговані сталі з особливими властивостями, їх класифікація, маркування і застосування.
19. Чавуни, їх класифікація, спосіб отримання і сфера застосування.
20. Білі чавуни.
21. Сірі чавуни.
22. Високоміцні чавуни.
23. Ковкі чавуни.
24. Термічна обробка сталі, загальні положення.
25. Основні види термічної обробки сталі.
26. Термомеханічна обробка сталі.
27. Термомеханічна обробка сплавів із змінною розчинністю компонентів.
28. Поверхнєве зміцнення металів і сплавів, загальні положення.
29. Хіміко-термічна обробка металів.

30. Дифузійне насичення сплавів вуглецем і азотом.
31. Дифузійне насичення сплавів металами і неметалами.
32. Поверхневий гарт сталі.
33. Лазерна термічна обробка.
34. Лазерна хіміко-термічна обробка.
35. Жаростійкість і жароміцність металів, способи їх підвищення. Явище повзучості.
36. Термічна втома металів, її причини (низькі температури, радіаційне опромінення).
37. Спеціальні сталі, що використовуються в автомобілебудуванні, їх класифікація.
38. Шарикопідшипникові сталі.
39. Пружинні сталі звичайного призначення.
40. Зносостійка високомарганцева сталь.
41. Корозійні (неіржавіючі) сталі і сплави.
42. Сплави на основі легких металів, їх класифікація.
43. Магній і його сплави.
44. Алюміній і його сплави.
45. Титан і його сплави.
46. Мідь, фізичні і механічні властивості.
47. Бронзи: властивості, класифікація і застосування.
48. Латунь: властивості, класифікація і застосування.
49. Мельхіори: властивості, класифікація і застосування.
50. Нікелеві сплави, їх характеристика.
51. Олово, фізичні і механічні властивості. Алотропія олова.
52. Свинець, фізичні і механічні властивості. Бабіти.
53. Цинк, фізичні і механічні властивості.
54. Тугоплавкі метали і сплави на їх основі.
56. Основи ливарного виробництва.
57. Фізична природа кристалізації металів.
58. Ливарні властивості сплавів (рідкотекучість, усадка, ліквіація).
59. Литво в піщані форми.
60. Спеціальні способи литва.
61. Неметалічні матеріали, класифікація і застосування.
62. Полімери, структура і термомеханічні властивості.
63. Пластмаси, їх класифікація і властивості.
64. Гуми, їх класифікація і сфера застосування.
65. Формоутворення деталей з гум.
66. Вплив умов експлуатації на властивості гум.
67. Принципи створення і основні типи композиційних матеріалів.
68. Композиційні матеріали з нуль-вимірними наповнювачами.

69. Композиційні матеріали з одновимірними наповнювачами.
70. Евтектичні композиційні матеріали.
71. Лакофарбові матеріали, їх призначення і класифікація.
72. Показники, що характеризують якість лакофарбових матеріалів.
73. Синтетичні клеї, їх різновиди.
74. Основні вимоги до синтетичних клеїв.
75. Технічні рідини, їх класифікація.
76. Рідини, що охолоджують.
77. Гальмівні рідини.
78. Амортизаторні рідини.
79. Електроліт для кислотних акумуляторних батарей.
80. Пускові рідини.
81. Отримання автомобільних палив і змащувальних матеріалів.
82. Види палив, масел і мастил, що використовуються в автомобільній промисловості.
83. Паливо для карбюраторних двигунів, фізико-хімічні властивості.
84. Марки бензинів, їх склад і сфера застосування.
85. Паливо для дизельних двигунів, фізико-хімічні властивості.
86. Марки дизельних палив, їх склад і сфера застосування.
87. Паливо для двигунів газобалонних автомобілів, фізико-хімічні властивості.
88. Зріджені гази, їх різновиди і показники, що характеризують якість.
89. Стислі гази, їх різновиди і показники, що характеризують якість.
90. Масла для двигунів і агрегатів трансмісії.
91. Показники, що впливають на якість масел.
92. Марки моторних масел і сфера їх застосування.
93. Пластичні мастила для механізмів і вузлів автомобіля.
94. Принципи нормування витрати автомобільних палив, масел і мастил.
95. Оббивні, прокладки, ущільнювачі і електроізоляційні матеріали.
96. Зварювання і пайка металів, загальні положення.
97. Термічні види зварювання (дугове, плазмове, електронно-променеве).
98. Термомеханічні види зварювання (контактне, конденсаторне, дифузійне, високочастотне).
99. Механічні види зварювання (холодне, ультразвукове, магнітно-імпульсне, зварювання тертям і вибухом).
100. Зварювання пластмас, основні поняття, класифікація способів зварювання.

МАТЕМАТИЧНА ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН

1. Класифікація вимірювань і похибок

Метою будь-якого експерименту є встановлення взаємозв'язків між досліджуваними величинами та їх параметрами. Параметр – це деяке числове значення, що характеризує дану фізичну величину і що залишається постійним за певних умов.

Матеріалознавство є наукою експериментальною, тому закони встановлюються та перевіряються шляхом накопичення чи зіставлення експериментальних даних. Результати експериментів подаються найчастіше набором деяких чисел, що знаходяться за допомогою вимірювань. Процес вимірювання фізичної величини полягає у знаходженні її числового значення.

Виміряти фізичну величину означає порівняти її з іншою однорідною фізичною величиною, прийнятою за одиницю (еталон) вимірювання. Вимірювання прийнято розділяти на прямі і непрямі.

Прямі – вимірювання, в процесі яких числове значення фізичної величини одержують безпосередньо шляхом порівняння з еталоном цієї величини або за відліковим пристроєм вимірювального приладу. Прикладами прямих вимірювань можуть бути вимірювання довжини тіла лінійкою, температури – термометром, часу – секундоміром, маси – вагами.

Непрямі – вимірювання, в процесі яких числове значення фізичної величини знаходиться по формулам шляхом підстановки до них результатів прямих вимірювань. Наприклад, густину тіла циліндричної форми можна визначити по формулі

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{Sh} = \frac{4m}{\pi d^2 h},$$

де маса m , діаметр d і висота h циліндра отримані за результатами прямих вимірювань, а значення ρ отримано в результаті непрямого вимірювання.

При виконанні лабораторних робіт часто будуть зустрічатися поняття істинного і дійсного (виміряного) значення фізичної величини.

Істинне значення фізичної величини x_{ict} – ідеальне відбиття властивостей даного об'єкту, яке чисельно відображає вимірювану величину і знаходження якого є метою вимірювання.

Виміряне (дійсне) значення фізичної величини $x_{вим}$ – значення, яке безпосередньо одержують в результаті вимірювання. Жодна фізична величина не може бути виміряна абсолютно точно, тому $x_{вим}$ не співпадає з x_{ict} , але певних умов воно може нас задовольнити як

істинне. Мірою відхилення $x_{вим}$ від $x_{іст}$ є *абсолютна похибка вимірювання*, а мірою точності вимірювання – *відносна похибка*. Завданням вимірювань є не тільки визначення дійсного значення фізичної величини, але й оцінка допущених при цьому похибок.

Абсолютна похибка вимірювання Δx – модуль різниці між істинним значенням вимірюваної величини і результатом окремого вимірювання

$$\Delta x = |x_{вим} - x_{іст}|.$$

Одиниця виміру абсолютної похибки така ж сама, як і у вимірюваної величини.

Відносна похибка вимірювання ε – відношення абсолютної похибки Δx до істинного значення фізичної величини $x_{іст}$, виражене у відсотках

$$\varepsilon = \frac{\Delta x}{x_{іст}} \cdot 100\%.$$

Остаточно результат проведеного вимірювання або серії вимірювань записують у вигляді

$$x = x_{вим} \pm \Delta x.$$

Така форма запису означає, що істинне значення вимірюваної величини лежить в певному інтервалі

$$x_{вим} - \Delta x \leq x_{іст} \leq x_{вим} + \Delta x.$$

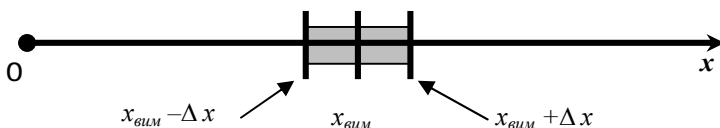


Рис.1. До визначення похибок

В залежності від природи причин відхилення $x_{вим}$ від $x_{іст}$ всі похибки можна умовно поділити на систематичні, випадкові і грубі.

Систематичні похибки – зумовлені недостатньою точністю приладу, його невідрегульованістю або несправністю, а також недосконалістю самих методів вимірювання. Особливістю таких похибок є те, що їх числове значення і знак відхилення від істинного значення фізичної величини регулярно повторюється від одного вимірювання до іншого або ж змінюється за певним законом.

Випадкові похибки – безсистемно змінюють свою величину та знак при повторних вимірюваннях. Вони виникають як результат сукупності дії багатьох факторів різної природи: змін в оточуючому середовищі, недосконалість людських органів чуття і зміни швидкості реакції дослідника при зніманні відліків тощо. Все це призводить до

того, що багаторазові вимірювання однієї і тієї ж величини дають різні значення. Виключити випадкові похибки окремих вимірювань неможливо, але слід намагатись зменшувати їх значення, чого можна досягти шляхом збільшення кількості вимірювань.

Груба похибка (промах) – очевидна помилка, яку потрібно вилучати з ряду результатів та здійснювати повторні вимірювання, вони найчастіше зумовлені неухважністю дослідника, несправністю приладу, недбалістю запису і тому подібне.

2. Визначення похибок при прямих вимірюваннях

Нехай у результаті n прямих вимірювань отримано значення досліджуваної величини: $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$. У такому разі найбільш близькою до дійсного значення, є величина, що називається середнім арифметичним отриманих результатів:

$$x_{\text{сеп}} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}. \quad (1)$$

Після знаходження середнього значення вимірюваної величини слід визначити *абсолютну похибку кожного окремого вимірювання* $|\Delta x_i|$, тобто взяти по модулю різницю між окремо виміряним значенням x_i і середнім арифметичним $x_{\text{сеп}}$

$$|\Delta x_1| = |x_1 - x_{\text{сеп}}|, \quad |\Delta x_2| = |x_2 - x_{\text{сеп}}|, \quad |\Delta x_n| = |x_n - x_{\text{сеп}}|. \quad (2)$$

Абсолютна похибка окремого вимірювання фізичної величини має ту ж розмірність, що і вимірювана величина.

Далі обчислюють *середню абсолютну похибку* $|\Delta x_{\text{сеп}}|$ – середнє арифметичне абсолютних похибок окремих вимірювань x_i , взятих по модулю:

$$|\Delta x_{\text{сеп}}| = \frac{|\Delta x_1| + |\Delta x_2| + \dots + |\Delta x_n|}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n |\Delta x_i|}{n}. \quad (3)$$

Наступним кроком оцінки допущеної похибки є визначення середнього квадратичного похибки за формулою

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n |\Delta x_i|^2}{n(n-1)}} \quad (4)$$

З (4) видно, що чим більше число вимірювань, тим менше значення σ . Абсолютно точне значення вимірюваної величини визначити неможливо, тому вимірювана величина розглядається як її середнє значення в певному інтервалі довіри

$$x_{сер} - \Delta x_{сер} \leq x \leq x_{сер} + \Delta x_{сер} \quad (5)$$

з обов'язковим зазначенням достовірності отриманого результату p .

Достовірність p – ймовірність того, що вимірювана величина міститься в інтервалі $(x_{сер} \pm \Delta x_{сер})$. Для оцінки достовірності отриманих результатів в лабораторних роботах з матеріалознавства застосовується розподіл Стюдента. Параметр розподілу t визначається по формулі

$$t = \frac{|\Delta x_{сер}|}{\sigma}. \quad (6)$$

По таблиці *Додатку 2* за отриманим параметром розподілу t можна визначити достовірність p .

Точність вимірювань характеризується *середньою відносною похибкою ε* , яка показує, яку частку вимірної величини складає середня абсолютна похибка і визначається по формулі

$$\varepsilon = \pm \frac{\Delta x_{сер}}{x_{сер}} \cdot 100\%. \quad (7)$$

Відносна похибка може виражатися як у відсотках, так і відносних одиницях, вона дозволяє проводити порівняння точності вимірювань фізичних величин і методів, які при цьому застосовуються. Знаки « \pm » вказують, що похибка може як збільшувати, так і зменшувати результати вимірювань.

3. Визначення похибок при непрямих вимірюваннях

В більшості випадків досліджувана фізична величина не може бути безпосередньо виміряна, а знаходиться через одну або декілька величин, які вимірюють за допомогою прямих методів.

Нехай для знаходження величини модуля пружності E , яка визначається по формулі

$$E = \frac{P l^3}{4 \lambda b h^3} \quad (8)$$

довелося виміряти довжину зразку l , стрілу прогину λ , ширину b і його висоту h . В такому випадку для знаходження середньої абсолютної похибки ΔE спочатку необхідно логарифмувати формулу (8)

$$\ln E = \ln P + 3 \ln l - \ln \lambda - \ln b - 3 \ln h$$

Далі диференціюємо отриманий вираз, замінюючи всі знаки «-» на «+»

$$\frac{dE}{E} = \frac{dP}{P} + 3 \frac{dl}{l} + \frac{d\lambda}{\lambda} + \frac{db}{b} + 3 \frac{dh}{h}.$$

Диференціали сталих величин дорівнюють нулю, тому формула набуває вигляду

$$\frac{dE}{E} = 3 \frac{dl}{l} + \frac{d\lambda}{\lambda} + \frac{db}{b} + 3 \frac{dh}{h}.$$

Замінивши знак диференціалу на Δ , отримуємо формулу розрахунку відносної похибки розрахунку

$$\varepsilon = \frac{\Delta E}{E} = 3 \frac{\Delta l}{l} + \frac{\Delta \lambda}{\lambda} + \frac{\Delta b}{b} + 3 \frac{\Delta h}{h}.$$

Отже, відносна похибка результату дорівнює повному диференціалу натурального логарифма функції, що визначає залежність даної величини від вимірюваних величин. При обчисленні треба брати суму абсолютних значень диференціалів всіх логарифмів із заміною знаків d на Δ . Всі доданки беруться додатними для того, щоб абсолютна величина відносної похибки була максимальною.

Похибки вимірювальних приладів $\Delta\lambda$, Δl , Δb і Δh приймаються рівними половині поділки шкали, якщо на приладі не вказано клас його точності. Якщо прилад має клас точності, похибка його вимірювань визначається по формулі

$$\Delta y = y_{\max} \cdot km,$$

де km – клас точності, який зазначається на шкалі приладу; y_{\max} – максимальне значення, вимірюване даним приладом.

При запису похибки вимірювань її значення округляють, як правило, до двох значущих цифр. Значущими називають усі цифри в десятковому поданні числа, крім нулів, що записані на початку числа. Наприклад, при отриманому значенні $\Delta x_{\text{сер}} = 0,000706890$ слід записати $\Delta x_{\text{сер}} = 0,00071$.

Середнє значення величини шуканої величини $x_{\text{сер}}$ округлюють таким чином, щоб останніми праворуч залишались цифри тих розрядів, які збереглися в похибці після її округлення. В даному випадку середнє значення слід округлити до 5-ої цифри включно після коми, наприклад $x_{\text{сер}} = 2,86745$. Остаточну шукану величину повинна бути записана у вигляді

$$x = 2,86745 \pm 0,00071.$$

Проте будь-яке округлення додає систематичну похибку. Якщо ми будемо округлювати результати проміжних обчислень, тоді ця систематична похибка буде накопичуватися. Тоді потрібно використати наступне правило: всі проміжні обчислення повинні мати на одну значущу цифру більше, ніж результати, отримані під час вимірювань. Це правило стосується як обробки результатів прямих вимірювань, так і, особливо, непрямих вимірювань, оскільки тут кількість проміжних обчислень буває набагато більше. Використання в проміжних обчисленнях більшої кількості значущих цифр, ніж це потрібно приводять до великого об'єму непотрібної роботи і створюють помилкове враження про велику точність вимірювань. Немає ніякого сенсу вести обчислення далі тієї межі точності, яка забезпечується точностю визначення безпосередньо вимірюваних величин.

ПРИЛАДИ ВИМІРЮВАННЯ ЛІНІЙНИХ ВЕЛИЧИН

Під час практикуму з дисципліни «Матеріалознавство і матеріали в машинобудуванні» майже в кожній лабораторній роботі доводиться стикатись з виміром лінійних величин. Для лінійних вимірювань з заданою точністю застосовують штангенциркулі та мікрометри, а тип вимірювального приладу визначається вимогами до точності отриманих результатів.

1. Вимірювання за допомогою штангенциркуля

Штангенциркуль призначений для вимірювання лінійних величин з точністю до 0,1 мм. Він складається з основної металевої лінійки 5 з міліметровими поділками, на якій розміщені нижня 6 та верхня 1 нерухомі губки. Рамка 4, нижня 7 та верхня 2 рухомі губки є одним цілим. Вони можуть переміщуватись уздовж основної лінійки 5 і фіксуватися в потрібному положенні за допомогою гвинта 3 (рис. 2).

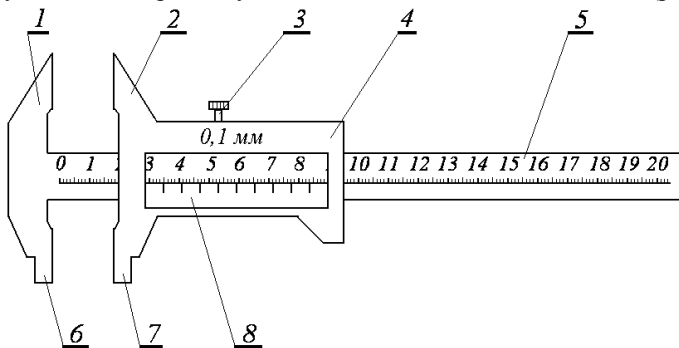


Рис. 2. Конструкція штангенциркуля

У рамці є вікно, нижній край якого розташований напроти поділок масштабної лінійки. На цьому краю нанесені поділки дещо іншого масштабу, ніж поділки основної шкали. Ця додаткова лінійка зветься *лінійний ноніус*. Шкала найпростішого ноніуса будується так, щоб m поділок ноніуса відповідали $m - 1$ поділці основної шкали. Точність ноніуса дорівнює цінні поділки шкали масштабної лінійки, поділеної на число поділок ноніуса.

Шкали штангенциркуля наносяться таким чином, що при зсунутих губках нуль шкали ноніуса і нуль основної шкали співпадають. При вимірюванні довжини штангенциркулем предмет поміщають між губками, губки зсувають до стикання з предметом і

По краю барабана нанесена шкала, яка ділить обвід барабана на 50 рівних поділок; крок гвинта 0,5 мм, отже ціна 1 поділки барабана 0,01 мм, тобто поворот барабана на 1 поділку відповідає зміщенню гвинта на 0,01 мм.

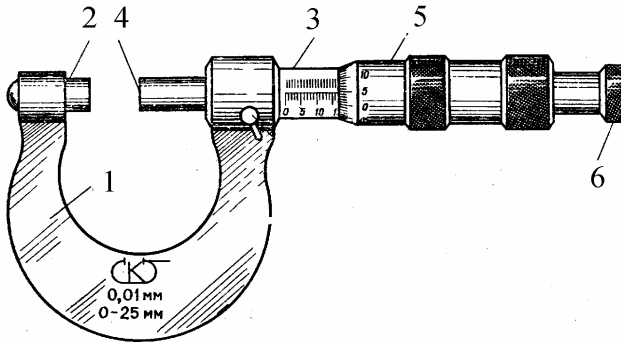


Рис. 4. Конструкція мікрометра.

На кінці гвинта є пристрій 6 для обертання барабана, який називається *тріскачкою*. Обертання передається від тріскачки до гвинта завдяки тертю, внаслідок чого при досягненні певної сили натиску наконечника гвинта на опорну п'яту чи на вимірюваний предмет подальше обертання гвинта припиняється. Слід пам'ятати, що обертати мікрометричний гвинт потрібно тільки користуючись тріскачкою, інакше мікрометричний гвинт буде зірвано, мікрометр ушкоджено, вимірювання буде неправильним. Затискання вимірюваного предмету відбувається доки тріскачка не спрацює три рази, після цього слід припинити її обертання, оскільки подальше затискання предмету буде супроводжуватися деформацією вимірювального приладу.

Якщо кінцевик гвинта і опорну п'яту звести разом, край барабану буде проти нульової поділки шкали, нанесеної на втулці, а нульова поділка шкали барабана співпадає з поздовжньою лінією, нанесеною на втулці.

При роботі з мікрометром вимірюваний предмет затискається за допомогою тріскачки між опорною п'ятою та наконечником гвинта, після чого по шкалі втулки відраховується ціле чи напівціле число міліметрів і до цього відліку додається число сотих часток міліметра, яке відраховується по шкалі барабана. Приклади зняття відліків показані на рис. 4 і 5.

На рис. 4 відлік цілих міліметрів по нижній шкалі становить 6 мм. На верхній шкалі поділок між останньою нижньою рисою і краєм барабану немає, тому напівцілі поділки в даному випадку не враховуються. Показання по шкалі барабану становить 40 поділок. В такому випадку результат виміру буде складати 6,40 мм, оскільки до 6 мм шкали втулки слід додати значення на шкалі барабану – $40/100 = 0,40$ мм.

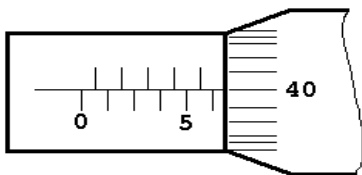


Рис. 5.

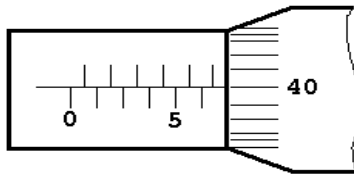


Рис.6.

На рис. 5 відлік цілих міліметрів по нижній шкалі також становить 6 мм, проте на верхній шкалі маємо одну поділку між останньою нижньою рисою і краєм барабану, тому враховуємо напівцілу поділку, ціна якої складає 0,5 мм. Показання по шкалі барабану становить ті ж самі 40 поділок. В такому випадку результат виміру буде складати 6,90 мм, оскільки до 6 мм шкали втулки слід додати 0,5 мм верхньої шкали і значення по шкалі барабану – $40/100 = 0,40$ мм, тобто

$$6 + 0,5 + 40/100 = 6,90 \text{ (мм)}.$$

Перед вимірюваннями мікрометром потрібно переконатися у тому, що при доведенні тріскачкою наконечника гвинта до опорної п'яти отримуються на обох шкалах нульовий відлік.

МОДУЛЬ 1. МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МАТЕРІАЛІВ

Лабораторна робота № 1 ВИЗНАЧЕННЯ ПРУЖНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТАЛІ ВИПРОБУВАННЯМ НА ЗГИН

Мета роботи: ознайомитись з механічними характеристиками металів, встановити зв'язок між ними, експериментальним шляхом визначити модуль Юнга для сталі.

Теоретичні відомості

Сталь – сплав заліза з вуглецем при концентрації останнього менше 2,14%, основний конструкційний матеріал для виготовлення деталей машин і будівельних конструкцій. Широке використання сталі обумовлене комплексом механічних, фізико-хімічних і технологічних властивостей, вони поєднують високу жорсткість з достатньою статичною і циклічною міцністю. Для конструкційних металів і металевих сплавів велике значення мають їх механічні властивості, головними з яких є міцність і пружність (розглянуті в даній роботі), а також пластичність, твердість і ударна в'язкість. В процесі експлуатації на деталі машин і елементи конструкцій діють силові та термічні навантаження, які викликають в них напруження і деформації.

Напруження σ – основна характеристика стану матеріалу в процесі експлуатації, дорівнює силі, що діє на певну площу поверхні або перерізу

$$\sigma = \frac{P}{F}, \quad (1.1)$$

де P – прикладене навантаження, F – площа перерізу, що сприймає дане навантаження. Одиницею виміру напруження є Паскаль (Па) – сила в 1 Н, яка діє на площу в 1 м². На практиці найчастіше використовують мегапаскаль: 1 МПа = 10⁶ Па.

Деформація – зміна форми і розмірів тіла під дією механічного напруження. На початковому етапі навантаження деталі чи конструкції виникають *пружні* деформації (зникають після зняття навантаження), подальше збільшення навантаження призводить до появи *пластичних* (залишкових) деформацій. При вивченні поведінки матеріалів під навантаженням використовують два види деформацій:

- *абсолютні деформації* – характеризують зміну контрольованого параметра (довжини, площі перерізу, об'єму тощо) за абсолютною величиною, наприклад

$$\Delta l = |l - l_0|,$$

де l – кінцева довжина зразка, l_0 – початкова довжина зразка.

• *відносні деформації* – характеризують відношення зміни контрольованого параметра до його початкового значення, наприклад

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{|l - l_0|}{l_0}.$$

Зв'язок між напруженнями і деформаціями задається законом Гука: для пружних матеріалів відносні деформації пропорційні механічним напруженням

$$\sigma = E\varepsilon, \quad (1.2)$$

де E – модуль пружності 1 роду (модуль Юнга). Чисельно модуль Юнга дорівнює напруженню, яке необхідно створити в перерізу зразка для збільшення його довжини у 2 рази при інших незмінних умовах, хоча на практиці збільшити довжину зразка удвічі без руйнування можливо лише для гумових та деяких полімерних матеріалів. З (1.2) модуль пружності першого роду можна визначити по формулі

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{P/S}{\Delta l/l} = \frac{Pl}{S\Delta l}. \quad (1.3)$$

Оскільки відносна деформація не має розмірності, то в системі СІ модуль пружності вимірюється в мегапаскалях (МПа).

В даній лабораторній роботі визначення модуля Юнга відбувається при згині сталевого зразку. В такому випадку величина деформації характеризується *стрілою прогину* (λ) – відстанню, на яку опускається точка прикладання сили, що діє на стержень. У разі навантаження, прикладеного посередині стержня прямокутного перерізу, стріла прогину визначається за формулою:

$$\lambda = \frac{Pl^3}{4Eab^3} \quad (1.4)$$

де P – прикладена сила, Н; l – довжина стержня, м; a – ширина поперечного перерізу стержня, м; b – висота стержня, м.

З формули (1.4) отримуємо визначимо модуль пружності 1 роду

$$E = \frac{Pl^3}{4\lambda ab^3}. \quad (1.5)$$

Закон Гука для ідеально пружного тіла у формі (1.2) показує зв'язок між нормальними напруженнями і деформаціями. Але при зсуві чи крученні зразку в перерізі виникають дотичні напруження, для яких закон Гука набуває вигляду

$$\tau = G\gamma, \quad (1.6)$$

де G – модуль пружності II роду, МПа; γ – деформація зсуву.

Зв'язок між модулями пружності при різних видах деформацій визначається по формулі

$$E = 2G(1 + \mu), \quad (1.7)$$

де μ – коефіцієнт Пуассона, який також є пружною характеристикою матеріалу і визначається як відношення відносного звуження до відносного подовження зразку. Для сталей зазвичай приймають $\mu = 0,35$; при $\mu = 0,5$ матеріал взагалі не стискається (полімери у високо еластичному стані).

Залежність напруги σ від відносної деформації ε є однією з головних характеристик механічних властивостей твердих тіл. Графічне зображення цієї залежності називається *діаграмою розтягу* (рис. 1.1). Закон Гука (1.2) є справедливим тільки до точки *A* на діаграмі. При певному напруженні σ_n порушується лінійна залежність між напруженням і деформацією. Таке напруження називається *границею пропорційності*.

Деформація залишається пружною до точки *B* діаграми, а відповідне даній точці напруження $\sigma_{пр}$ називається *границею пружності*. Якщо навантаження зняте до точки *B* діаграми, розміри тіла відновлюються повністю.

Пластичні деформації спостерігаються в області *CD*, коли деформація відбувається майже без збільшення напруги. Таке явище називається текучістю матеріалу, а відповідне йому напруження – *границею текучості* σ_m (на діаграмі не показана)

Напруга досягає максимуму в точці *E*, яка відповідає *межі міцності* $\sigma_{міц}$. Після точки *є* на зразку відбувається утворення шийки, в якій продовжують зростати напруження. В цілому ж у зразку напруження падають, подальше збільшення навантаження призводить до руйнування (точка *K*).

З усіх характеристик міцності для конструкційних матеріалів найбільш важливими є границя текучості та границя міцності.

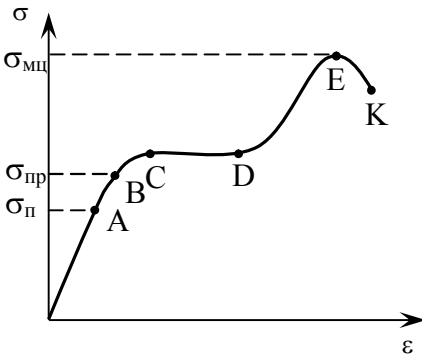


Рис. 1.1. Діаграма розтягу маловуглецевої сталі

Опис лабораторної установки

У даній роботі модуль пружності визначається методом згину сталюї двоопорної балки, навантаженої посередині зосередженою силою. Установка складається з масивної платформи з двома опорами, на яких розміщений досліджуваний стержень 1 (рис. 1.2). Посередині зразка підвищується чашка для ваг 3. Стріла прогину λ вимірюється за дзеркальною шкалою 2, або встановленим в місці навантаження індикаторним приладом годинникового типу. В ненавантаженому стані число поділок на шкалі або індикаторі дорівнює нулю $n_0 = 0$.

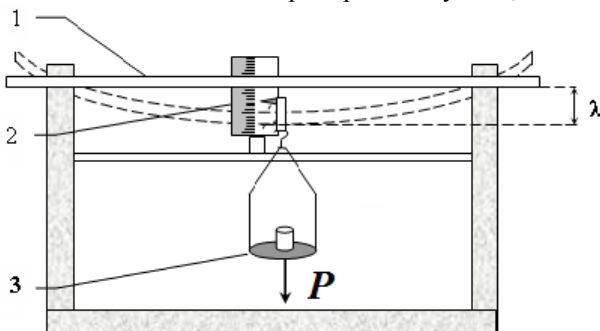


Рис. 1.2. Лабораторна установка

Навантаження зразка відбувається ступенями, стріла прогину λ_i при цьому визначається за формулою:

$$\lambda_i = n_i - n_0 = n_i \quad (1.8)$$

Порядок виконання роботи

1. Штангенциркулем виміряти ширину a і товщину b стержня в трьох місцях і визначити їх середні значення.
2. Закріпити досліджуваний стержень на двох опорах і виміряти відстань l між опорами за допомогою лінійки.
3. Виставити шкалу індикатора таким чином, щоб у ненавантаженому стані верхній край стержня казував на нульову відмітку.
4. На стержень підвісити чашку для ваг і встановити в неї вантаж маси $m = 1$ кг, величину прикладеної сили визначити по формулі

$$P = mg,$$

де $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння.

5. Визначити показання приладу n_1 , після чого, додаючи по 1 кг, довести масу вантажу до 3 кг. При кожному збільшенні навантаження записувати показання по індикатору n_2 і n_3 .
6. Знімаючи по одному вантажу, у зворотному порядку визначити показання індикатора n_3 , n_2 і n_1 .

7. Для кожної пари відліків визначити середню стрілу прогину.
8. Підставивши у формулу (1.5) середні значення вимірних величин, визначити модуль пружності I роду.
9. Визначити абсолютну і відносному похибки визначення модуля пружності, скориставшись алгоритмом розрахунку непрямих похибок. Результат записати у вигляді інтервалу

$$E = E_{сер} \pm \Delta E.$$

10. Визначити модуль пружності II роду для даного матеріалу, маючи на увазі, що коефіцієнт Пуассона для сталі $\mu = 0,35$.
11. Визначити руйнівне навантаження для даної балки по формулі (1.1), якщо межа міцності сталі $\sigma_{міц} = 110$ МПа.
10. Результати вимірів і розрахунків занести до табл. 1.1.

Таблиця 1.1

№	P, H	Розміри стержня, м					Відліки, м			E, МПа
		l	a	Δa	b	Δb	$n_{1,2,3}$	$n_{1,2,3}$	λ	
1.										
2.										
3.										
Сер. знач.										

Контрольні запитання

1. Що називається деформацією твердих тіл, які чинники призводять до її появи?
2. Наведіть класифікацію деформацій.
3. Сформулюйте закон Гука для нормальних і дотичних механічних напружень.
4. В чому полягає фізичний зміст модуля пружності першого роду, при яких деформаціях його застосовують?
5. Що називається діаграмою розтягу матеріалу, для яких цілей її будують?
6. Що таке стріла прогину і як її можна визначити?
7. Як пов'язані між собою модулі пружності першого і другого роду?
8. Що називається коефіцієнтом Пуассона, і в чому полягає його фізичний зміст?

Лабораторна робота № 2

ВИЗНАЧЕННЯ ТВЕРДОСТІ МЕТАЛІВ МЕТОДОМ БРІНЕЛЛЯ

Мета роботи: вивчити методику виміру твердості матеріалів методом Брінелля та навчитися через твердість визначати інші характеристики механічних властивостей матеріалів.

Теоретичні відомості

Твердість – механічна властивість матеріалу, яка характеризує його здатність чинити опір проникненню у поверхню сторонніх тіл. Твердість обумовлена силами атомної і міжмолекулярної взаємодії, її вимір проводиться на спеціальних приладах (твердомірах) шляхом дії на поверхню металу індентора (кульки, конуса, піраміди, призми або голки) із малодеформівного матеріалу (гартованої сталі, алмазу, сапфіру або надтвердих сплавів). Для виміру твердості використовують метод вдавлювання індентора, метод склерометрії (подряпуванням поверхні), метод удару, а також динамічний метод, в якому твердість визначають за величиною відскоку кульки. Найбільше поширення отримали методи визначення твердості вдавлюванням завдяки своїй простоті, високій ефективності та технологічності.

Вимір твердості вдавлюванням – неруйнівний метод визначення механічних характеристик матеріалів. В процесі статичного вдавлювання відбувається пластична деформація матеріалу, яка протікає лише в невеликому об'ємі матеріалу, і чим більший опір матеріалу пластичній деформації, тим вища його твердість. Величина твердості пов'язана з іншими механічними властивостями, насамперед з границею міцності матеріалу, а також характеристиками пластичності деяких матеріалів. Подібний зв'язок між твердістю і границею міцності також існує для деяких крихких матеріалів (сірі чавуни), які при випробуваннях на розтяг руйнуються майже без пластичних деформацій.

Значний вплив на результати вимірювань твердості здійснює стан поверхні зразку. Так за криволінійної поверхні різні ділянки по-різному опираються пластичній деформації, що приводить до похибок у вимірах. Чим менше навантаження вдавлювання, тим більш якісна (шліфувана або полірована) має бути поверхня.

Існує кілька статичних методів виміру твердості вдавлюванням, найбільш поширеними є методи Брінелля, Роквелла і Віккерса, вибір найбільш оптимального метода у кожному окремому випадку залежить від структури та твердості досліджуваного матеріалу і геометричних розмірів зразку.

Метод Брінелля використовують для визначення твердості металевих і полімерних матеріалів під дією повільно прикладеного навантаження. В даному методі в матеріал вдавлюється сталеві кулька (індентор), а значення твердості визначають по величині відбитку d на поверхні зразка (рис. 2.1). Індентором слугує сталеві гартована кулька діаметром $D = 2,5; 5$ або 10 мм, залежно від товщини зразка.

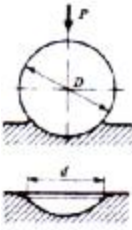


Рис. 2.1. Схема визначення твердості методом Брінелля

Величину навантаження P і діаметр індентора D обирають залежно від типу досліджуваного матеріалу, його твердості. Умови навантаження для різних матеріалів наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1.

Умови випробувань матеріалів методом Брінелля

Метали	Твердість HB	Товщина, мм	Навантаження P , кг	Діаметр D , мм	Час t , с
Чорні	150 – 450	менше 2	$P = 30D^2$	2,5	10
		2 – 4		5	10
		3 – 6		10	10
Чорні	≤ 140	менше 3	$P = 10D^2$	2,5	10
		3 – 6		5	10
		більше 6		10	10
Кольорові	≥ 130	менше 2	$P = 30D^2$	2,5	30
		2 – 4		5	30
		3 – 6		10	30
Кольорові	35 – 130	2 – 3	$P = 10D^2$	2,5	30
		3 – 6		5	30
		6 – 9		10	30
Кольорові	8 – 35	менше 3	$P = 2,5D^2$	2,5	30
		3 – 6		5	30
		більше 6		10	30

Отриманий відбиток вимірюється в двох напрямках за допомогою мікроскопа, а твердість визначається по формулі

$$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (2.1)$$

Значення твердості HB прийнято виражати в мегапаскалях (МПа).

За значенням твердості HB можна визначити границю міцності досліджуваного матеріалу, скористувавшись наведеними нижче формулами:

- сталі з твердістю 120 – 175 HB

$$\sigma_{міц} = 3,4HB ; \quad (2.2)$$

- сталі з твердістю 120 – 175 HB

$$\sigma_{міц} = 3,5HB ; \quad (2.3)$$

- мідь, латунь і бронза відпалені

$$\sigma_{міц} = 5,5HB ; \quad (2.4)$$

- мідь, латунь і бронза наклепані

$$\sigma_{міц} = 4,0HB ; \quad (2.5)$$

- алюміній і алюмінієві сплави

$$\sigma_{міц} = 3,5HB . \quad (2.6)$$

Метод Брінелля не застосовують для матеріалів з твердістю понад 450 HB через деформацію індентора, ним також неможливо виміряти твердість тонких поверхневих шарів.

Опис лабораторної установки

Досліджуваний зразок встановлюють на столику 1 шліфованою поверхнею догори. Поворотом маховика 2 за годинниковою стрілкою підіймають столик до контакту зразка із індентором. Натисканням кнопки на корпусі твердоміра вмикають електричний двигун 5, який

переміщує коромисло, що призводить до вдавнення кульки із заданим навантаженням 3 протягом певного часу. Після цього вал двигуна починає обертатись у протилежний бік, знімаючи навантаження, а потім автоматично вимикається. Столик вручну опускають і виймають зразок. Регулюванням реле двигуна можна змінювати час прикладення навантаження.

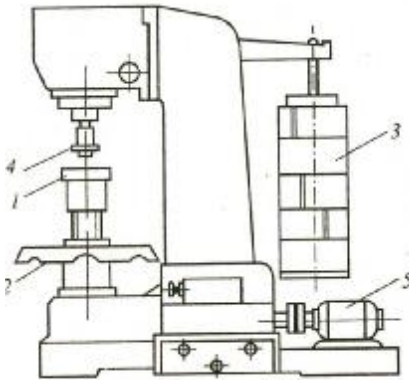


Рис. 2.2. Твердомір Брінелля. 1 – столик, 2 – маховик, 3 – навісне навантаження, 4 – металева кулька (індентор), 5 – електричний двигун

Порядок виконання роботи

1. Отримати зразок для випробовування, штангенциркулем виміряти його товщину, після чого по табл. 2.1 визначити умови випробування.
2. Встановити зразок на предметний столик 1 і обертаючи маховик 2, привести вимірюваний зразок у контакт з індентором без деформації зразка.
3. Встановити на реле часу необхідний час утримування зразка під навантаженням, виставити необхідне навантаження, потім увімкнути твердомір Брінелля.
4. Дослід провести 3 рази на різних частинах полірованої поверхні.
5. Кожен з відбитків виміряти у двох взаємно перпендикулярних напрямках, в табл. 2.2 записати їх середні значення.
6. По формулі (2.1) знайти твердість HB у кожному випадку, знайти середнє значення, результати розрахунків занести дані до табл. 2.2.
5. В залежності від матеріалу із формул (2.2) – (2.6) за середнім значенням твердості знайти границю міцності матеріалу, результат занести до табл. 2.2.

Таблиця 2.2

№	Матеріал	Діаметр кульки D , мм	Навантаження P , Н	Час τ , с	Діаметр відбитку d , мм	Твердість, HB	Границя міцності $\sigma_{\text{топ}}$, МПа
1.							
2.							
3.							
Сер.							

Контрольні запитання

1. Що називається твердістю матеріалу?
2. З якими механічними характеристиками пов'язана твердість?
3. Назвіть порядок дій при проведенні виміру твердості методом Брінелля.
4. Назвіть переваги і недоліки при вимірюванні твердості матеріалів методом Брінелля.
5. Які фактори впливають на величину відбитку при визначенні твердості?
6. У яких випадках до виміру твердості не може бути застосований метод Брінелля?
7. Які тіла використовуються в якості інденторів при вимірах твердості?

Лабораторна робота № 3

ВИЗНАЧЕННЯ ТВЕРДОСТІ МЕТАЛІВ МЕТОДОМ РОКВЕЛЛА

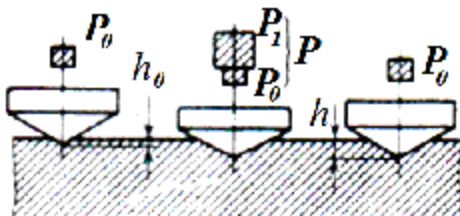
Мета роботи: вивчити методику виміру твердості матеріалів методом Роквелла та визначення через неї основних механічних характеристик матеріалів, навчитися переводити одиниці твердості Роквелла в одиниці Брінелля.

Теоретичні відомості

Метод Роквелла полягає у вдавлюванні в поверхню зразка алмазного конуса або сталеві кульки під дією певного навантаження, а твердість визначають по глибині відбитку, а не за площею відбитку, як в методі Брінелля. По Роквеллу можна змінювати навантаження в широких межах, адже при вдавлюванні конуса зберігається закон подібності і умови деформації при збільшенні тиску не змінюються.

Сталева кулька діаметром 1,6 мм використовується як індентор для м'яких матеріалів (до $HB\ 230$), для більш твердих матеріалів застосовують діамантовий конус з кутом 120° при вершині. Навантаження зразка здійснюється в два етапи: спочатку прикладають попереднє навантаження $P_0 = 98\text{ Н}$ (10 кг) для забезпечення належного контакту індентора із зразком, після чого прикладається основне навантаження P_1

$$P = P_0 + P_1.$$



Після зняття основного навантаження визначають значення твердості по різниці глибини вдавлювання h між основним і попереднім навантаженням (рис. 3.1).

Рис. 3.1. Схема визначення твердості методом Роквелла

Твердість по Роквеллу визначається в умовних поділках, а за одиницю твердості прийняте переміщення індентора на $0,002\text{ мм}$ (2 мкм). Значення твердості по Роквеллу позначається символом HR з додаванням шкали виміру A , B або C , яка характеризує умови навантаження. Величину розраховують за формулами

$$HRA(HRC) = 100 - \frac{h}{0,002}; \quad HRB = 130 - \frac{h}{0,002}. \quad (3.1)$$

Шкали, індентори та умови навантаження для різних випадків визначення твердості за Роквеллом наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1
Умови випробувань матеріалів методом Роквелла

Шкала	Позначення	Індентор	Навантаження, кг		
			P_0	P_1	P
<i>A</i>	<i>HRA</i>	Алмазний конус 120°	10	50	60
<i>B</i>	<i>HRB</i>	Сталева кулька $D = 1,59$ мм	10	90	100
<i>C</i>	<i>HRC</i>	Алмазний конус 120°	10	140	150

Вимірювання алмазним конусом з навантаженням 60 кг (шкала *A*) застосовують для дуже твердих матеріалів ($> HRC 70$), коли більше навантаження може призвести до викришування алмазу, а також для виміру твердих поверхневих шарів (до 0,5 мм) або тонких пластин.

Сталева кулька під навантаженням 100 кг (шкала *B*) використовується для виміру твердості відпалених сталевих зразків і відпалених кольорових металів і сплавів у зразках товщини 0,8 – 2 мм, коли застосування метода Брінелля може викликати зминання зразку.

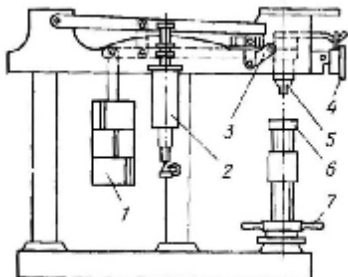
Вимірювання алмазним конусом з навантаженням 150 кг (шкала *C*) застосовують для гартованих сталей з твердістю понад *HB* 450, коли дуже твердий матеріал може викликати деформацію індентора; для визначення твердості тонких поверхневих шарів товщиною понад 0,5 мм, а також для матеріалів середньої твердості (понад *HB* 230), як більш швидкий метод, ніж метод Брінелля.

Перевагою метода Роквелла є безпосередня фіксація твердості стрілкою індикатора (відпадає необхідність у вимірі розмірів відбитку), процес вимірювання займає менше часу і залишає відбиток меншого розміру, ніж у методі Брінелля.

Опис лабораторної установки

Досліджуваний зразок встановлюють на столику 6 шліфованою поверхнею догори. У верхній частині станини встановлені індикатор з двома шкалами 4, масляний демпфер 2 для плавного прикладання навантаження і шток 5, в якому кріпиться індентор (рис. 3.2). Обертанням маховика 7 здійснюється підйом столика і попереднє навантаження зразка. З початком контакту між зразком та індентором починає обертатися стрілка на циферблаті. Маховик обертають до тих пір, поки мала стрілка не прийме вертикального положення, вказаного на циферблаті червоною крапкою. При цьому зразок отримає необхідне попереднє навантаження 98 Н, а велика стрілка на циферблаті повинна прийняти вертикальне положення. Якщо цього не відбулося, слід

повернути шкалу індикатору так, щоб велика стрілка вказувала на нуль чорної шкали. Подача на зразок основного навантаження здійснюється через важіль після звільнення руків'я 3, а його величина визначається нависним вантажем 1. Час прикладання навантаження складає 5 – 7 с, після цього руків'я слід плавно перевести в початковий стан, знявши



додаткове навантаження і залишивши попереднє. Цифра на шкалі циферблату, на яку вказує велика стрілка, є числом твердості за Роквеллом. Записавши значення твердості маховик обертають проти годинникової стрілки, опускаючи тим самим столик приладу і знімаючи попереднє навантаження.

Рис. 3.2. Твердомір Роквелла: 1 – вантаж, 2 – масляний демпфер, 3 – руків'я, 4 – циферблат, 5 – шток, 6 – столик, 7 – маховик

Порядок виконання роботи

1. Отримати зразок для випробовування, штангенциркулем виміряти його товщину, після чого визначити умови випробування.
2. Встановити зразок на предметний столик 5 і обертаючи маховик 7, подати на зразок попереднє навантаження.
3. Вивільнити руків'я 3, подавши основне навантаження на зразок, через 7 с руків'я повернути в початковий стан і записати результат.
4. Дослід провести 3 рази на різних частинах полірованої поверхні, результати занести в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Матеріал і товщина зразка	Тип індентора	Шкала випробування	Навантаження $P, Н$			Твердість, HR
			P_1	P_2	P_3	

5. За допомогою *Додатку 3* перевести отриманий результат у одиниці $НВ$.

Контрольні запитання

1. Для яких матеріалів твердість виміряють по методу Роквелла?
2. Які індентори використовуються у метода Роквелла?
3. В чому переваги метода Роквелла перед методом Брінелля?
4. Для чого в процесі вимірювання вводять попереднє навантаження?
5. За скількома шкалами проводяться виміри у методі Роквелла?
6. В яких одиницях виражається твердість за Роквеллом?

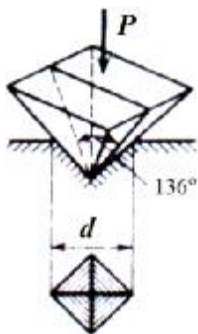
Лабораторна робота № 4

ВИЗНАЧЕННЯ ТВЕРДОСТІ МЕТАЛІВ МЕТОДОМ ВІККЕРСА

Мета роботи: вивчити методику виміру твердості матеріалів методом Віккерса, засвоїти алгоритм переведення одиниць твердості Віккерса в одиниці Роквелла і Брінелля.

Теоретичні відомості

Метод виміру твердості по Віккерсу (HV) полягає у вдавлюванні протягом певного проміжку часу (найчастіше 15 с) чотиригранної алмазної піраміди з кутом при вершині 136° у поверхню зразка (рис. 4.1). Великий кут при вершині підвищує точність вимірів навіть за невеликої глибини проникнення, оскільки діагональ відбитка у 7 разів більша за неї. Твердість в даному методі визначається по величині відбитку піраміди як відношення навантаження P , що прикладене до площі поверхні відбитку F



$$HV = \frac{P}{F} = \frac{2P \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 1,8544 \frac{P}{d^2}, \quad (4.1)$$

де d – середнє арифметичне значення для обох діагоналей відбитку, мм.

Рис. 4.1. Схема визначення твердості по Віккерсу

Твердість по Віккерсу визначають на зразках з ретельно відшліфованою або полірованою поверхнею. При цьому товщина зразка має бути не менше 1,5 діаметрі відбитку. Діагональ відбитку d вимірюється за допомогою мікроскопа, встановленого на приладі. Перевага даного способу в тому, що можна вимірювати твердість будь-яких матеріалів, тонких зразків та поверхневих шарів з високою точністю, а завдяки використанню алмазної піраміди можна випробовувати матеріали дуже високої твердості.

Навантаження P вибирається залежно від товщини зразка (шару) і його орієнтовної твердості, стандартом встановлені наступні навантаження при випробуваннях:

- чорні метали – 49...981 Н (5...100 кг);
- мідь та її сплави – 25...491 Н (2,5...50 кг);
- алюмінієві сплави – 9,8...981 Н (1...100 кг);
- поверхневі шари товщини 0,03...0,05 мм – 13...49 Н (1,3...5 кг).

Якщо твердість визначають під навантаженням у 294 Н з часом навантаження 10...15 с, то її позначають цифрами з буквами HV ,

наприклад *HV 213*. При інших умовах випробувань після букв ставлять цифри, які характеризують величину навантаження і його час, наприклад *HV 491/15 – 213*.

Числа твердості по Віккерсу і Брінеллю мають однакову розмірність і майже співпадають для матеріалів з твердістю до *HV 450*. Проте вимірювання з використанням піраміди дають більш точні результати для матеріалів з високою твердістю, ніж з використанням конусу або кульки. При дослідженні твердих і крихких шарів (азотованого, ціанованого) поблизу кутів відбитку утворюються тріщини, за видом яких можна судити про крихкість матеріалу.

Опис лабораторної установки

Дослідження проводять на твердомірі Віккерса (рис. 4.2), який має нерухому станину, в нижній частині якої встановлений столик 3, здатний переміщуватися у вертикальному напрямку при обертанні маховика 2. Зразок встановлюють на столик догори шліфованою поверхнею, після чого підіймають його до дотику з алмазною пірамідою, встановленою в шток 4. Натисканням педалі пускового важеля 1 приводиться до дії пусковий механізм, який через важіль передає вагу піднятих вантажів 6 на алмазну піраміду. Після цього столик опускають і підводять мікроскоп 5, закріплений на штанзі, яка кріпиться на станині. За допомогою мікроскопа визначають довжину діагоналей отриманого відбитку. На окулярі мікроскопа знаходяться дві шторки – рухома і нерухома. Мікрометричний гвинт з'єднаний з барабаном з цифрами, який обертається. Пересування рухомої шторки викликає обертання цифрової стрічки покажчика. Цифру, яка відповідає положенню рухомої шторки, коли вона торкається кута відбитку, переводять по таблиці на числа твердості за Віккерсом.

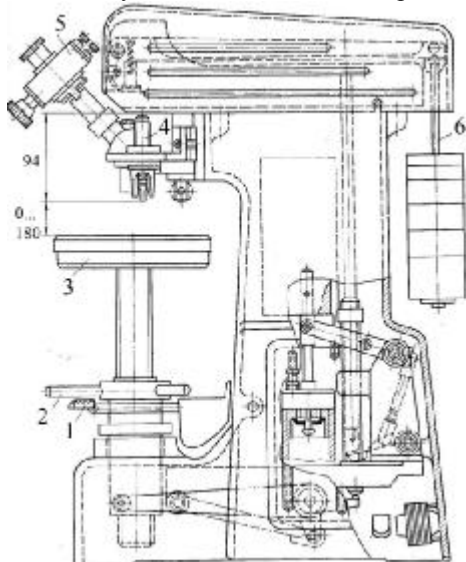


Рис. 4.2. Твердомір Віккерса: 1 – пусковий важіль, 2 – маховик, 3 – столик, 4 – шток, 5 – мікроскоп, 6 – вантаж

Порядок виконання роботи

1. Записати матеріал зразка для випробовування, штангенциркулем виміряти його товщину, за рекомендаціями з теоретичної частини обрати величину навантаження і його тривалість.
2. Встановити зразок на столик 3 твердоміру догори шліфованою поверхнею, маховиком 2 привести його у контакт з індентором без деформації зразка.
3. Натиснути педаль пускового важеля 1 і утримати зразок під навантаженням протягом необхідного часу.
4. Опустити столик і підвести до нього мікроскоп 5 для виміру діагоналей відбитку у двох напрямках.
5. Визначити середнє значення довжини діагоналі d , результати занести до табл. 4.1.
6. По формулі 4.1 визначити твердість зразка в одиницях HV_1 .
7. Повторити пункти 2 – 6 ще два рази, проводячи вимірювання твердості в інших місцях зразку.
8. Визначити середнє значення твердості зразка за Віккерсом по формулі

$$HV = \frac{HV_1 + HV_2 + HV_3}{3},$$

отриманий результат перевести в одиниці Брінелля і Роквелла за допомогою *Додатку 3*.

9. Результати усіх вимірів і розрахунків занести до табл. 4.1.

Таблиця 4.1

№	Товщина зразка	Навантаження P , Н	Час навантаження	Діаметр відбитку d , мм	Твердість HV , МПа	Твердість HB , МПа	Твердість HR
1						—	—
2						—	—
3						—	—
Сер.	—	—	—	—			

Контрольні запитання

1. Твердість яких матеріалів визначають методом Віккерса?
2. Які переваги при вимірюванні твердості надає використання піраміди з великим кутом при вершині?
3. Чому індентор у методі Віккерса виготовляють з алмазу?
4. Опишіть порядок дій при проведенні виміру твердості за методом Віккерса.
5. В яких одиницях вимірюється твердість за Віккерсом?

Лабораторна робота № 5

ВИЗНАЧЕННЯ ТВЕРДОСТІ МАТЕРІАЛІВ ДИНАМІЧНИМ МЕТОДОМ

Мета роботи: вивчити методику виміру твердості матеріалів динамічним методом в одиницях Віккерса, Роквелла і Брінелля, визначити характеристики міцності матеріалу.

Теоретичні відомості

В попередніх лабораторних роботах для виміру твердості використовувались квазістатичні методи, в яких навантаження прикладається до зразка без удару. Динамічні випробування від статичних відрізняються більшою швидкістю навантаження. Всі динамічні випробування поділяють на імпульсні (прикладається одноразове навантаження) і циклічні.

Сучасні прилади для вимірювання твердості динамічними методами розроблені на базі мікропроцесорної техніки. Вони забезпечують вивід даних на персональний комп'ютер і високу продуктивність контролю. Принцип дії цих приладів базується на вимірюванні швидкості пружного відскоку індентора від досліджуваної поверхні, тобто швидкість відскоку є функцією твердості.

Динамічні твердоміри визначають твердість металів і сплавів по шкалам Брінелля, Роквелла і Віккерса, виконують виміри на поверхневих шарах металу, які піддавались наплавленню, напиленню, механічній, термічній та іншим видам поверхневої обробки. Остання функція недоступна для стаціонарних твердомірів, які під дією значних навантажень просто продавлюють поверхневий шар. Крім того, динамічні твердоміри вимірюють твердість чавунів, інструментальних сталей і сплавів кольорових металів завдяки можливості калібровки приладу на нестандартних мірах твердості. Отримані результати твердості по шкалі Брінелля для вуглецевих сталей можуть бути автоматично переведені в значення границі міцності.

Прилади даного типу дозволяють проводити експрес-аналіз твердості виробу безпосередньо на місці експлуатації або виробництва в цехових, лабораторних чи польових умовах. Об'єктами виміру тут можуть бути судини тиску різного призначення, ротори турбін і генераторів, трубопроводи, прокатні валки, колінчасті вали, шестерні, деталі транспортних засобів, промислові напівфабрикати (відливки, поковки і листи). Їх використовують для оцінки стабільності технологічного процесу, оцінки якості термічної обробки, діагностики обладнання з метою оцінки його остаточного ресурсу.

Динамічні вимірювачі твердості застосовуються для деталей масою більше 5 кг з товщиною стінки не менше 12 мм. При цьому чистота контрольованої поверхні повинна бути не менше $R_z 20$. Конструкція приладу дозволяє проводити значну кількість вимірів протягом короткого проміжку часу, а робота з ним не потребує спеціальних навиків.

Опис лабораторної установки

В даній лабораторній роботі для виміру твердості використовують твердомір ТД-1 (рис. 5.1). Конструктивно він складається з електронного блоку приладів і механічного пристрою.

Електронний блок приладів забезпечує підсилення і перетворення вхідних сигналів датчиків в цифровий код, математичну обробку, керування режимами вимірювання і індикацію результатів.

Механічний пристрій забезпечує рух індентора з твердосплавним кульковим кінцевиком діаметра 3,5 мм відносно поверхні досліджуваного матеріалу і електричної котушки. Для фіксації руху індентора в його середині розміщений постійний магніт.

При перетинанні магнітним полем витків котушки в останній виникає електрична рушійна сила (ЕРС), пропорційна швидкості руху індентора. ЕРС з виходу котушки індуктивності подається на вхід електронного блоку, де перетворюється в значення твердості обраної шкали і виводиться на дисплей.

На передній панелі приладу розташовані кнопки керування і графічний індикатор. В нижній задній частині корпусу приладу під кришкою знаходиться відсік, в який встановлюються елементи живлення твердоміра.



Рис. 5.1. Твердомір ТД-1

Порядок виконання роботи

1. Отримати у викладача зразок для дослідження, за необхідності провести шліфування його робочої поверхні.

2. Увімкнути прилад, натисканням кнопки «Шкала» обрати шкалу Брінелля, Роквелла або Віккерса за вказівкою викладача.
3. Штовхачем плавно завантажити індентор з торцевої частини механічного пристрою через отвір для зведення пружини до упору.
4. Натисканням кнопки «↑» встановити кут виміру 0° , який відповідає вертикальному положенню датчика догори пусковою кнопкою.
5. Встановити датчик на зону виміру, після чого плавно натиснути на пускову кнопку. Після удару пролунає звуковий сигнал, а на дисплеї з'явиться результат виміру.
6. Привести індентор в робоче положення, після чого ще двічі виміряти твердість, причому мінімальна відстань між точками вимірювання має становити не менше 3 мм.
7. За методикою визначення похибки прямих вимірювань, викладеною в пункті «Математична обробка результатів вимірювань фізичних величин» визначити середнє значення, абсолютну і відносну похибки, а також середнє квадратичне відхилення і надійність отриманого результату, скориставшись при цьому таблицею розподілу Стьюдента з Додатку 2.
8. Результати вимірів і розрахунків занести до табл. 5.1

Таблиця 5.1

№	Матеріал	HB (HRC, HV)	ΔHB	ε	σ	t
1						
2						
3						
Сер.	–					

Контрольні запитання

1. В чому полягає відмінність динамічного дослідження твердості від квазістатичних методів?
2. Які переваги динамічного методу виміру твердості?
3. В чому особливість конструкції індентора в динамічному твердомірі?
4. Які вимоги висуваються до матеріалів при проведенні вимірів твердості динамічним методом?
5. Опишіть конструкцію і принцип дії динамічного твердоміру.
6. Для яких матеріалів твердість може бути виміряна динамічним методом?

Лабораторна робота № 6 ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРІАЛІВ МЕТОДОМ УДАРНОЇ ПРОБИ

Мета роботи: вивчити на практиці методику динамічних випробувань, визначити ударну в'язкість деревини і сталі.

Теоретичні відомості

Багато виробів в процесі експлуатації піддаються динамічним навантаженням, різновидом яких є навантаження ударне. При ударному навантаженні сила, що діє на конструкцію або її елемент за нескінченно малий проміжок часу зростає на кінцеву величину. Тому міцність і пластичність матеріалів, використовуваних в таких виробках, не може оцінюватися критеріями статичних випробувань, тут необхідне застосування динамічних випробувань – випробувань, в яких на зразки діють динамічні навантаження (ударні, змінні, миттєво прикладені). Основним видом динамічних випробувань на даний момент є ударна проба.

Критерій динамічної міцності – механічна властивість матеріалу протистояти руйнуванню від удару. Швидкість деформації при ударі на декілька порядків вища, ніж при статичному вантаженні, тому для оцінки динамічної міцності необхідно застосовувати ударну пробу. Найбільш поширені ударні випробування металевих зразків з надрізом.

Сутність ударної проби надрізаного зразка полягає у вимірі роботи A_k , необхідної для його руйнування шляхом ударного згину. Результат ділення величини цієї роботи на площу робочого перерізу зразка (найбільш ослабленого поперечного перерізу) приймають за характеристику матеріалу і називають ударною в'язкістю a_k

$$a_k = \frac{A_k}{F} \left[\frac{\text{кГ} \cdot \text{м}}{\text{см}^2} \right].$$

На рис. 6.1, а показано стандартний зразок, стрілкою відмічено місце завдання удару.

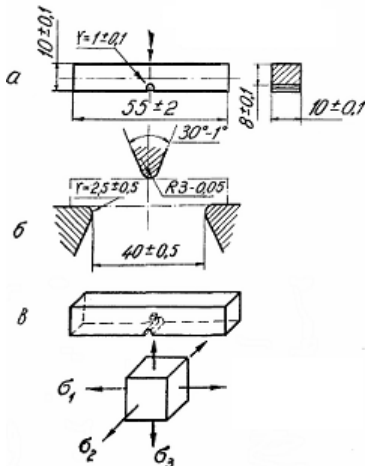


Рис. 6.1. Зразок для ударної проби

Рис 6.1, б відтворює конфігурацію інструменту (бойка), що наносить удар, і опор, на які встановлюється зразок. Руйнування зразка

зазвичай носить крихкий характер, що викликане ударним видом сили, що діє, і об'ємним напруженим станом в місці надрізу (рис. 6.1, в).

Вияткова складність явища руйнування зразка робить неможливим порівняння результатів випробувань навіть для одного матеріалу, проведених в різних умовах. Тому при проведенні випробувань прагнуть дотримати ідентичність умов випробувань: швидкість завдання удару не повинна перевищувати 4 – 7 м/с, температура приміщення підтримується в межах 15 – 25°C; зразки виготовляють строго стандартних розмірів тощо. Особливо жорсткі вимоги пред'являють до точності і чистоти виконання концентратора напруги – надрізу на зразку (рис. 6.1, а). З цих же міркувань конструкції випробувальних машин також обумовлені стандартом і не відрізняються різноманіттям. ДСТУ 10708-76 передбачені для випробування матеріалів на ударну в'язкість копри шести типів з максимальним запасом потенційної енергії від 50 до 2500 Дж.

Опис лабораторної установки

В даній лабораторній роботі застосовується типовий маятниковий копер із запасом потенційної енергії 300 Дж (30 кгс·м).

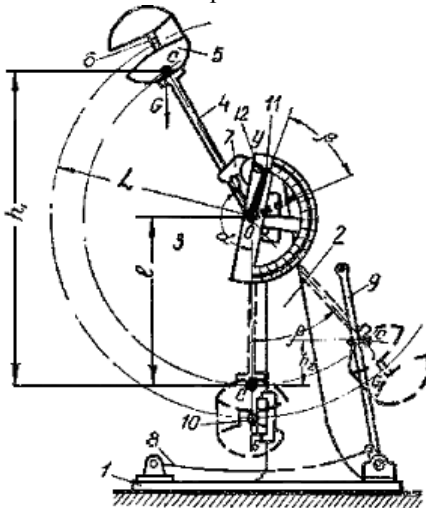


Рис. 6.2. Маятниковий копер МК 30а

Конструктивна схема копра МК 30а приведена на рис. 6.2. Фундаментна плита 1 і дві вертикальні стійки копра 2 відлиті з чавуну як одне ціле і утворюють масивну станину. Стійки несуть на собі два підшипники, в яких легко обертається вісь маятника 8. Маятник складається з жорсткої штанги 4 і масивного диска 5. До диска кріпиться бойок 6, який руйнує зразок. Маятник підіймається вручну і кріпиться у зведеному стані поворотом засувки 7.

Для нанесення удару по зразку засувка піднімається долонею руки вгору. Давши маятнику вільно зупинитися у вертикальному положенні, записують значення кута підйому (3 – поділка шкали,

проти якого зупинилася стрілка). Підбирають і розглядають зруйнований зразок

Ударна в'язкість матеріалу, отримана в результаті такого зламу, значною мірою умовна і не може бути безпосередньо врахована в чисельному вигляді при конструюванні деталей машин. Проте вона добре характеризує матеріал в якісному відношенні і є однієї з його основних характеристик.

Порядок виконання роботи

1. За допомогою штангенциркуля визначити розміри зразка і обчислити площу його поперечного перерізу:

- для дерев'яного зразка прямокутного перерізу

$$F = ab,$$

де a, b – ширина і висота зразка відповідно;

- для сталевого зразка круглого поперечного перерізу

$$F = \frac{\pi d^2}{4},$$

де d – діаметр зразка.

2. Встановити зразок в відповідні пази станини, підняти маятник на початкову висоту H_1 і закріпити його за допомогою засувки, після чого встановити стрілки відлікового пристрою в початкове положення.

3. Відвести засувку, давши маятнику вільно впасти, після чого записати показання шкали H_2 .

4. Визначити сумарну роботу деформації і руйнування

$$A = g(H_1 - H_2).$$

5. Визначити ударну в'язкість досліджуваного матеріалу по формулі

$$a = \frac{A}{F}.$$

6. Повторити дослід ще 2 рази, змінюючи початкову висоту маятника.

7. Вирахувати похибку вимірювань, результати занести в табл. 6.1.

Таблиця 6.1

Матеріал зразка	Площа перерізу $F, \text{м}^2$	Робота руйнування $A, \text{Дж}$	Ударна в'язкість $a, \text{Дж/м}^2$	Похибка $\Delta a_{\text{сер}}, \text{Дж/м}^2$

Контрольні запитання

1. В чому полягає відмінність крихких матеріалів від пластичних?
2. В яких випадках застосовують динамічні випробування?
3. Як визначають роботу, витрачену на руйнування зразка?
4. Що називається ударною пробою, для чого вона застосовується?
5. Для чого і на яку глибину робиться надріз на металевому зразку?

2 МОДУЛЬ. МІКРОСТРУКТУРА МАТЕРІАЛІВ

Лабораторна робота № 7 ВИВЧЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТА ПРИНЦИПУ ДІЇ МЕТАЛОГРАФІЧНОГО МІКРОСКОПУ МИМ-7

Мета роботи: вивчити будову і принцип дії металографічного мікроскопу МИМ-7, засвоїти методику виготовлення мікрошліфів та їх дослідження.

Теоретичні відомості

Око людини найчіткіше розрізняє об'єкти, що знаходяться на відстані найкращого бачення (250 мм), а його розподільна здатність складає 0,2 мм. Для спостереження предметів меншого розміру потрібний оптичний прилад, що збільшує розподільну здатність. Одним з таких приладів є мікроскоп. Конструктивно металографічний мікроскоп складається з трьох основних систем: освітлювальної, оптичної та механічної.

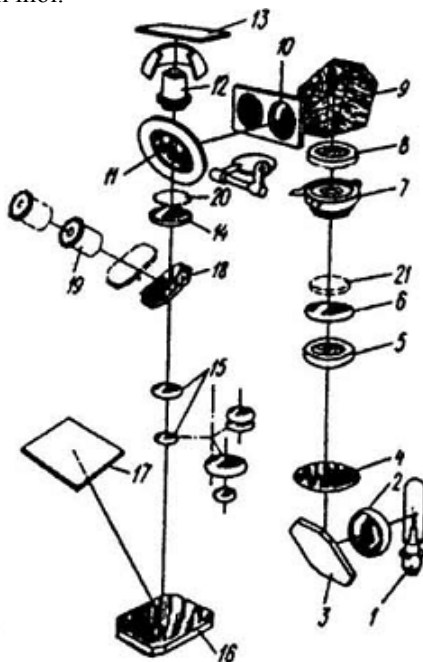


Рис. 7.1. Оптична система МИМ-7: 1 – лампа розжарювання; 2 – колектор; 3,13,15 – дзеркала; 4 – апертурна діафрагма; 5,6,11 – лінзи; 7 – пентапризма; 8 – дзеркальна пластина; 9 – об'єктив; 10 – мікрошліф; 12 – окуляр; 14 – фотоокуляр; 16 – матове скло; 17 – польова діафрагма; 18 – поляризатор; 19 – затвор; 20 – конденсор

Оптична система складається з об'єктиву, окуляра і ряду допоміжних оптичних елементів (дзеркала, призми), її конструкція наведена на рис. 7.1. Промені світла від лампи 1 проходять через колектор 2, відбиваються дзеркалом 3, після чого проходять апертурну діафрагму 4. За допомогою системи лінз 5 і 6, пентапризми 7 і дзеркальної пластини 8 світлові промені проєктуються на поверхню об'єкту спостереження 10 через об'єktiv 9. Відбиваючись від даної поверхні, промені проходять через об'єktiv 9, дзеркальну пластину 8, ахроматичну лінзу 11, після чого відбившись від дзеркала 13, потрапляють в окуляр 12. Під час фотографування дзеркало 13 відводиться і промені потрапляють через фотоокуляр 14 на дзеркало 15, звідки відбиваються на фотографічну пластинку чи матове скло 16.

Об'єktiv є складною системою лінз, розташованих в безпосередній близькості до зразка, він дає дійсне збільшене зворотне зображення. Усі об'єктиви поділяються на ахроматичні (для малих і середніх збільшень) і алохроматичні (для великих збільшень). Об'єктиви другого типу також виключають небажані явища хроматичної аберації (залежність показника заломлення від довжини падаючого світла) та сферичної аберації (заломлені різними частинами лінзи промені не фокусуються в одну точку), які мають місце при проходженні світла крізь лінзи.

Окуляр дає уявне зображення і, крім того, виправляє оптичні дефекти, що неминуче виникають в об'єктивах. Найчастіше застосовується окуляри трьох типів: звичайні або окуляри Пойгенса (збільшення від 2 до 15 разів), компенсаційні (збільшення до 25 разів) і проєкційні (для фотографування мікроструктури металів). Збільшення окуляра завжди менше збільшення об'єктиву, а загальне збільшення мікроскопа дорівнює добутку збільшення об'єктиву на збільшення окуляра

$$U_{заг} = U_{об} U_{ок}. \quad (7.1)$$

Основними характеристиками оптичної системи є її корисне збільшення і розподільна здатність.

Максимальна розподільна здатність d оптичної системи знаходиться з умови дифракції

$$d = \frac{\lambda}{2n \sin(\alpha/2)}, \quad (7.2)$$

де $\lambda = 600$ нм – довжина хвилі білого світла; n – показник заломлення середовища, в якому відбувається спостереження; α – кут розкриття світлового пучка, що входить.

Зазвичай спостереження проводяться в повітряному середовищі ($n = 1$), проте для збільшення розподільної здатності між об'єктивом і

досліджуваним об'єктом може бути розміщене середовище з більшим показником заломлення, наприклад кедрова олія.

Мінімальне корисне збільшення мікроскопа – збільшення, за якого стають видимі досліджувані деталі даного об'єкту

$$U = \frac{d_1}{d}, \quad (7.3)$$

де $d_1 = 0,2$ мм – розподільна здатність людського ока.

Максимальне збільшення оптичної системи досягається при мінімальному значенні d . Для цього при постійній довжині хвилі величина числової апертури повинна мати максимальне можливе значення

$$2n \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \rightarrow \max,$$

що досягається через збільшення кута α і коефіцієнта заломлення n використанням імерсійних рідин.

Освітлювальна система складається з джерела світла, серії лінз, світлофільтрів і діафрагм. Для зменшення розсіювання світлових променів і підвищення чіткості зображення в освітлювальну систему введені додаткові лінзи 5, 6 і 11 та конденсор 20, який концентрує пучки променів на досліджуваній ділянці зразка (рис. 7.1). Діафрагми обмежують переріз світлового пучка, а світлофільтри пропускають лише промені необхідної довжини хвилі, тобто певного кольору і дозволяють підібрати потрібну інтенсивність освітлення. Людське око має найбільшу чутливість на довжині хвилі $\lambda = 555$ нм (зелений колір), тому застосування зеленого світлофільтру дозволяє найчіткіше спостерігати особливості структури.

Механічна система мікроскопа містить штатив, тубус, предметний столик, а також механізми грубого і тонкого наведення на фокус. Столик можна пересувати в горизонтальному і вертикальному напрямках, що дозволяє досліджувати різні ділянки зразка без зміни фокусної відстані. В центрі столика встановлено змінні підкладки з отворами різного розміру, через які промені світла потрапляють на зразок і відбиваються від нього.

Конструкція оптичних мікроскопів також включає пристрої, що дозволяють проводити виміри розмірів досліджуваних предметів:

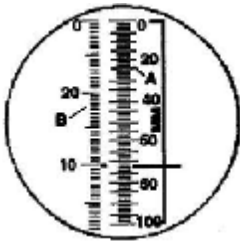
- *об'єкт-мікрометр* – пластина, на яку нанесена шкала довжиною 1 мм, розділена на 100 рівних частин, тобто ціна його поділки

$$C_{об} = \frac{1}{100} = 0,01 \text{ (мм)};$$

- *окуляр-мікрометр* – окуляр, в який встановлена пластинка з лінійкою.

Розмір досліджуваного предмету визначають за допомогою окуляр-мікрометра. Для проведення вимірів необхідно спершу визначити ціну поділки окуляр-мікрометра, встановивши на предметний столик об'єкт-мікрометр. Після наведення на фокус у полі зору мікроскопу опиняться одночасно шкали і окуляра і об'єкта.

Приклад визначення ціни поділки показано на рис. 7.2. На лівій шкалі окуляр-мікрометра в поле зору потрапили 40 поділок, яким відповідає 72 поділки на правій шкалі об'єкт-мікрометра.



Тепер ціну поділки окуляр-мікрометра визначаємо по формулі

$$C_{ок} = \frac{A \cdot C_{об}}{B} = \frac{72 \cdot 0,01}{40} = 0,18 (\text{мм}). \quad (7.4)$$

Рис. 7.2. Визначення ціни поділки окуляр-мікрометра

Опис лабораторної установки

Для дослідження структури матеріалів в даній лабораторній роботі застосовують вертикальний металографічний мікроскоп МИМ-7 (рис. 7.3), який дозволяє спостерігати непрозорі тіла у відбитому світлі при збільшенні у 60 – 1440 разів. Збільшення об'єкту дослідження у мікроскопі відбувається в два ступені: перше – у об'єктиві, друге – у окулярі. Об'єкт поміщається перед об'єктивом на відстані, трохи більшій за фокусну. Об'єktiv створює збільшене дійсне і перевернуте зображення, розташоване перед окуляром. Окуляр створює збільшене уявне і пряме зображення на відстані найкращого бачення.

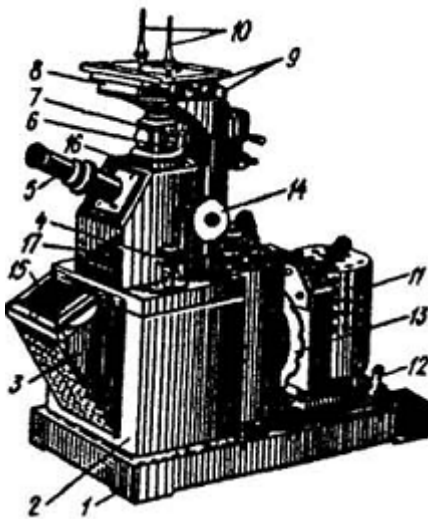


Рис. 7.3. Металографічний мікроскоп МИМ-7: 1 – основа, 2 – корпус, 3 – фотокамера, 4 – мікрометричний гвинт, 5 – тубус з окуляром, 6 – рукоятка ілюмінатора, 7 – ілюмінатор, 8 – предметний столик, 9 – рукоятка пересування столика, 10 – клєми, 11 – освітлювач, 12 – стопорний пристрій освітлювача, 13 – рукоятка світлофільтрів, 14 – мікрометричний гвинт, 15 – матове скло, 16 – аналізатор, 17 – корпус центральної частини

В результаті ми отримуємо збільшене і перевернуте зображення об'єкту під великим кутом зору. Даний мікроскоп комплектується окуляр-мікрометром для визначення розмірів досліджуваних структур, та об'єкт-мікрометром для його градування. Об'єктами дослідження є зразки чорних та кольорових металів.

Порядок виконання роботи

1. Отримати у викладача зразок досліджуваного матеріалу, за необхідності провести механічну обробку його поверхні наждачним папером та на шліфувальному колі.
2. Отримати у викладача об'єкти і окуляр для дослідження, записати у звіт з лабораторної роботи збільшення для кожного з них.
3. За формулою (7.1) визначити загальне збільшення мікроскопа.
4. Встановити на предметний столик об'єкт-мікрометр і визначити ціну поділки окуляр-мікрометра по формулі (7.4) згідно алгоритму, наведеного в теоретичних відомостях.
5. Встановити досліджуваний зразок на предметний столик і за допомогою мікрометричних гвинтів 4 і 14 добитися його чіткого зображення.
6. По формулі 7.2 визначити максимальну розподільну здатність оптичної системи.
7. По формулі 7.3 визначити мінімальне корисне збільшення мікроскопа.
8. Замалювати досліджувану мікроструктуру у звіт з лабораторної роботи, вказавши розміри показаної ділянки в горизонтальному і вертикальному напрямках.
9. Охарактеризувати основні елементи структури, зробити висновки з лабораторної роботи.

Контрольні запитання

1. Опишіть конструкцію металографічного мікроскопу.
2. З яких систем складається металографічний мікроскоп МИМ-7.
3. Які елементи входять до складу оптичної системи?
4. Яке призначення освітлювальної системи?
5. Для чого застосовується механічна система, які елементи входять до її складу?
6. Як визначити мінімальне корисне збільшення мікроскопа?
7. Що характеризує максимальна розподільна здатність оптичної системи?

Лабораторна робота № 8

ВИЗНАЧЕННЯ РОЗМІРІВ ЗЕРЕН МЕТАЛІВ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТАЛОГРАФІЧНОГО МІКРОСКОПУ МИМ-7

Мета роботи: засвоїти методику виготовлення мікрошліфів, навчитися за допомогою мікроскопу МИМ-7 визначати величину зерен конструкційних матеріалів.

Теоретичні відомості

Мікроскопічний аналіз – дослідження структури матеріалів при значних збільшеннях за допомогою мікроскопу. Мікроаналіз дозволяє в багатьох випадках пояснити причини змін властивостей сплавів в залежності від зміни хімічного складу і умов обробки, його часто використовують при визначенні причин руйнування деталі. Для проведення мікроаналізу застосовують біле світло (оптична мікроскопія) або потік електронів (електронна мікроскопія). В даній лабораторній роботі застосовуються методи оптичної мікроскопії, які дозволяють отримувати корисне збільшення від кількох десятків до 1500 разів. Вибір збільшення обирається залежно від досліджуваної структури, в одних випадках немає необхідності використовувати значні збільшення, для інших сплавів вивчення структури без максимального збільшення неможливе.

Вивчення структури металів та непрозорих неметалічних матеріалів можливе лише при досить інтенсивному відбитті світлових променів від досліджуваної поверхні, тому поверхня зразку має бути відповідним чином підготовлена.

Мікрошліф – зразок, спеціально підготовлений до проведення мікроаналізу: він має бути вирізаний із досліджуваного матеріалу, мати плоску та блискучу поверхню. Зразки з м'яких матеріалів пилюкою, фрезою або різцем, якщо ж твердість матеріалу значна, їх вирізають алмазними або карборундовими колами, слідкуючи за тим, щоб матеріал не перегрівався, оскільки це може змінити його структуру. Зразки крихких матеріалів можна відбивати молотком, якщо немає вимог до їх форми.

Суттєвий вплив на характер мікроструктури має місце, з якого вирізано дослідний зразок. Для ливарних матеріалів мікроструктуру досліджують в кількох перерізах, оскільки вона суттєво залежить від швидкості охолодження. Структури злитку визначають по ряду його поперечних перерізів, а структуру сплавів після термічної обробки – в поверхневих та більш глибоких шарах. При визначенні причин руйнування зразки зазвичай вирізають біля зони руйнування і на

максимальному віддаленні від неї, аби чіткіше було видно відхилення в структурі матеріалу.

Метод отримання необхідної якості поверхні також залежить від властивостей матеріалу. М'які матеріали обробляють на токарному або фрезерувальному верстатах, більш тверді – на абразивному колі. Після отримання приблизно плоскої поверхні зразок шліфують спеціальним шліфувальним папером (наждаком), причому спочатку використовують папір з більшим розміром абразивних частинок, а потім – з меншим. При кожній зміні паперу зразок повертають на 90°, а при шліфуванні м'яких металів папір натирають гасом або парафіном для запобігання потраплянню в зразок абразивних частинок.

Після шліфування зразок піддається поліруванню для усунення рисок від абразивних частинок, причому полірування може бути механічним, хіміко-механічним і електрохімічним. В даній лабораторній роботі використовується механічне полірування пастою ГОІ, яка застосовується для полірування усіх металів і пластмас. Паста ГОІ містить 72...86% Cr_2O_3 , 12...24% стеарину, 1% олеїнової кислоти, 2% гасу. Випускається вона чотирьох номерів: № 1 і № 2 – для чистового полірування, № 3 – для середнього шліфування, № 4 – для попереднього шліфування. Паста ГОІ наноситься на полірувальне коло шліфувального верстату, нанесення її безпосередньо на зразок не рекомендується.

Дослідження мікроструктури шліфа слід починати у «нетравленому вигляді», тобто безпосередньо після полірування. Це дасть змогу неметалеві включення та мікропористість – дефекти, які найчастіше зустрічаються у відливках і впливають на властивості матеріалу. Після вивчення нетравленого шліфа для більш повного дослідження структури його піддають травленню. При травленні мікрошліф опускають полірованим боком в розчин обраного складу і тримають там певний час, після чого виймають. Якщо поверхня стає матовою, травління вважають завершеним, шліф промивають водою, потім спиртом, після чого висушують фільтрувальним папером. Вказані операції слід проводити досить швидко для запобігання окисленню протравленої поверхні.

Для визначення середньої величини зерна існує кілька методів, серед яких найбільш поширеним є *метод площі*. Суть даного методу полягає в наступному: в окуляр мікроскопу вставляють скло з квадратною сіткою і за допомогою об'єкт мікрометра знаходять площу останньої. Після цього на предметний столик встановлюють мікрошліф і після фокусування зображення підраховують кількість зерен на вказаній площі. Оскільки площа сітки та кількість зерен

відома, легко можна знайти площу одного зерна структури і кількість зерен на 1 мм². Для зручності класифікації зерну структури залежно від розмірів надається номер згідно табл. 8.1.

Таблиця 8.1

Номер зерна в залежності від його розміру

№ зерна	Площа зерна, мм ²			Число зерен на 1 мм ²		
	<i>min</i>	<i>середня</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>середня</i>	<i>max</i>
-3	0,640	1,024	1,280	0,75	1	1,5
-2	0,320	0,512	0,640	1,5	2	3
-1	0,160	0,256	0,320	3	4	6
0	0,080	0,128	0,160	6	8	12
1	0,040	0,064	0,080	12	16	24
2	0,020	0,032	0,040	24	32	48
3	0,010	0,016	0,020	48	64	96
4	0,005	0,008	0,010	96	128	192
5	0,0025	0,004	0,005	192	256	384
6	0,00125	0,002	0,0025	384	512	768
7	0,000625	0,001	0,00125	768	1024	1536
8	0,000312	0,0005	0,000625	1536	2048	3072
9	0,000156	0,00025	0,000312	3072	4096	6144
10	0,000078	0,000125	0,000156	6144	8192	12288
11	0,000039	0,000062	0,000078	12288	16384	24576
12	0,000019	0,000031	0,000039	24576	32768	49152
13	0,000009	0,000016	0,000020	49152	65536	98304
14	0,000005	0,000008	0,000010	98304	131072	196608

Опис лабораторної установки

Для дослідження структури матеріалів в даній лабораторній роботі застосовують вертикальний металографічний мікроскоп МИМ-7 (рис. 7.3), конструкція та принцип дії якого детально розглянуті в попередній лабораторній роботі. Для поліровки зразка використовується шліфувальний станок із войлоковим кругом, на який наноситься поста ГОІ відповідного номеру.

Порядок виконання роботи

1. Отримати у викладача зразок для досліджень, провести грубе механічне шліфування поверхні наждачним папером трьох номерів, зменшуючи кожен раз величину абразивних частинок.

2. Отримати у викладача пасту ГОІ необхідного номера, нанести її на полірувальне коло шліфувального верстату, після чого провести полірування зразка до отримання блискучої поверхні. Нанесення пасту на коло і полірування поверхні зразка виконувати лише в присутності викладача.

3. Визначити збільшення мікроскопу по формулі

$$U_{заг} = U_{об} U_{ок}.$$

4. Встановити зразок на оглядовий столик мікроскопу догори полірованою поверхнею, експериментальним шляхом підібрати збільшення мікроскопа.

5. Замалювати мікропрофіль нетравленого зразка, після чого опустити його на 5 хв у підготовлений розчин.

6. Достати зразок із розчину, промити його водою, протерти спиртом і висушивши фільтрувальним папером, знову встановити на оглядовий столик мікроскопа.

7. Визначити методом площин кількість зерен на даній площі по формулі

$$n = n_1 + n_2,$$

де n_1 – кількість зерен, що повністю увійшли в межі сітки, n_2 – кількість зерен, що частково виходять за межі сітки.

8. Визначити середню площу зерна і кількість зерен структури на площі $S = 1 \text{ мм}^2$.

9. Визначити стандартний номер зерна за табл. по кількості зерен на 1 мм^2 і по середній площі зерна. Співпадіння при таких визначеннях має становити один номер, результати вимірів і розрахунків занести до табл. 8.2.

Таблиця 8.2

Площа сітки	Число зерен на даній площі	Число зерен на 1 мм^2	Площа зерна	Номер зерна

Контрольні запитання

1. Що називається мікрошліфом, для чого їх виготовляють?
2. Опишіть методику виготовлення мікрошліфів.
3. Для чого проводять дослідження зразків у нетравленому вигляді?
4. Що називається зерном структури матеріалу?
5. Від яких факторів залежить величина зерна структури?
6. На які властивості матеріалів впливає розмір зерна структури?

Лабораторна робота № 9

ВИВЧЕННЯ ПРОЦЕСУ КРИСТАЛІЗАЦІЇ МЕТАЛІВ

Мета роботи: вивчити механізм кристалізації металів, енергетичні умови протікання процесу кристалізації.

Теоретичні відомості

Загальна властивість металів і сплавів – їх кристалічна будова, яка характеризується певним розташуванням атомів у просторі. Для описання атомно-кристалічної структури застосовують поняття кристалічної комірки – найменшого об'єму, трансляція якого за усіма вимірами може повністю відтворити структуру кристалу. В реальному кристалі атоми чи іони зближені один з одним до стану безпосереднього дотику, але для простоти їх замінюють схемами, де центри тяжіння атомів або іонів зображені точками, найбільш характерні для металів комірки показані на рис. 9.1.

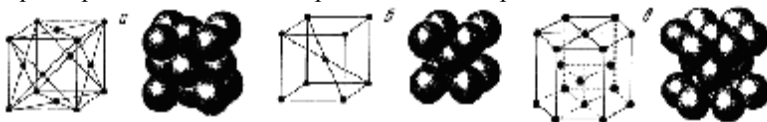


Рис. 9.1. Типи кристалічних комірок і розташування в них атомів: а) гранецентрована (ГЦК), б) об'ємцентрована (ОЦК), в) гексагональна щільноупакована (ГЩ)

Будь-яка речовина може знаходитися в трьох агрегатних станах: твердому, рідкому та газоподібному, а перехід з одного стану в інший відбувається за певної температури та тиску. Більшість технологічних процесів відбувається за атмосферного тиску, тоді фазові переходи характеризуються температурою кристалізації (плавлення), сублімації та кипіння.

При збільшенні температури твердого тіла росте рухливість атомів у вузлах кристалічної комірки, збільшується їх амплітуда коливань. При досягненні температури плавлення енергії атомів стає достатньо аби покинути комірку – вона руйнується з утворенням рідкої фази. Температура плавлення є важливою фізичною константою матеріалів. Серед металів найнижчу температуру плавлення має ртуть ($-38,9\text{ }^{\circ}\text{C}$), а найбільшу – вольфрам ($3410\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Обернена картина має місце при охолодженні рідини з її подальшим затвердінням. Поблизу температури плавлення утворюються групи атомів, упакованих в комірки, як у твердому тілі. Ці групи є центрами (зародками) кристалізації, на них потім наростає шар кристалів. При досягненні тієї ж самої температури плавлення матеріал переходить в рідкий стан з утворенням кристалічної ґратки.

Кристалізація – перехід металу з рідкого стану в твердий при певній температурі. Згідно II закону термодинаміки будь-яка система прагне перейти в стан з мінімальним значенням вільної енергії – складової внутрішньої енергії, яка ізотермічно може бути перетворена в роботу. Тому метал твердіє, коли меншою вільною енергією володіє твердий стан і плавиться, коли менша вільна енергія в рідкому стані.

Залежність вільної енергії рідкого і твердого станів від температури показана на рис. 9.2. З підвищенням температури величина вільної енергії в обох станах зменшується, проте за різними законами. Розрізняють дві температури кристалізації – теоретичну і фактичну. При теоретичній температурі вільна енергія в обох фазах однакова

$$F_m = F_p,$$

тому з однаковою ймовірністю метал може існувати в твердій і рідкій фазі. Але процес кристалізації почнеться лише тоді, коли він буде термодинамічно вигідним самій системі, тобто буде існувати різниця вільних енергій

$$\Delta F = F_p - F_m.$$

Для створення даної різниці необхідне переохолодження ΔT , яке дорівнює різниці між теоретичною і фактичною температурами кристалізації

$$\Delta T = T_{теор} - F_{кр}.$$

Величину ΔT називають ступенем переохолодження, чим ΔT більше, тим інтенсивніше іде процес кристалізації.



Рис. 9.2. Термодинамічні умови кристалізації

Процес кристалізації складається з двох елементарних процесів: зародження центрів кристалізації та росту кристалів з цих центрів. Як зазначалось вище, при близькій до кристалізації температурі починається утворення нової структури – центру кристалізації. Із збільшенням ступеню переохолодження збільшується кількість таких центрів, навколо яких починають рости кристали. В той же час в рідкій фазі утворюються нові центри кристалізації, тому збільшення твердої фази одночасно відбувається як за рахунок виникнення нових центрів, так і за рахунок росту існуючих. Сумарна швидкість кристалізації залежить від ходу обох процесів, причому швидкості зародження центрів і росту кристалів залежать від ступеню переохолодження ΔT . На рис. 9.3 схематично показано механізм кристалізації.

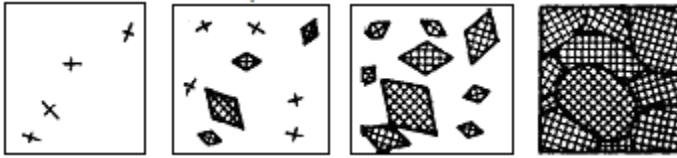


Рис. 9.3. Механізм кристалізації

Реальні кристали називаються *кристалітами*, вони мають неправильну форму, що пояснюється їх одночасним ростом. Зародками кристалізації можуть бути флуктуації основного металу, домішки та різні тверді частки. В першому випадку зародки є гомогенними, в усіх інших – гетерогенними, причому утворення гомогенних зародків вимагає значно більшої кількості енергії.

Розміри зерен залежать від ступеню переохолодження: при малих значеннях ΔT швидкість зростання кристалів велика, тому утворюється незначна кількість великих кристалітів. Збільшення ΔT призводить до збільшення швидкості утворення зародків, кількість кристалітів суттєво збільшується, а їх розміри зменшуються. Проте головну роль при формуванні структури металу відіграють домішки (неметалічні включення, окисли, продукти розкислення) – чим їх більше, тим менше розміри зерен. Інколи спеціально проводять модифікування металу – навмисне введення домішок з метою зменшення розмірів зерен.



Рис. 9.4. Дендритний кристал

При утворенні кристалічної структури важливу роль відіграє напрямок відведення теплоти, адже кристал зростає швидше саме в цьому напрямку. Залежність швидкості зростання від напрямку призводить до утворення розгалужених деревоподібних кристалів – дендритів (рис. 9.4).

При переході з рідкого стану в твердий завжди має місце вибіркова кристалізація – в першу чергу твердіє більш чистий метал. Через це границі зерен більше збагачені домішками, а неоднорідність хімічного складу в межах дендриту називається *дендритною ліквідацією*.

На рис. 9.5. показано будову сталевого злитку, в якому можна виділити 3 характерні зони: дрібнозернисту 1, зону стовбчастих кристалів 2 і зону рівноважних кристалів 3. Зона 1 складається з великої кількості неорієнтованих в просторі кристалів, утворених під дією значної різниці температур між рідким металом і холодними

стінками. Після утворення зовнішньої зони умови відведення теплоти погіршуються, переохолодження зменшується і центрів кристалізації виникає менше. З них починають рости кристали у напрямку відведення теплоти (перпендикулярно стінкам форми), утворюючи зону 2. В зоні 3 не існує чіткого напрямку відведення теплоти, а зародками кристалізації в ній є сторонні частки, витіснені при кристалізації попередніх зон.

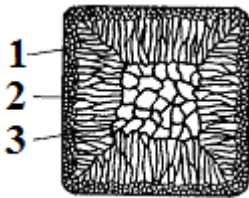


Рис. 9.5. Будова сталевого злитку

Опис лабораторної установки

Дослідження процесу кристалізації відбувається за допомогою біологічного монокулярного мікроскопа Біолам Р-11 ЛОМО (рис. 9.6). Мікроскопи Біолам Р-11 призначені для дослідження препаратів в світлі, що проходить, під час лабораторних робіт в області біології, зоології, медицини та дослідження структур і матеріалів.



Основа мікроскопа Р-11 має чотири опорні майданчики, що забезпечує його стійке положення мікроскопа на поверхні робочого столу. Коробка з механізмом точного фокусування прикріплена до основи мікроскопа. З одного боку коробки знаходиться напрямна, по якій переміщується кронштейн конденсора, з іншого – паз для переміщення тубуса.

Рис. 9.6. Будова мікроскопу Біолам Р-11

Предметний столик мікроскопа закріплюється на коробці механізму точного фокусування. У верхній частині тубуса укріплена голівка з напрямною типу "ластівчин хвіст" для револьвера і гніздом для монокулярної або біокулярної насадки. На револьвері є чотири отвори з різьбою для об'єктивів. Оптична схема мікроскопа підрозділяється на освітлювальну і систему спостереження.

Порядок виконання роботи

1. Встановити на оглядовий столик лабораторне скло та добитися чіткого зображення його поверхні.
2. Приготувати соляний розчин $NaCl$ та помістити його на лабораторне скло.

3. Через окуляр мікроскопа дослідити динаміку процесу кристалізації солі, при цьому за допомогою секундоміра визначити повний час τ кристалізації розчину.
4. Приготувати розчин тієї ж самої густини, та знову нанести його на лабораторне скло.
5. Через кожні проміжки часу $\tau/5$ визначити кількість зародків кристалізації в розчині.
6. У звіті лабораторної роботи замалювати структуру розчину, з малюнку визначити швидкість росту кристалів. Результати вимірів занести до табл. 9.1.

Таблиця 9.1

Час кристалізації	0	$\tau/5$	$2\tau/5$	$3\tau/5$	$4\tau/5$	τ
Кількість зародків						
Швидкість росту						

7. В одних координатних осях побудувати два графіки:
 - залежність *число зародків – час кристалізації*;
 - залежність *швидкість росту – час кристалізації*.

Контрольні запитання

1. В скількох агрегатних станах може існувати матеріал?
2. Що називається фазовим перетворенням I роду?
3. Який процес називається кристалізацією, до якого типу фазового перетворення він відноситься?
4. Опишіть механізм кристалізації металу та умови, необхідні для його запуску.
5. Чим викликана дендритна форма кристалів?
6. Опишіть структуру металевого злитку.

Лабораторна робота № 10

ПОБУДОВА ДІАГРАМ СТАНУ ТЕРМІЧНИМ МЕТОДОМ

Мета роботи: на практиці оволодіти методами визначення критичних температур металів і сплавів, засвоїти принцип побудови діаграм стану, набути навичок аналізу діаграм.

Теоретичні відомості

Властивості сплавів залежать від їх структури, тому важливо знати особливості її поведінки при зміні хімічного складу та температури. Для цього будують діаграми стану – графічні відображення структурного стану сплаву за різної концентрації складових при різних температурах.

Фаза – однорідна за хімічним складом, агрегатним станом і будовою частина сплаву. При кристалізації сплавів атоми складових вступають у взаємодію один з одним, в результаті чого після переходу в твердий стан можуть утворюватися тверді розчини, хімічні сполуки та механічні суміші.

Тверді розчини – фази, в яких один з компонентів сплаву зберігає свою кристалічну ґратку, а атоми інших компонентів розташовуються в його ґратці, змінюючи її розміри. Розрізняють тверді розчини заміщення і втілення (рис. 10.1). При утворенні останнього атоми розчиненого компонента розташовуються між вузлами ґратки основного елемента. Розчини втілення утворюються лише при невеликих розмірах атомів розчиненого елемента, самі атоми займають міста з найбільшим вільним простором. При утворенні розчину заміщення атоми розчиненого компонента заміщують частину атомів розчинника в його кристалічній ґратці.

Утворення твердих розчинів з необмеженою розчинністю компонентів можливе лише при виконанні наступних умов: компоненти повинні мати той самий тип кристалічної ґратки; різниця в розмірі атомів має бути невеликим – 8...15%; компоненти мають знаходитись в одній або сусідніх групах Періодичної системи, тобто мати близьку будову валентної оболонки.

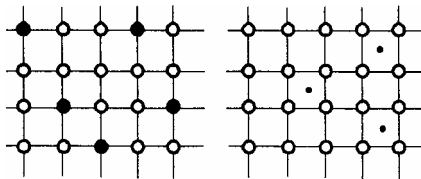


Рис. 10.1. Тверді розчини заміщення (зліва) і втілення (справа)

Хімічні сполуки – найчастіше утворюються між елементами, розташованими далеко один від одного в Періодичній системі, які сильно відрізняються один від одного за будовою і властивостями.

Атоми в ґрешітках хімічних сполук розташовані по вузлах за певним порядком, більшість сполук має складну кристалічну структуру, а їх властивості сильно відрізняються від властивостей вихідних елементів. Хімічні сполуки характеризуються, як правило, високою твердістю та крихкістю.

Механічні суміші – утворюються у випадку, коли сили тяжіння між однорідними атомами більше, ніж різнорідними. При цьому компоненти зовсім не розчиняються в твердому стані, в суміші вони не змінюють своїх кристалічних ґрешіток.

Діаграма стану поділена лініями на області, одні з яких складаються тільки з однієї фази, а інші – з двох, що мають різні склад, будову та властивості. Діаграми містять усю необхідну інформацію відносно отримання та обробки сплавів, бувають вони чотирьох родів.

Діаграми I роду – охоплюють сплави, компоненти яких зовсім не розчиняються в твердому стані, тобто механічні суміші (рис. 10.2).

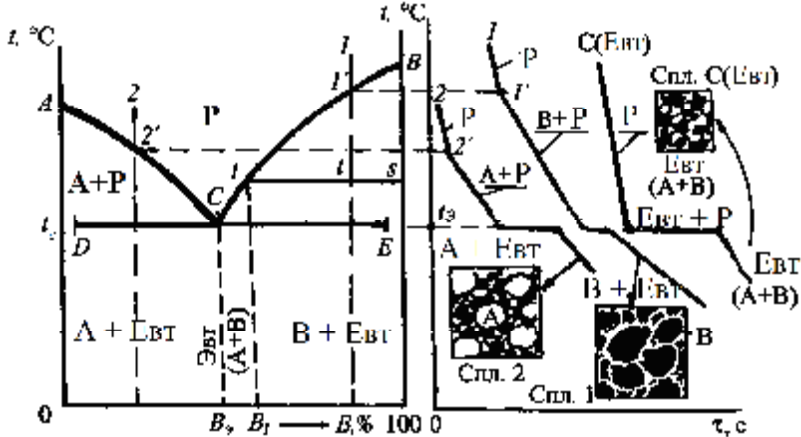


Рис. 9.2. Фазова діаграма I роду

При термодинамічній взаємодії між компонентами сплаву знижується температура переходу в рідкий стан, яка досягає мінімуму в точці С. Сплав двох компонентів, який плавиться за мінімальної температури, називається **евтектикою** – рівномірною сумішшю одночасно кристалізувавшихся зерен обох компонентів. **Евтектична температура** t_e – температура, за якої одночасно плавляться або кристалізуються обидва компоненти сплаву. В залежності від складу всі сплави поділяються на доевтектичні (вміст компоненту А є надлишковим) і заевтектичними (надлишковим є вміст компоненту В).

На діаграмі температури, вище яких сплави знаходяться в рідкому стані, лежать на лінії ліквідусу ACB . Перехід з рідкого стану в твердий відбувається між лінією ліквідусу і лінією солідусу DCE , причому спочатку в тверду фазу переходить компонент, вміст якого перевищує евтектичну концентрацію. При температурах, нижчих за лінію солідусу, сплав складається із зерен обох компонентів $A + B$.

Кількісні зміни в сплавах визначають по діаграмі стану за правилом відрізків. Так, маса твердої фази довільного сплаву l за даної температури визначається довжиною відрізка lt , а рідкої – ts , причому тверда фаза на 100 відсотків складається з компоненту C .

При фазових перетвореннях спостерігається термічний ефект – виділяється або поглинається тепло, тому на кривих охолодження з'являються зупинки (фазове перетворення відбувається за постійної температури) або точки перегину (фазове перетворення відбувається в інтервалі температур).

Діаграми II роду – охоплюють сплави, компоненти яких необмежено розчиняються один в одному в твердому стані.

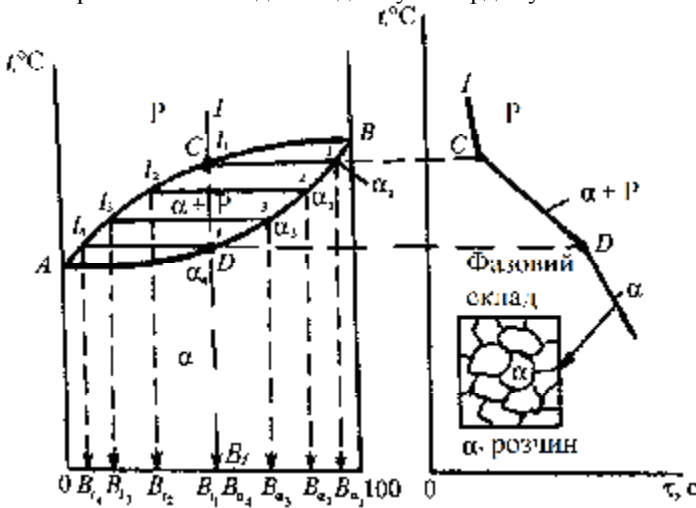


Рис. 9.3. Фазова діаграма II роду: а – характер кристалізації сплавів, б – схема їх фазової будови

На діаграмі II роду (рис. 9.3) мають місце три фазові області:
 - область рідкої фази P над лінією ліквідусу ACB ;
 - двофазна область $\alpha + P$ між лініями ліквідусу і солідусу. Фаза α є твердим розчином компонентів A і B із спільною кристалічною ґраткою;

- область фази α , розташована під лінією солідуса.

У випадку прискореного охолодження сплаву при кристалізації не встигають завершитися дифузійні процеси. У зв'язку з цим центральна частина кожного зерна стає збагачена більш тугоплавким компонентом B , а периферійна частина – легкоплавким компонентом A . Це явище носить назву дендритної ліквідації, яка погіршує механічні властивості сплавів. Її уникнення можливе за рахунок повільного охолодження сплаву, що забезпечує рівноважну кристалізацію.

Діаграми III роду – охоплюють сплави, компоненти яких мають обмежену розчинність компонентів.

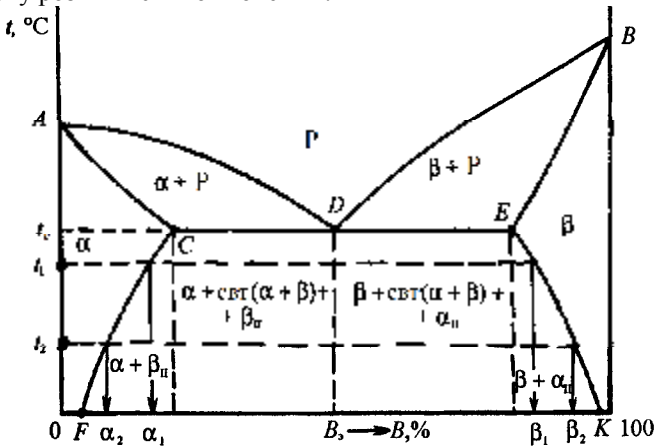


Рис. 9.3. Фазова діаграма III роду

На даній діаграмі представлені: рідка фаза P , що знаходиться вище лінії ліквідусу; дві області $\alpha + P$ і $\beta + P$ між лініями ліквідусу і солідуса; дві області обмежених твердих розчинів α і β нижче відрізків AC і BE лінії солідуса; двофазна область $\alpha + \beta$ $CEKF$.

Фаза α є твердим розчином компонента B в A , а фаза β є твердим розчином компонента A в B , причому взаємна розчинність компонентів залежить від температури. Цю залежність показують криві CF і EK .

У структурно-фазовому складі сплавів важливе місце займає евтектика, яка являє собою суміш дрібнозернистих фаз α і β і кристалізується за найменшої температури на лінії CE . Нижче даної лінії знаходиться область двофазних сплавів – доевтектичних і заквтектичних. Структура доевтектичних сплавів складається з первинних зерен α -фази, рівномірно розташованих в евтектиці E ($\alpha + \beta$), і зерен вторинної β_{II} -фази, що виділилися з твердої фази α при

зниженні температури. Заевтектичні сплави відповідно складаються з первинної β -фази, евтектики і зерен вторинної фази α_{II} .

Діаграми IV роду – відносяться до випадку, коли компоненти при певному співвідношенні A_mB_n утворюють хімічну сполуку, яка не дисоціює до самої температури плавлення.

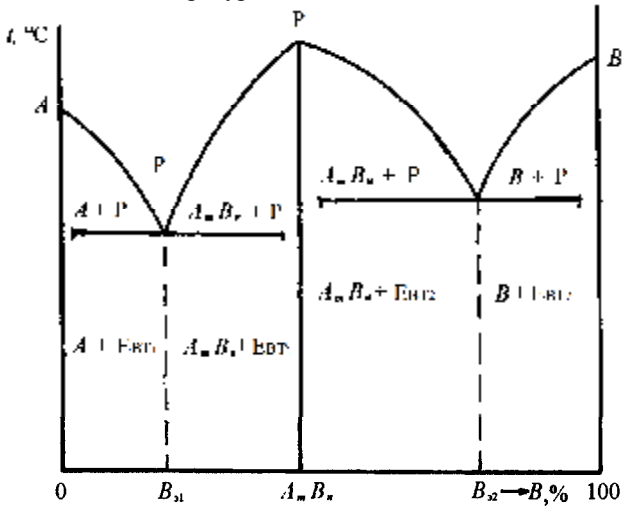


Рис. 9.4. Фазова діаграма IV роду

Сполука A_mB_n при сплавленні з компонентами A і B в залежності від природи останніх може утворювати різні по характеру системи. Фазовий склад даної системи в твердому стані завжди є сумішню хімічної сполуки та одного з вихідних компонентів (рис. 9.4).

Особливістю фазових перетворень є те, що вони протікають з виділенням або поглинанням теплоти. Фазові перетворення I роду (плавлення і кристалізація) супроводжуються значними тепловими ефектами, про що свідчить характер залежності температури речовини від часу нагріву (охолодження). Фазові перетворення II роду мають значно менший тепловий ефект, що ускладнює проведення термічного аналізу. Серед них підвищеним тепловим ефектом характеризуються алотропічні та евтектоїдні перетворення структури. Якщо дані перетворення протікають з поглинанням теплоти (ендотермічно), то на термограмі має місце зменшення швидкості нагрівання; при екзотермічних реакціях сповільнення має місце на кривих охолодження. Горизонтальна ділянка на термограмі вказує на те, що перетворення йде за постійної температури, а наявність точок перегину – перетворення структури в інтервалі температур.

Опис лабораторної установки

Експериментальна побудова діаграм стану зводиться до визначення температур критичних точок – температур алотропічних перетворень (фазових переходів II роду). В даній лабораторній роботі для побудови діаграм використовується **термічний метод**. Лабораторна установка, схема якої показана на рис. 9.5, складається з муфельної печі 2, що живиться від автотрансформатора 1 або напряму від електричної мережі. Вимірювання температури відбувається за допомогою термомпари 4, що знаходиться в контакті з досліджуваним тілом 3.

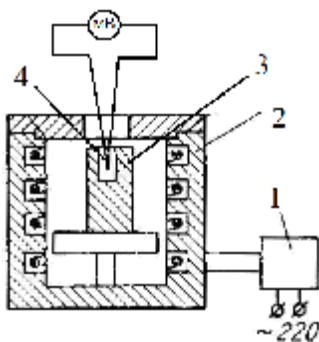


Рис. 9.5. Схема лабораторної установки

При визначенні температури фазового переходу I роду матеріал встановлюють в тигель та доводять до плавлення. Туди ж вводять гарячий спай термомпари, ізольований від контакту з матеріалом, що плавиться. Під час визначення перетворень в твердому стані необхідно уникнути впливу нагрівачів. Для цього в середині зразка просвердлюють отвір, в який вставляють гарячий спай термомпари, що дозволяє вимірювати дійсну температуру досліджуваного зразка. Холодний спай вказаної термомпари виводять до мілівольметра, виміри з якого записують через однакові проміжки часу.

Порядок виконання роботи

Градування термомпари

1. Записати температуру навколишнього повітря в лабораторії.
2. Встановити гарячий спай термомпари всередину муфельної печі, після чого увімкнути піч на максимальну швидкість нагріву.
3. За електричним термометром проводити дослідження температури в печі через кожні 40°C починаючи із 80°C і до 400°C.
4. Для кожної контрольної точки записувати по мілівольметру значення термо-ЕРС в термомпарі. Результати занести в табл. 10.1.

Таблиця 10.1

Результати градування термомпари

Температура в пічі, °С	80	120	160	200	240	...	400
Температура вільних кінців, °С							
Термо-ЕРС, мВ							

Визначення температури фазового переходу I роду

1. В сталевий (фарфоровий або кварцовий) тигель помістити досліджуваний матеріал масою не менше 150 г, що необхідно для якісного виявлення критичних точок.
2. Тигель встановити всередину муфельної печі та увімкнути режим нагрівання з найбільшою силою струму (положення 8).
3. Нагріти матеріал до температури, що на 50 - 65°C перевищує його температуру плавлення.
4. Після розплавлення матеріалу встановити в нього термопару, надійно ізольовану від контакту з рідким металом за допомогою кварцової трубки.
5. Для забезпечення низької швидкості охолодження піч не вимикати, а встановити найменшу можливу силу струму (положення 1).
6. З моменту початку охолодження записувати свідчення мілівольметра через кожні 30 с до завершення процесу кристалізації і протягом ще 3 хвилин охолодження твердої речовини.
7. Результати вимірів оформити графічно у вигляді кривих у координатах температура – час.
8. За графіком визначити температуру фазового переходу.

Визначення температур фазових переходів II роду

1. В центрі зразку свердлуванням виконати отвір на третину товщини, в який встановити гарячий спай термопари.
2. Зразок встановити всередину муфельної печі та увімкнути режим нагрівання з найбільшою силою струму (положення 8).
3. З моменту початку нагріву записувати свідчення мілівольметра через кожні 30 с, нагрівання проводити до температури на 30 - 45°C нижчої від температури плавлення.
4. Результати вимірів оформити графічно у вигляді кривих у координатах температура – час.
5. За характерними ділянками графіку визначити температури алотропічних перетворень матеріалу.

Контрольні запитання

1. Що називається фазовим переходом?
2. Які типи фазових переходів вам відомі?
3. За якими ознаками можна визначити протікання фазового переходу?
4. Що називають алотропним перетворенням?
5. Для якого з типів вазового перетворення характерний більший тепловий ефект?
6. Як поводить себе теплоємність матеріалу під час фазових переходів I і II роду?

Лабораторна робота № 11 ВИВЧЕННЯ МІКРОСТРУКТУРИ ВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ В СТАНІ РІВНОВАГИ

Мета роботи: вивчити будову і властивості вуглецевих сталей, засвоїти методику визначення вмісту вуглецю по мікроструктурі матеріалу.

Теоретична частина

Основою для вивчення структури вуглецевих сталей в стані рівноваги є діаграма залізо-вуглець (рис. 11.1).

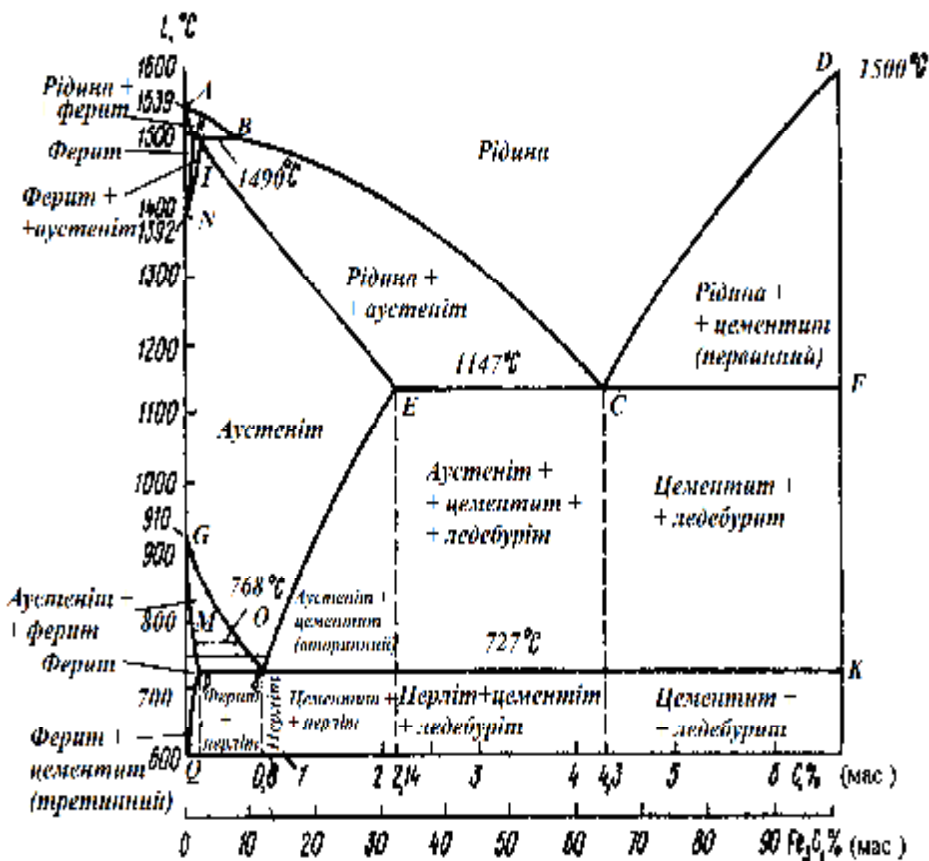


Рис. 11.1. Діаграма стану Fe – C.

Основними структурними складовими сталі є ферит, аустеніт, цементит і перліт, а умови утворення тих чи інших структур при зміні температури визначають саме за діаграмою.

Ферит – твердий розчин втілення вуглецю в залізо, яке має ОЦК гратку (Fe_α). При кімнатній температурі його можна вважати технічно чистим залізом, оскільки вуглець майже не розчиняється в залізі. Під мікроскопом має вигляд світлих зерен з темними границями, є м'яким і пластичним.

Аустеніт – твердий розчин втілення вуглецю в залізо, яке має ГЦК гратку (Fe_γ). Максимальна розчинність вуглецю в Fe_γ складає 2,14% при температурі 1147°C. Зі зниженням температури розчинність падає і становить 0,8% при 727°C. Під мікроскопом має вигляд світлих зерен з характерними подвійними лініями, він твердіший за ферит, проте також пластичний.

Цементит – карбід заліза Fe_3C із вмістом вуглецю 6,67%. Він крихкий, має високу твердість, буває первинний (кристалізується з рідкого розплаву), вторинний (випадає з аустеніту) та третинний (випадає з фериту). Під мікроскопом має вигляд світлих стрічок, голок, зерен або сітки.

Перліт – евтектоїдна суміш фериту і цементиту, яка містить 0,8% вуглецю і утворюється в процесі розпаду аустеніту при 727°C. В залежності від форми цементиту перліт може мати пластинчасту або зернисту будову, причому твердість збільшується при збільшенні дисперсності. Під мікроскопом зерна пластинчатого перліту мають сірий колір.

Вміст вуглецю на діаграмі $Fe - C$ обмежується 6,67%, оскільки за такої концентрації утворюється цементит Fe_3C , який є компонентом даної діаграми. При температурі 1539°C плавиться чисте залізо, при температурі 1500°C – цементит, а точки N (1392°C) і G (1539°C) – поліморфні перетворення α -заліза у γ -залізо і навпаки.

Лінія ліквідусу – лінія $ABCD$ на діаграмі, над якою матеріал знаходиться в рідкій фазі. Фізичні процеси, що відповідають ділянкам лінії ліквідусу:

- лінія AB вказує температури кристалізації δ -фериту з рідкого сплаву;
- лінія BC вказує температури кристалізації аустеніту з рідкого сплаву;
- лінія CD вказує температури кристалізації первинного цементиту з рідкого сплаву;

Лінія солідуса – лінія $ANIECF$ на діаграмі, під якою матеріал знаходиться в твердій фазі. Фізичні процеси, що відповідають ділянкам лінії солідуса:

- лінія AH є температурною границею області рідкого сплаву і кристалів δ -фериту;
- лінія ECF кристалізація з рідкої фази ледебуриту – евтектики.

В системі $Fe - C$ мають місце дві великі групи сплавів чорних металів: сталі (вміст вуглецю до 2,14%) та чавуни. Сталь, що містить 0,8 % вуглецю називають евтектоїдною (рис. 11.2, в), менше 0,8 % вуглецю – доевтектоїдною (рис. 11.2, б), від 0,8 до 2,14 % вуглецю – заевтектоїдною (рис. 11.2, г). Точка S – евтектоїдна точка.

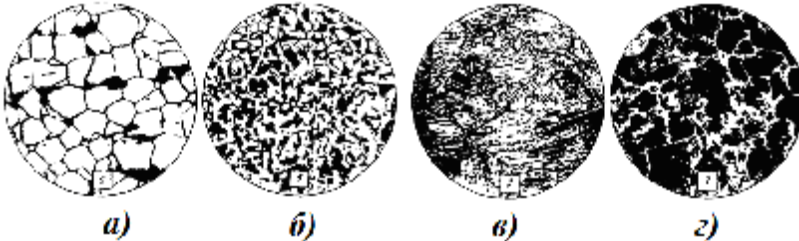


Рис. 11.2. Мікроструктури сталей із різним вмістом вуглецю: а) – аустеніт, б) – доевтектоїдна, в) – евтектоїдна (перлітна), г) – заевтектоїдна.

По мікроструктурі з достатньою точністю можна визначити вміст вуглецю у вуглецевих сталях, які знаходяться у зрівноваженому стані. З достатнім ступенем точності можна вважати, що вуглець не розчиняється в фериті, тому весь він знаходиться в перліті. Значить по співвідношенню даних структурних елементів можна визначити вміст вуглецю для доевтектоїдних сталей по формулі

$$\% C = \frac{0,8n}{100}, \quad (11.1)$$

де n – площа, зайнята перлітом, у відсотках від загальної площі зору.

Для заевтектоїдної сталі вміст вуглецю можна визначити по формулі

$$\% C = \frac{0,8n}{100} + \frac{6,67Ц}{100}, \quad (11.2)$$

де $Ц$ – площа цементиту у відсотках від загальної площі зору.

Для визначення вмісту окремих структурних складових в сталі можна скористатися методом довжин. Суть методу полягає у тому, що площа окремої структурної групи пропорційна сумарній довжині хорд x_i відбитків даної структурної складової на базовій прямій довжини l , проведеної у видимій області мікроструктури.

$$S = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_i}{l}. \quad (11.3)$$

Зазвичай виконують 3 – 5 вимірів для підвищення точності.

Опис лабораторної установки

В лабораторній роботі використовується металографічний мікроскоп МИМ-7, будова і принцип дії якого детально розглянуті в лабораторній роботі № 7. В комплекті використовується прилад для виміру розмірів зерен, його опис і методика виміру наведені в лабораторній роботі № 8.

Порядок виконання роботи

1. Отримати у викладача об'єкти в окуляр для дослідження, визначити загальне збільшення мікроскопа.
2. Встановити досліджуваний зразок на предметний столик і за допомогою мікрометричних гвинтів 4 і 14 добитися його чіткого зображення.
3. За характером мікроструктури по рис. 11.2 визначити тип сталі.
4. Замалювати досліджувану мікроструктуру у звіт з лабораторної роботи, вказавши розміри показаної ділянки в горизонтальному і вертикальному напрямках.
5. За допомогою метода довжин визначити вміст вуглецю у відсотках в сталі, що досліджується по формулі (11.1) або (11.2).
6. Замалювати ділянку діаграми залізо-вуглець, яка відноситься до сталі, провести вертикальну лінію, що відповідають досліджуваному сплаву.
7. Побудувати криві охолодження даного сплаву та надати опис процесів, що відбуваються при його охолодженні.

Контрольні запитання

1. Чому сплави заліза з вуглецем поділяють на сталі та чавуни?
2. Який склад фази характеризує точка I на діаграмі?
3. Чому сталі поділяють на доевтектоїдні та заевтектоїдні?
4. Що називають твердим розчином втілення?
5. Який стан сплаву називають рівноважним?
6. Що показують на діаграмі стану лінії ліквідусу і солідусу?

Лабораторна робота № 12
ВИВЧЕННЯ МІКРОСТРУКТУРИ ЧАВУНІВ В СТАНІ
РІВНОВАГИ

Мета роботи: вивчити мікроструктуру чавунів, ознайомитись з теорією їх кристалізації і методами отримання чавунів з різною формою графітних включень, дослідити залежність між умовами отримання чавунів та їх структурою.

Теоретична частина

Чавуни – сплави на основі заліза із вмістом вуглецю від 2,14 до 6,67%. Для них характерні знижена температура плавлення та хороші ливарні властивості, завдяки чому з чавунів виготовляють відливки складної геометричної форми. Основою для вивчення структури чавунів в стані рівноваги є права частина діаграми залізо-вуглець (рис. 12.1).

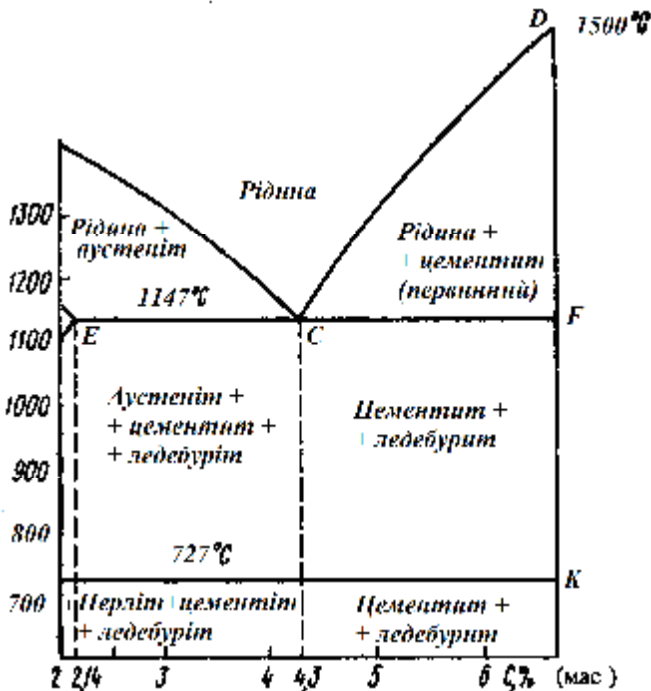


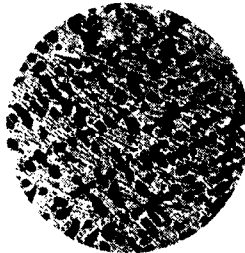
Рис. 12.1. Діаграма стану Fe-C (область чавунів)

В залежності від мікроструктури і форми графіту чавуни поділяються на білі, сірі, високоміцні та ковкі. У білих чавунів увесь вуглець знаходиться у зв'язаному стані у вигляді цементиту. В інших типах чавунів вуглець переважно знаходиться у вільному стані у вигляді графіту.

Білі чавуни – назву отримали через вигляд зламу, що має матово-білий колір. За структурою білі чавуни поділяються на доевтектичні (перліт + ледебурит), які містять 2,14...4,3% вуглецю;



a



б

евтектичні (ледебурит); та заевтектичні (первинний цементит + ледебурит), які містять 4,3...6,67% вуглецю. Структура білих чавунів показана на рис. 12.2.

Рис. 12.2. Мікроструктура білих чавунів: *a* – білий заевтектичний чавун із вмістом вуглецю 5,5%; *б* – білий доевтектичний чавун із вмістом вуглецю 2,5%

Білі чавуни мають велику твердість (НВ 450 – 550) через присутність в них значної кількості цементиту. Через це вони дуже крихкі і не використовуються при виготовленні деталей машин. З білих чавунів шляхом графітизуючого відпалу отримують ковкі чавуни, також вони йдуть на виготовлення відбілених чавунів. Відбілені чавуни мають поверхневий шар (30 мм) білого чавуну, а серцевину – сірого. Вони добре протидіють стиранню, тому з них виготовляють гальмівні колодки, колеса та багато інших деталей, що працюють в умовах інтенсивного зносу.

Сірі чавуни – складаються з металічної основи і графіту у формі пластин. Графіт має набагато гірші механічні властивості, ніж сталь, тому графітові включення можна вважати пустотами, а кількісне співвідношення основи і пустот визначає механічні властивості чавуна. За структурою металічної основи сірі чавуни поділяються на:

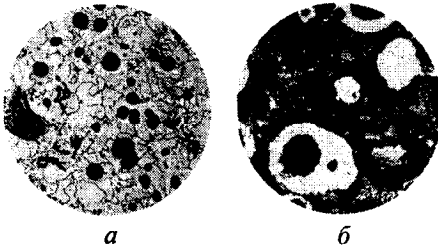
- сірий перлітний чавун із структурою перліт + графіт, кількість зв'язаного вуглецю в якому складає близько 0,8%;
- сірий феритно-перлітний із структурою ферит + перліт + графіт, кількість зв'язаного вуглецю в якому менше 0,8%;
- сірий феритний із структурою ферит + графіт, в якому весь вуглець знаходиться у вигляді графіту (рис. 12.3).



Рис. 12.3. Мікроструктура сірих чавунів: *a* – сірий чавун на перлітній основі; *б* – сірий чавун на феритно-перлітній основі; *в* – сірий чавун на феритній основі

Перлітні чавуни (Сч40, Сч45) використовують при виготовленні станин важких верстатів і механізмів, корпусів насосів і гідроприводів, вони мають високі механічні властивості завдяки подрібненій формі графітних включень. З феритно-перлітних чавунів (Сч20, Сч25) виготовляють деталі, які працюють при підвищених статичних і динамічних навантаженнях – картери двигуна, поршні циліндрів, барабани зчеплення тощо. Феритні чавуни (Сч10, Сч15) використовуються для мало- та середньонавантажених деталей – фланців, маховиків, супортів, гальмівних барабанів.

Високоміцні – чавуни, отримані шляхом модифікації магнієм, в яких графіт має кулясту форму. За структурою металічної основи



бувають феритні, перлітні та феритно-перлітні (рис. 12.4). Феритний чавун складається з фериту, кулястого графіту і близько 20% перліту. Перлітний чавун має в своєму складі перліт, кулястий графіт і близько 20% фериту.

Рис. 12.4. Мікроструктура високоміцних чавунів: *a* – високоміцний чавун на феритній основі; *б* – високоміцний чавун на феритно-перлітній основі

Куляста форма графіту є меншим концентратором напружень, ніж пластинчаста, тому менше впливає на механічні властивості металеві основи. Це забезпечує високоміцним чавунам високі механічні характеристики та деяку пластичність.

З високоміцних чавунів виготовляють обладнання прокатних станів, пресове обладнання, корпуси турбін, колінчасті вали та інші деталі, що працюють в умовах циклічних навантажень та інтенсивного

зносу. Для покращення механічних характеристик іноді використовують термічну обробку – гартування та відпуск при температурі 500 - 600°C, а для збільшення пластичності – відпал.

Ковккі – чавуни, отримані шляхом спеціального графітузуючого відпалу, в яких графіт має пластинчасту форму. За своїми механічними і технологічними властивостями вони займають проміжне місце між сталями і сірими чавунами.

За структурою ковккі чавуни бувають феритними, перлітними та феритно-перлітними (рис. 12.5).

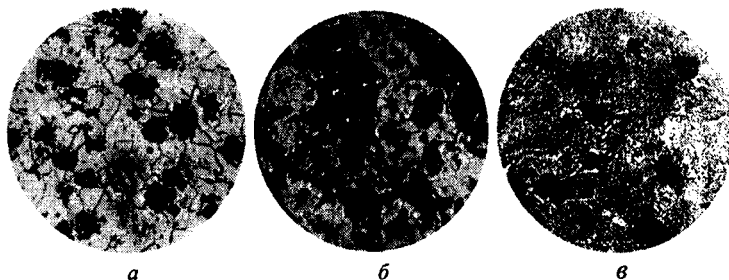


Рис. 12.5. Мікроструктура ковких чавунів: *а* – феритний ковкий чавун; *б* – феритно-перлітний ковкий чавун; *в* – перлітний ковкий чавун

Повна відсутність ливарних напружень, які знімаються тривалим відпалом, зумовлює високі механічні властивості ковких чавунів, причому перлітні чавуни є більш міцними, а феритні – більш пластичними.

Ковккі чавуни широко використовуються в автомобільному та сільськогосподарському машинобудуванні, текстильному виробництві, при виготовленні вагонів, дизельних двигунів і суден. Такий чавун іде на виготовлення деталей високої міцності, що працюють в умовах сильного тертя, ударних та змінних навантажень. Велика густина відливок дозволяє виготовляти з них деталі водопровідного та газопровідного обладнання. До недоліків ковких чавунів слід віднести високу вартість через тривалий відпал.

Опис лабораторної установки

В лабораторній роботі використовується металографічний мікроскоп МИМ-7, будова і принцип дії якого детально розглянуті в лабораторній роботі № 7. В комплекті використовується прилад для виміру розмірів зерен, його опис і методика виміру наведені в лабораторній роботі № 8.

Порядок виконання роботи

1. Налаштувати освітлювану систему мікроскопа МІМ-7 за допомогою світлофільтрів та діафрагми, підібрати необхідне збільшення.
2. Встановити на предметний столик мікрошліф таким чином, щоб площина мікрошліфа була перпендикулярна до оптичної осі, після чого зафіксувати мікрошліф за допомогою утримувачів.
3. Провести наведення на фокус шляхом підймання або опускання предметного столика або тубуса з об'єктивом.
4. Дослідити мікроструктури зразків чавунів, отриманих у викладача, кожен мікроструктуру замалювати у вигляді кола діаметром 50 мм або у квадраті розміру 60×60 мм.
5. Під кожною замальованою мікроструктурою вказати ступінь збільшення і марку чавуну.
6. На кожній мікроструктурі стрілками показати наявні фази і структурні складові.
7. Накреслити частину діаграми залізо – цементит, що відповідає чавунам, провести на ній лінії, що відповідають досліджуваним сплавам, детально описати перетворення, що мають місце при охолодженні даного сплаву.

Контрольні запитання

1. Назвіть фази, що утворюються в системі $Fe - Fe_3C$, та опишіть їх головні властивості.
2. Наведіть класифікацію чавунів, стисло охарактеризуйте кожен з них.
3. Який з видів чавунів безпосередньо не використовується для виготовлення деталей машин і з яких причин?
4. В яких формах графіт може знаходитись у чавунах?
5. Проведіть порівняльний аналіз фізико-механічних властивостей чавунів і сталей?
6. Чому сірка, фосфор, кисень і водень відносяться до шкідливих включень?

3 МОДУЛЬ. ТЕРМІЧНА І МЕХАНІЧНА ОБРОБКА

Лабораторна робота № 13 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПЛАСТИЧНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СПЛАВІВ

Мета роботи: дослідити вплив холодної пластичної деформації на структуру та механічні властивості залізвуглецевих сплавів.

Теоретична частина

Одним з найбільш важливих технологічних властивостей металів є їх деформівність – здатність отримувати деформації під дією навантажень.

Деформація – зміна форми та розмірів тіла під впливом зовнішніх або внутрішніх сил. Деформації бувають двох типів:

- пружні – зникають одразу після припинення навантаження зразу;
- пластичні – після зняття навантаження матеріал повністю не відновлює початкову форму.

Пружна деформація не викликає суттєвих остаточних змін структури і властивостей матеріалу. Під дією прикладеного навантаження відбувається лише зворотне зміщення атомів з положень рівноваги, в результаті якого змінюється міжатомна відстань в кристалічній ґратці. Після припинення дії навантаження атоми повертаються в положення рівноваги завдяки силам Ван-дер-Ваальса, тому деформація зникає.

При збільшенні інтенсивності навантаження відбувається зсув або ковзання однієї частини кристалу по іншій, що і є причиною пластичної деформації. На початковій стадії пластичної деформації ковзання відбувається шляхом руху дислокацій в одній системі площин. Цей процес носить назву *стадії легкого ковзання*. При подальшому збільшенні деформації настає *стадія множинного ковзання* – рух дислокацій в двох і більше системах площин. Дислокації рухаються в площинах, що перехрещуються, тому опір їх руху суттєво збільшується.

В залежності від умов, при яких протікає деформування металу, розрізняють холодну і гарячу пластичні деформації. Фізичною границею між ними є температура рекристалізації

$$T_{рек} = aT_{пл}, \quad (13.1)$$

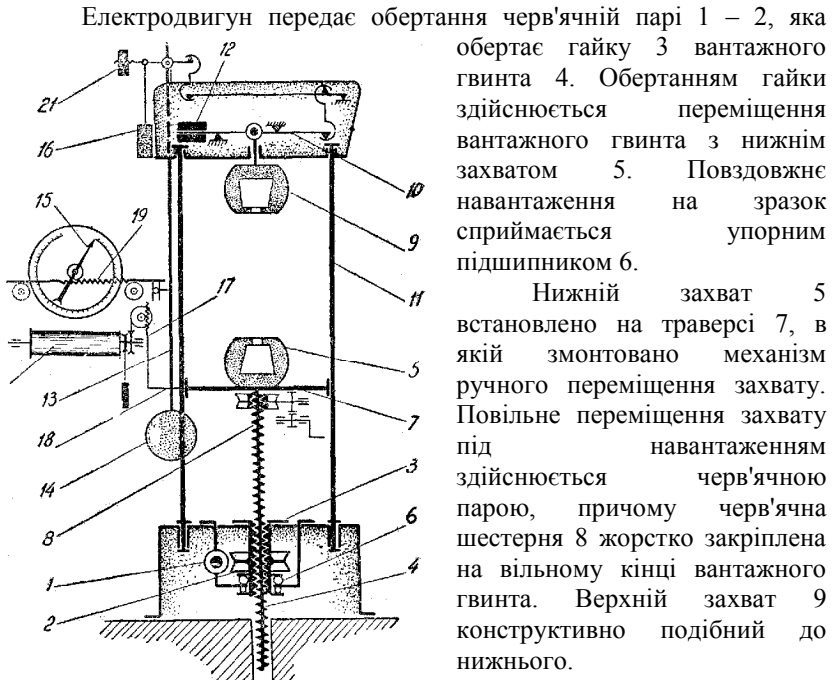
де $T_{пл}$ – температура плавлення матеріалу; a – параметр, що залежить від чистоти металу та ступеню пластичної деформації. Для металів технічної чистоти $a = 0,3...0,4$; для сплавів $a = 0,5...0,6$.

Холодна пластична деформація проводиться при температурах, нижчих від температури рекристалізації. В результаті процесів ковзання атомних площин зерна змінюють свою форму і розміри. З ростом величини деформації виникає кристалографічна орієнтація зерен – текстура деформації, яка призводить до виникнення анізотропії механічних та фізичних властивостей. За такої деформації покращуються характеристики міцності матеріалів, проте погіршуються характеристики пластичності.

Гаряча пластична деформація має місце при температурах, вищих за температуру рекристалізації. Зміцнення, викликане холодною деформацією, знімається процесами рекристалізації, зростає щільність матеріалу, заварюються вади злитків.

Опис лабораторної установки

Холодне деформування зразків проводиться на універсальній машині УМ-5 (рис. 13.1), призначеній для визначення механічних властивостей матеріалів.



Електродвигун передає обертання черв'ячній парі 1 – 2, яка обертає гайку 3 вантажного гвинта 4. Обертанням гайки здійснюється переміщення вантажного гвинта з нижнім захватом 5. Повздовжнє навантаження на зразок сприймається упорним підшипником 6.

Нижній захват 5 встановлено на траверсі 7, в якій змонтовано механізм ручного переміщення захвату. Повільне переміщення захвату під навантаженням здійснюється черв'ячною парою, причому черв'ячна шестерня 8 жорстко закріплена на вільному кінці вантажного гвинта. Верхній захват 9 конструктивно подібний до нижнього.

Рис. 13.1. Розривна машина УМ – 5

Зусилля стиску передається через верхній захват на головний важіль 10, вмонтований в траверсу, встановлену на двох колонах 11. Для врівноваження верхнього захвату і головного важеля передбачений вантаж 12.

Для випробування різних за міцністю матеріалів передбачено три межі виміру навантаження, зміна яких досягається зміною ваги маятника шляхом підвішування на штангу 13 змінних вантажів 14. Величина навантаження, прикладеного до зразка пропорційна куту відхилення робочої стрілки 15 шкали. Пом'якшення зворотного ходу маятника здійснюється масляним амортизатором 16, змонтованим на верхній траверсі.

Порядок виконання роботи

1. Отримати у викладача зразок для дослідження, виміряти його висоту штангенциркулем.
2. За допомогою динамічного твердоміра ТД-1, зображеного на рис. 5.1, виміряти твердість зразку в недеформованому стані.
3. Встановити зразок між захватами машини у піддати стиску до зменшення висоти на 25 – 30%.
4. Визначити твердість матеріалу після деформації.
5. Відносну деформацію зразку визначити по формулі

$$\varepsilon = \frac{h_0 - h_1}{h_0}, \quad (13.2)$$

де h_0 – висота до деформації; h_1 – висота після деформації.

6. Знову встановити зразок в захвати розривної машини, деформувати його ще на 40 – 50%, після чого повторити пункти 5 – 6. Результати вимірів і розрахунків занести до табл. 13.1.

Таблиця 13.1

Висота зразку	Ступінь деформації	Твердість НВ
h_0		
h_1		
h_2		

7. За отриманими результатами побудувати графік в координатах *твердість НВ – ступінь деформації*.

Контрольні запитання

1. Які види деформацій ви знаєте?
2. В чому причина виникнення пластичних деформацій?
3. Як впливають пластичні деформації на механічні властивості сталей?

Лабораторна робота № 14 ГРАДУЮВАННЯ ТЕРМОПАРИ

Мета роботи: знайомство з принципом дії термоелектричного термометра, відпрацювання практичних навичок градуювання термопар.

Теоретична частина

Термопари застосовуються для виміру температур у діапазоні $-200...2500^{\circ}\text{C}$ в різних областях техніки та наукових досліджень, оскільки вони мають досить високу точність і дозволяють вимірювати температуру у важкодоступних місцях. В матеріалознавстві термопари широко використовують при проведенні термічної обробки металів, ними вимірюють температуру в муфельній печі.

В основу термоелектричного методу виміру температури покладений *ефект Зеебека*, суть якого в тому, що в замкнутому ланцюзі, складеному з двох різних і однорідних провідників, спаї яких поміщені в середовища з різними температурами, виникає термоелектрорушійна сила (термо-ЕРС), пропорційна різниці температур спаїв.

Якщо взяти ланцюг (рис. 14.1), складений з однорідних по довжині провідників A і B (наприклад, міді та платини), то при нагріванні спаю 1 у ланцюзі з'явиться електричний струм. При нагріванні спаю 2 струм одержує зворотний напрям. Такі струми називаються термоелектричними. Електрорушійна сила, обумовлена різними температурами місць з'єднання 1 і 2, називається термоелектрорушійною силою, а сам прилад термоелектричним термометром або термопарою.

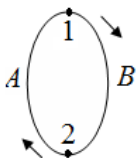


Рис. 14.1. Будова термоелектричного термометра.

Механізм виникнення термо-ЕРС можна пояснити за допомогою електронної теорії, що вказує на наявність у металах вільних електронів. У різних металах концентрація вільних електронів різна. Внаслідок цього в місцях контакту двох різнорідних металів, наприклад, у спаї 1, електрони будуть переходити з металу A в метал B у більшій кількості, ніж з металу B у метал A . При цьому в місці з'єднання виникає електричне поле, яке буде перешкоджати дифузії; коли швидкість дифузійного поля стане постійної, наступить стан рухомої рівноваги. При такому стані між металами A і B виникає контактна термо-ЕРС, значення і знак якої залежать від природи металів A і B , а також від різниці температур місць їх контакту.

Для виміру термо-ЕРС термоелектричного термометра в його ланцюг необхідно включити вимірювальний прилад, для чого холодний спай розривають і за допомогою підключають мілівольтметр.

Для виготовлення термопар можуть бути використані різні матеріали, які мають бути легкими в обробці (протяжці), дозволяти отримувати однакові по чистоті та структурі сплави, мати низьку вартість і стійкість при робочих температурах.

Для виготовлення термопар служить дріт діаметром 0,1...3,2 мм (СТ СЕВ 1059-78. Термометри термоелектричні робочі.), а в лабораторних установках найчастіше використовують дріт діаметром 0,5 мм. Застосування дротів діаметром менш 0,2 мм небажане через зниження точності виміру температури. Застосування дротів з діаметром більше 1,5 мм теж впливає на точність виміру через збільшення відводу теплоти у навколишнє середовище. Найбільше практичне застосування отримали термопари, наведені в *Додатку 8*.

При вимірі температури холодний спай термопари перебуває при 0°C (у льоді посудини Дюара), а гарячий – у середовищі, температуру якого потрібно виміряти. Таблиці стандартних термопар складені саме для випадку, коли холодний спай перебуває при 0°C. Якщо за якимись причинами не вдається помістити холодний спай у середовище з температурою 0°C, і він перебуває, наприклад, при кімнатній температурі, то виникаюча термо-ЕРС пропорційна різниці температур гарячого й холодного спаїв. Тому потрібно ввести так зване виправлення на холодний спай. Для цього необхідно обмірювану термо-ЕРС скласти з термо-ЕРС, що відповідає температурі холодного спаю, і за отриманим значенням визначити температуру за допомогою таблиць.

Градування (тарування) термопар полягає в знятті залежності термо-ЕРС від температури її робочого кінця (вільний кінець перебуває при температурі 0°C) або від різниці температур спаїв (вільний кінець перебуває за кімнатної температури). В даній лабораторній роботі застосовується саме другий варіант.

Опис лабораторної установки

Лабораторна установка складається з муфельної електропечі, в яку поміщена досліджувана термопара. Конструкція і принцип дії печі детально розглянуто в лабораторних роботах 15 – 16. Холодний спай термопари розірваний, в його ланцюг увімкнено мілівольтметр для виміру термо-ЕРС. Температура всередині печі фіксується електричним термометром, підключеним до неї.

Порядок виконання роботи

1. Перевірити надійність з'єднання корпусу печі з землею і підключити термопару до мілівольтметру.
2. Включити електропіч на максимальну швидкість нагріву, виміряти рідинно-скляним термометром температуру в лабораторії.
3. По мірі нагрівання печі починаючи з 100°C через кожні 20°C фіксувати термо-ЕРС термопари, що градується. Вимірювання проводити до максимальної температури нагріву муфельної печі.
4. Результати вимірів занести в табл. 14.1, градуїрочна таблиця буде використана при наступних лабораторних роботах.
5. Побудувати градуїрочну криву, відклавши по осі абсцис температуру в К, а по осі ординат - термо-ЕРС термопари, що градується, в мілівольтах.

Таблиця 7

		100	120	140	160	180	200	...
1	Температура в електропечі, °С							
2	Температура вільних кінців термопари, °С							
3	Різниця температур спаїв термопари, К							
4	ЕРС досліджуваної термопари під час досвіду, мВ							

Контрольні запитання

1. В чому полягає суть ефекту Зеєбека?
2. Яка будова і принцип дії термоелектричного термометра?
3. Які умови мають виконуватись для виникнення термо-ЕРС?
4. Які види термопар отримали найбільше поширення?
5. Назвіть область застосування термоелектричних термометрів.
6. Назвіть вимоги до матеріалів термоелектричних термометрів.
7. Яким чином мають бути з'єднані електроди термопари у спай?

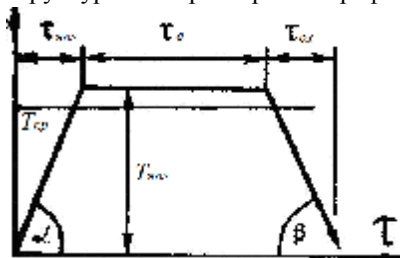
Лабораторна робота № 15 ВИВЧЕННЯ МЕТОДІВ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ СТАЛЕЙ

Мета роботи: визначення критичних точок A_{C1} і A_{C3} доевтектичних сталей методом пробних гартувань.

Теоретична частина

Фізико-механічні властивості металів і сплавів зазвичай не задовольняють умовам виготовлення чи експлуатації конкретної деталі, тому для їх покращення застосовують методи термічної обробки.

Термічна обробка – сукупність послідовних технологічних процесів нагрівання, витримки і охолодження металевих виробів з метою зміни їх фізико-механічних властивостей шляхом керованих структурних перетворень. Графічно режим термічної обробки може



бути представлений в координатах «температура – час» (рис. 15.1).

Рис. 15.1. Графік процесу термічної обробки: $\tau_{наг}$ – час нагрівання, $\tau_в$ – час витримки, $\tau_{ох}$ – час охолодження, $T_{кр}$ – критична температура, $T_{нал}$ – температура нагрівання

Процес термічної обробки може складатись з декількох нагрівань, перерваного або ступінчастого нагрівання, охолодження до мінусових температур. Всі види термічної обробки в залежності від характеру впливу на властивості сплавів поділяють на чотири групи:

- **відпалі I роду** без фазових перетворень. Використовуються для приведення матеріалу в більш рівноважний стан з менш рівноважного, викликаного холодним деформуванням, нерівномірною пружною деформацією при навантаженні, неоднорідністю зернового складу, тощо;

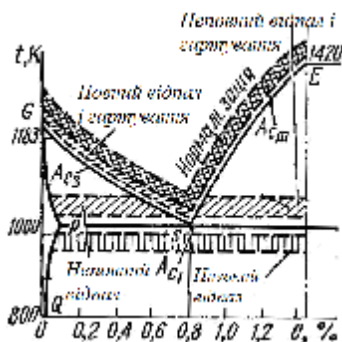
- **відпалі II роду** під час яких відбувається фазова перекристалізація. Для цього матеріал нагрівається вище певної критичної температури, після чого повільно охолоджується, що призводить до утворення рівноважного і стабільного стану. **Повний відпал** являє собою нагрів сталі на 20...30 К вище температури A_{C3} , витримку при даній температурі та повільне охолодження. При **неповному відпалі** сталь нагрівається на 20...30 К вище температури A_{C1} , але не вище A_{C3} , витримується при даній температурі, після чого повільно охолоджується. При **ізотермічному відпалі** після нагрівання до певної температури і витримці матеріал швидко охолоджують до

температури, що лежить на 50...70 К нижче критичної точки A_{r1} . Дифузійний відпал (гомогенізація) застосовують для хімічно неоднорідних сталей, він полягає у нагріві сталі на 100...200 К вище температури A_{c3} , тривалій витримці при даній температурі та повільному охолодженні;

- **гартування** – нагрів матеріалу вище певної критичної температури з подальшим швидким охолодженням, за час якого не встигає пройти зворотне фазове перетворення. Отримана при гартуванні структура є зафіксованим високотемпературним станом, нерівноважним і нестійким;

- **відпуски** – види термообробки, в результаті проведення яких в загартованих сплавах повністю або частково знімається нерівноважність. Відпуск при кімнатній температурі називають старінням.

Низький відпуск отримують при нагріванні виробів до температур 470...570 К, середній відпуск – 570...770 К, високий відпуск – 770...900 К. Низькому відпуску піддається вимірвальний інструмент, середній застосовується для отримання твердості разом з високою ударною в'язкістю для пружин, ресор штампів.



Високий відпуск застосовують у виробках, для яких необхідна одночасно висока міцність і пластичність. Усі розглянуті вище види термічної обробки для наявності можна нанести на нижню частину діаграми «залізо-цементит» (рис. 15.2).

Рис. 15.2. Методи термічної обробки сталі

Нормалізація – нагрів сталі до температур на 30...50 К вище критичних точок A_{c3} і A_{cm} , витримці за даних температур та охолодженні повітрям. Метою нормалізації є отримання дрібнозернистої однорідної структури, що дозволяє досягти високих значень міцності. Рекомендації до температур нормалізації вуглецевих сталей наведено в Додатку 8.

Опис лабораторної установки

Термічна обробка сталі проводиться в муфельній печі, яка має спеціальну посудину (муфель) для захисту оброблюваних матеріалів від прямої дії вогню та продуктів горіння. Піч використовується для нагрівання різних матеріалів до заданих температур, плавлення,

гартування чи іншої термообробки металів, випалювання керамічних, порцелянових, емальованих виробів, спалювання, сушіння. При заповненні робочого простору печі захисним газом, нейтральним до металу можна забезпечити безокисний нагрів.

За *максимальною температурою* нагріву муфельні печі поділяються на помірні (температура нагріву 100°C – 500°C), середні (400°C – 900°C), високі: (400°C – 1400°C) та надвисокі (400°C – 1650°C).

За *типом нагрівання* муфельні печі поділяються на електричні та газові.

За захисним режимом обробки муфельні печі поділяються на повітряні, із захисною газовою атмосферою та вакуумні.

В лабораторній роботі використовується **піч муфельна ПМ- 8**, призначена для термічної обробки металів, кераміки, реактивів і інших матеріалів (рис. 15.3). В ній застосований литий керамічний муфель, що має високу міцність і твердість поверхні. Це виключає осипання внутрішніх стінок муфеля при можливих механічних діях на нього. Завдяки високій теплопровідності муфеля забезпечується рівномірний нагрів внутрішнього об'єму печі ПМ-8.



Рис. 15.3. Муфельна піч ПМ-8

Механізм кріплення дверей печі забезпечує їх самовстановлення при закриванні і зменшує утворення щілин через деформацію корпусу при розігріванні печі. Для охолодження зовнішнього кожуха застосована примусова припливна вентиляція, що дозволяє понизити температуру кожуха до безпечних значень.

Вимірювання температури проводиться за допомогою термопари через спеціальний отвір у дверцятах печі. Вільними кінцями термопари з'єднана з мілівольтметром, градування термопари виконується студентами на початку циклу лабораторних робіт.

Вимірювання твердості зразків проводиться за допомогою динамічного твердоміра ГД-2М, конструкція якого детально розглянута в лабораторній роботі № 5.

Порядок виконання роботи

Гартування зразків

1. Отримати у викладача три зразки для досліджень, торці зразків підготувати до вимірювання твердості.
2. Виміряти діаметри дисків визначити по ГОСТ або з марки сталі вміст вуглецю.

3. По діаграмі «залізо-вуглець» визначити необхідну температуру закалювання, за *Додатками 6 і 7* визначити режими нагрівання та охолодження зразка.
4. Визначити твердість досліджуваного матеріалу до термічної обробки за допомогою динамічного твердоміра ТД-2М. Перевести отримане значення в границю міцності $\sigma_{міц}$ матеріалу по формулі (2.3).
5. Увімкнути піч на максимальну температуру нагрівання і встановити в ній температуру, нижчу на 50...100 К від необхідної.
6. Покласти в піч зразки безпосередньо на гарячий спай термопари, почати відлік часу закалювання.
7. Після закінчення необхідного часу витримки зразка відкрити дверці муфельної печі і сухими щипцями перенести один зразок у ємність із водою, два інші – у ємність з мастилом.
8. Після охолодження зразку провести шліфування його поверхні наждачним папером з подальшим поліруванням постою ГОИ на шліфувальному верстаті.
9. Визначити твердість *НВ* гартованих зразків, отримані результати перевести в границю міцності матеріалу по формулі (2.3).
10. Результати вимірів та характеристики процесу закалювання занести до табл. 15.1.

Таблиця 15.1

Температура гартування	Час нагріву	Охолоджувальне середовище	Границя міцності $\sigma_{міц}$, МПа	
			до гартування	після гартування

11. За отриманими результатами побудувати графік впливу закалювання на механічні властивості сталі.

Відпуск зразків

1. Гартовані зразки покласти в піч, нагріті до температури 470 К і витримати при даній температурі 15 хв.
2. Витягти один із зразків та охолодити його повітрям, два інших нагріті до температури 670 К і витримати їх протягом 10 хв.
3. Витягти ще один зразок і охолодити його повітрям, останній нагріті до температури 870 К і витримати протягом 10 хв та охолодити у воді.
4. Після охолодження зразків провести шліфування їх поверхонь наждачним папером з подальшим поліруванням постою ГОИ на шліфувальному верстаті.
5. Визначити твердість *НВ* зразків після відпуску, отримані результати перевести в границю міцності матеріалу по формулі (2.3).

6. Результати вимірів та характеристики процесу відпуску занести до табл. 15.2.

Таблиця 15.2

Температура відпуску, К	Час нагріву, хв	Час витримки, хв	Механічні характеристики, МПа			
			до відпуску		після відпуску	
			<i>HB</i>	$\sigma_{міц}$	<i>HB</i>	$\sigma_{міц}$

Нормалізація зразків

- Отримати у викладача зразки для досліджень, торці зразків підготувати до вимірювання твердості.
- Визначити твердість *HB* зразків в початковому стані, за результатами вимірів по формулі (2.3) визначити границю міцності.
- За допомогою діаграми «залізо – вуглець» визначити температури нагріву зразків підчас нормалізації.
- За *Додатком 8* визначити необхідну тривалість нормалізації.
- Завантажити зразки в муфельну піч та провести усі необхідні стадії термічної обробки. По закінченні обробки охолодити зразки повітрям.
- Торці зразків підготувати до вимірювання твердості, після чого виміряти твердість зразків після нормалізації. За результатами вимірів по формулі (2.3) визначити границю міцності після нормалізації.
- Результати вимірів та характеристики процесу нормалізації занести до табл. 15.3.

Таблиця 15.3

Температура відпуску, К	Час нагріву, хв	Час витримки, хв	Механічні характеристики, МПа			
			до нормалізації		після нормалізації	
			<i>HB</i>	$\sigma_{міц}$	<i>HB</i>	$\sigma_{міц}$

Контрольні запитання

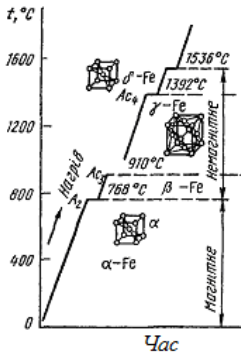
- Назвати види термічної обробки сталей.
- Які види відпалу вам відомі, в яких випадках застосовується кожен з них?
- З якою метою використовується нормалізація сталі?
- Опишіть технологію проведення гартування.
- Якими методами визначають зміну структури і властивостей сталей після термічної обробки?

Лабораторна робота № 16 ВИЗНАЧЕННЯ КРИТИЧНИХ ТОЧОК СТАЛЕЙ МЕТОДОМ ПРОБНИХ ГАРТУВАНЬ

Мета роботи: визначення критичних точок A_{C1} і A_{C3} доєвтектичних сталей методом пробних гартувань.

Теоретична частина

Залізо в твердому стані може знаходитись у двох поліморфних модифікаціях – ОЦК і ГЦК. В інтервалі температур 910...1392°C стабільним є γ -залізо з граткою ГЦК. Нижче 910°C і вище 1392°C має місце α -залізо з ОЦК граткою. Модифікації α - і δ -залізо є однією кристалічною фазою, відрізняються вони лише магнітними властивостями.



Температури, за яких в металах або сплавах відбуваються перетворення структури, називають критичними точками. У заліза таких критичних точок чотири – кожна з них відповідає алотропічним формам (α , β , γ і δ). Крива нагріву заліза фіксує одне магнітне і два поліморфних перетворення. При магнітному перетворенні температура зупинка при 768°C пов'язана із змінами зовнішніх і внутрішніх електронних оболонок, структура матеріалу при цьому не змінюється (рис. 16.1).

Рис. 16.1 Критичні точки заліза

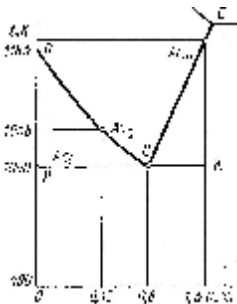
Для визначення критичних точок сталі використовують різні методи досліджень, проте найбільш простим є метод пробних гартувань, який полягає у визначенні твердості зразків сталі, що була піддана термічній обробці різної витримки та подальшому охолодженні у воді.

Гартування сталі полягає в нагріві доєвтектоїдних сталей вище критичної лінії A_{C3} на 30...50°C, а евтектоїдної та заєвтектоїдної сталей – вище критичної лінії A_{C1} , витримці її при даній температурі і подальшому охолодженні зі швидкістю, більшою за критичну, що забезпечить перетворення переохолодженого аустеніту в мартенсит. Мартенсит має дуже високу твердість (HV 6000...6500) і міцність, проте він дуже крихкий.

Визначення точок нагріву розглянемо на прикладі сталі 45. Відсоток вуглецю в даній сталі (0,45%) відкладасмо на горизонтальній осі, після чого з даної точки проводимо вертикаль до перетину з лініями GS , PS і SK . Горизонтальні лінії, проведені з отриманих точок

на вісь температур, дають значення критичних температур для даного сплаву (рис. 16.2). Для визначення необхідної температури закалювання до температури отриманої критичної точки слід додати 30...50°C

$$t_{\text{зак}} = A_{c3} + (30...50^{\circ}\text{C}).$$



Час нагрівання і витримки виробів із сталі залежить від температури нагрівання, форми виробу і теплопровідності матеріалу. Зі збільшенням вмісту вуглецю зменшується теплопровідність сталі, тому швидкість нагрівання теж має бути зменшена. Теж саме відноситься і до легованих сталей.

Рис. 16.2. Визначення критичних температур сталі

Загальний час нагрівання сталі при термічній обробці, який складається з часу прогрівання зразка до заданої температури і часу витримки його при зазначеній температурі, визначають згідно Додатку 6. Чим вища температура нагрівання, тим коротшою має бути витримка.

В залежності від хімічного складу сталі та призначення виробів їх охолодження проводиться з різною швидкістю, яка визначається по Додатку 7.

Регулювання швидкості охолодження реалізується підбором середовищ з різною охолоджувальною здатністю. Для гартування середньовуглецевої сталі використовують воду, для високовуглецевої – мастило. Сталь зі вмістом вуглецю 0,6...1,0% спочатку охолоджують у воді, а потім у мастилі. Найбільш тверда структура – мартенсит – утворюється з аустеніту при швидкому охолодженні сталі у воді.

Швидке охолодження з температури нижче критичної точки A_{c1} не впливає на твердість сталі, оскільки її структура при нагріві та охолодженні не змінюється і мартенситу не утворюється. Різке збільшення твердості відбувається лише при гартуванні сталі, що була нагріта вище критичної точки A_{c1} і потім охолоджена у воді. В цьому випадку під час охолодження утворюється структура мартенсит + ферит. Подальше підвищення температури в інтервалі між точками A_{c1} і A_{c3} призводить до подальшого зростання твердості, оскільки з наближенням до точки A_{c3} різко зменшується кількість фериту.

Здатність сталі гартуватися на певну глибину називається прогартовуваністю, її можна визначати по твердості сталі, по її мікроструктурі або по виду зламу.

Опис лабораторної установки

Для нагрівання сталі в ході лабораторної роботи використовують муфельні печі з максимальною температурою нагрівання 1270 К (рис. 16.3), що дозволяє здійснювати усі основні види термічної обробки сталей.

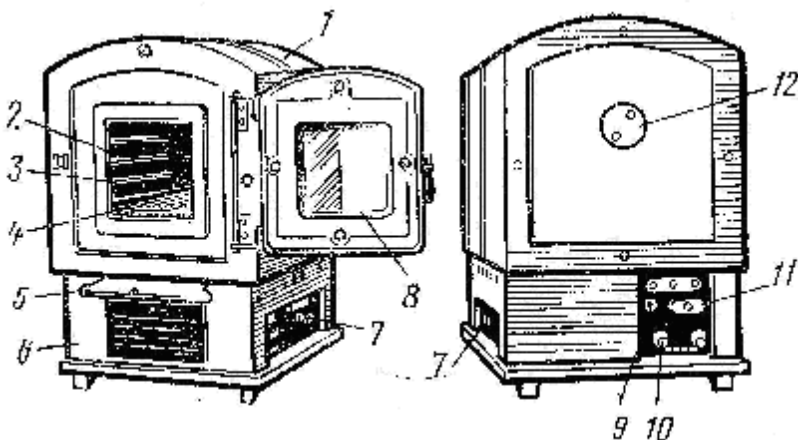


Рис. 16.3. Конструкція муфельної печі: 1 – металевий корпус, 2 – шамотні плити, 3 – нагрівальні спіралі, 4 – керамічна плитка, 5 – столик, 6 – підставка, 7 – пересувна ручка, 8 – керамічні двері, 9 – штепсельні гнізда, 10 – клєми, 11 – вилки, 12 – отвір для встановлення термопар

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись з принципом роботи муфельної печі та принципом визначення температур за допомогою термопар.
2. Отримати у викладача три зразки для досліджень, визначити по ГОСТ або з марки сталі вміст вуглецю.
3. На діаграмі «залізо-вуглець» відкласти вміст вуглецю, після чого графічно визначити необхідну температуру закалювання. За Додатками 6 і 7 визначити режими нагрівання та охолодження зразка.
4. Визначити твердість досліджуваного матеріалу до термічної обробки за допомогою динамічного твердоміра ТД-2М.
5. Увімкнути піч на максимальну температуру нагрівання і встановити в ній необхідну температуру, величина якої контролюється за допомогою градуйованої термопар.
6. Покласти в піч зразки безпосередньо на гарячий спай термопар.
7. Після закінчення часу нагрівання зразка відкрити дверці муфельної печі і сухими щипцями перенести один зразок у ємність із водою.

8. Інтенсивно перемішувати воду зразком для того, щоб збити парову сорочку, що утворюється на його поверхні та сповільнює охолодження.
9. Після охолодження зразку провести шліфування його поверхні наждачним папером з подальшим поліруванням постою ГОІ на шліфувальному верстаті.
10. Визначити твердість *НВ* гартованого зразка.
11. Підняти температуру в печі до наступного обраного значення, витримати зразки необхідний час, після чого для другого зразка повторити пункти 7 – 10 у тій же послідовності.
12. Останній зразок нагріти до третьої контрольної температури, після чого і для нього визначити твердість таким самим чином.
13. Результати вимірів та характеристики процесу закалювання занести до табл. 16.1

Таблиця 16.1

Температура гартування	Час нагріву	Охолоджувальне середовище	Твердість <i>НВ</i>	
			до гартування	після гартування

14. За отриманими результатами побудувати графік в координатах *твердість НВ – температура закалювання* з нанесеними на ньому критичними точками.

Контрольні запитання

1. Від яких параметрів залежить вибір режиму термообробки сталі?
2. Назвіть оптимальну температуру гартування сталі з вмістом вуглецю 1,2%.
3. Які перетворення протікають в сталі при її нагріванні вище критичної точки A_{c1} ?
4. Утворення якої структури зумовлює різке підвищення твердості сталі при закалюванні?
5. Які перетворення структури заліза відбуваються при його охолодженні від температури плавлення?
6. Які поліморфічні форми властиві для заліза, чим викликається їх утворення?
7. Які фактори впливають на тривалість витримки і швидкість охолодження?

Лабораторна робота № 17
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ
ПРОГАРТОВУВАНІСТІ СТАЛЕЙ

Мета роботи: відпрацювати навички визначення прогартуваності вуглецевих сталей способом торцевого нагрівання.

Теоретична частина

В процесі гартування проявляються дві важливі характеристики сталей – загартуваність і прогартуваність.

Загартуваність – здатність сталей отримувати максимальну твердість в процесі гартування. Головним чинником, що впливає на неї, є вміст вуглецю в сталі: його збільшення призводить до зростання твердості. Легуючі елементи суттєвого впливу на дану характеристику не мають.

Прогартуваність – здатність сталей утворювати на певну глибину прогартований шар, що складається з мартенситу або суміші мартенситу з феритом. Прогартуваність визначається хімічним складом сталей і розмірами деталей, також суттєвий вплив має швидкість охолодження. Факторами, які підвищують прогартуваність, є підвищення температури нагрівання і часу витримки перед гартуванням, легування також сприяє її підвищенню. Особливо сприятливим є комплексне легування, коли окремі елементи підсилюють дію одне одного і збільшують ефект прогартуваності.

Для визначення прогартуваності сталей (за виключенням тих, що гартуються на повітрі) використовують стандартний метод торцевого гартування. Стандартний зразок (рис. 17.1), розігрітий до температури гартування в муфельній печі, піддають охолодженню з торця водою. В охолодженому зразку з двох боків по його довжині роблять плоскі поверхні на глибину 0,5 мм, по довжині яких через кожні 3 мм вимірюють твердість зразка в одиницях *HRC*.

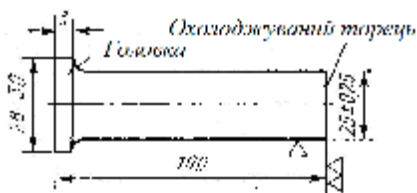


Рис. 17.1. Зразок для визначення прогартуваності

На базі даних вимірів будують криву прогартуваності в координатах *твердість – відстань від торця*. Оскільки для сталей однієї марки з різних плавок величина прогартуваності може змінюватися, то сталі характеризуються стрічкою прогартуваності. Границями стрічки служить максимальна і мінімальна твердість на певній відстані від торця.

Опис лабораторної установки

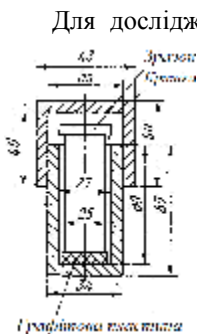


Рис. 17.2. Схема нагріву зразка в печі

Порядок виконання роботи

1. Отримати у викладача стандартний зразок для дослідження (рис. 17.1), записати марку сталі.
2. З марки сталі визначити вміст вуглецю і по діаграмі «залізо-вуглець» визначити температуру гартування.
3. По Додаткам 7 і 8 визначити тривалість нагріву та витримки зразка в муфельній печі, встановити зразок в сталевий циліндричний ящик (рис. 17.3), який помістити в муфельну піч.
4. Після витримки зразка витягти його з печі та охолодити в спеціальній ванні. Охолоджується водним струменем лише торцева частина протягом 10 хв. Перебування зразка на повітрі під час переміщення до ванни не повинне перевищувати 5 с.
5. Провести шліфування гартованого зразка по довжині з протилежних боків на глибину 0,5 мм. Шліфування проводити при охолодженні.
6. На шліфованих ділянках визначити твердість HRC по всій довжині через кожні 3 мм, перше вимірювання на відстані 3 мм від торця.
7. Результати вимірів занести в табл. 17.1.

Таблиця 17.1

Температура гартування	Час нагріву	Твердість HRC на відстані від торця					
		3	6	9	12	15	...

9. За результатами виміру твердості побудувати графік у координатах *твердість – відстань від торця*, зробити висновки по роботі.

Опис лабораторної установки

1. Дайте визначення поняття прогартуваності сталі.
2. Які фактори впливають на прогартуваність сталей?
3. В чому полягає сутність методу визначення прогартуваності?
4. В чому відмінність понять загартуваність і прогартуваність?

Лабораторна робота № 18

ВИВЧЕННЯ ПРОЦЕСУ КОРОЗІЇ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ

Мета роботи: ознайомитись з механізмом процесу корозії металів і сплавів, навчитися експериментальним шляхом визначати швидкість процесу корозії та глибину її проникнення в матеріал.

Теоретична частина

Корозія – процес руйнування металів і сплавів через хімічну або електрохімічну взаємодію з навколишнім середовищем. В результаті даної взаємодії матеріал поступово втрачає свої механічні та технологічні властивості і поступово руйнується.

По характеру взаємодії металів з навколишнім середовищем розрізняють два види корозії:

- **хімічна корозія** – процес хімічної взаємодії метала з середовищем, що не є провідником електричного струму (гази, рідкі діелектрики, мастила, нафта). Найчастіше корозію метала викликає газовий агент зовнішнього середовища (кисень, сірчаний або вуглецевий газ), який при контакті з поверхнею металу сприяє утворенню окислів FeO , FeS і таке інше. Хімічна корозія протікає як за звичайної, так і за високої температури, причому при збільшенні температури швидкість корозії зростає і збільшується товщина окисної плівки. Ступінь окислення заліза суттєво залежить від вмісту легуючих домішок: хром, алюміній та кремній є корозійностійкими елементами, сталь з 20% хрому не піддається корозії навіть при 1300 К;

- **електрохімічна корозія** – процес руйнування металу в електроліті при проходженні електричного струму, який супроводжується утворенням гальванічних пар – анодних і катодних ділянок.

За місцем виникнення корозія поділяється на три види:

- **рівномірна** – метал руйнується з однаковою інтенсивністю по всій поверхні. Найбільш характерна для чистих металів та однорідних твердих розчинів;

- **місцева** – руйнування концентрується на окремих ділянках деталі, проникаючи вглибину виробу. Її небезпека збільшується зі збільшенням нерівномірності корозії;

- **міжкристалічна корозія** – руйнування металів по межах зерен. Зовнішня поверхня матеріалу при цьому залишається чистою, тому виявити такий вид корозії дуже складно.

Найбільш простим та інформативним методом визначення корозії є метод зважування, при якому визначається різниця мас зразка до і після корозійних досліджень.

Мірою корозійної стійкості є за умов рівномірної корозії зміна маси металу, віднесена до одиниці площі поверхні та одиниці часу. Інколи також застосовується визначення корозії за глибиною роз'їдання металу.

Зміну маси зразку визначають по формулі

$$\Delta m = |m_0 - m_1|, \quad (18.1)$$

де m_0 – маса зразка до початку корозійних випробувань, г; m_1 – маса зразка після корозійних випробувань, г.

Швидкість корозії, г/(м²·год) в даному методі визначають по формулі

$$k = \frac{\Delta m}{St}, \quad (18.2)$$

де S – площа поверхні зразка, м²; t – тривалість дослідження, год.

За швидкістю корозії визначають величину її проникнення в зразок, мм/год

$$П = \frac{k}{1000\rho}, \quad (18.3)$$

де ρ – густина металу, г/см³.

Для оцінки корозійної стійкості металів методом зважування застосовується п'ятибальна шкала, а по глибині проникнення корозії – десятибальна шкала (табл. 18.1).

Таблиця 18.1
Характеристики корозійної стійкості сталей

Група стійкості	Швидкість корозії, мм/год	Бал	Група стійкості	Швидкість корозії, мм/год	Бал
Абсолютно стійкі	$P < 0,001$	1	Знижено стійкі	$0,1 < P < 0,5$	6
				$0,5 < P < 1,0$	7
Досить стійкі	$0,001 < P < 0,005$	2	Мало-стійкі	$1,0 < P < 5,0$	8
				$5,0 < P < 10,0$	9
Стійкі	$0,005 < P < 0,01$ $0,01 < P < 0,05$ $0,05 < P < 0,10$	3	Нестійкі	$P > 10,0$	10
		4			
		5			

Опис лабораторної установки

Для нагрівання сталі в ході лабораторної роботи використовують муфельні печі з максимальною температурою нагрівання 1270 К, конструкція та принцип дії якої були детально розглянуті в лабораторних роботах 14 – 15. Для виміру маси зразків використовуються аналітичні або електронні ваги, які забезпечують точність вимірів до 0,1 мг. Для підвищення чутливості метода

зважування розміри дослідних зразків рекомендується брати в наступних межах – довжина 60...80 мм, ширина 6...8 мм, товщина 2...3 мм.

Порядок виконання роботи

1. За допомогою штангенциркуля виміряти розміри поверхні зразків з вуглецевої та легованої сталі.
2. Покласти зразки в порцелянову посудину і зважити їх разом з нею на вагах.
3. Обидва зразки помістити в муфельну піч і витримати їх 50 хв при максимально можливій температурі. Протягом витримки зразка 4 рази відкривати дверці муфельної печі на 2 хв для більш інтенсивного окислення.
4. Після закінчення витримки зразки разом з посудиною зважити на аналітичних вагах.
5. Зміну маси зразків визначити по формулі (18.1).
6. Визначити швидкість корозії для кожного із зразків по формулі (18.2).
7. Визначити глибину проникнення корозії для кожного із зразків по формулі (18.3).
8. Результати вимірів і розрахунків занести до табл. 18.1.

Таблиця 18.1

Марка сталі	
Площа зразка S , мм ²	
Маса зразка до нагріву m_0 , г	
Маса зразка після нагріву m_1 , г	
Температура нагріву T , К	
Час витримки t , год	
Швидкість корозії k , г/(м ² ·год)	
Проникнення корозії P , мм/год	

Контрольні запитання

1. Що таке корозія і які причини її виникнення?
2. Опишіть механізм хімічної корозії металів.
3. В яких випадках має місце електрохімічна корозія металів?
4. Назвіть види корозійних руйнувань металів.
5. Чому найбільш небезпечним видом руйнувань є міжкристалічна корозія?
6. Опишіть відомі вам методи боротьби з корозійним руйнуванням металів.

4 МОДУЛЬ. НЕМЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЙНІ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ

Лабораторна робота № 19 ВИВЧЕННЯ МАКРОСТРУКТУРИ ДЕРЕВИНИ

Мета роботи: познайомитися з будовою деревини, найбільш поширеними породами, визначити її головні характеристики.

Теоретична частина

Деревина є найдавнішим конструкційним матеріалом, її отримують із стовбурів дерев після видалення гілок, при цьому вихід складає понад 90% від об'єму стовбура.

Макроструктура – будова деревини, яку видно неозброєним

оком або при незначному збільшенні.

Оскільки деревина є анізотропним матеріалом (механічні властивості залежать від напрямку дослідження), то її структуру вивчають у трьох різних зрізах стовбура: торцевому, тангенціальному і радіальному (рис. 19.1).

Торцевий – зріз, перпендикулярний до осі стовбура.

Радіальний – повздовжній зріз, який проходить через вісь стовбура.

Тангенціальний – повздовжній зріз на певній відстані від осі стовбура.

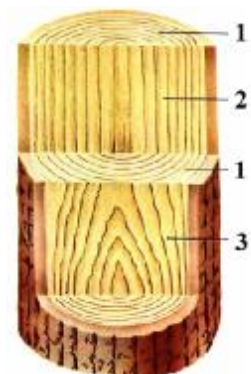
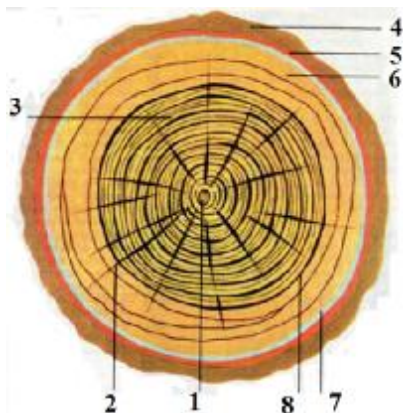


Рис.19.1. Зрізи деревини: 1 – торцевий, 2 – радіальний, 3 – тангенціальний.

На початковій стадії обробки деревини роблять поперечний або торцевий зріз (рис.19.2). На такому зрізі добре видно всі складові будови деревини, перелік і основні характеристики яких наведені нижче. *Серцевина* 1 – рихла нестійка до загнивання тканина діаметром від 2 до 5 мм, що розташована у самому центрі деревини і утворилась у перші роки життя дерева. По *променях серцевини* 2 відбувається рух води та повітря в горизонтальному напрямку. *Ядро* 3 – мертвий шар клітин, що примикає безпосередньо до серцевини і не приймає участі у фізіологічних процесах. Деревина в ньому найбільш тверда, проте ядро є не в усіх порід деревини. *Кора* 4 – зовнішній твердий шар деревини, що захищає інші шари від холоду, жару і механічних ушкоджень. *Луб* 5 – тонкий, невидимий неозброєним оком шар між корою і деревиною,

по якому органічні речовини рухаються від крони вниз до стовбура. *Заболонь* 6 – частина деревини між ядром і корою, по якій відбувається рух соків угору. Молоді дерева складаються тільки із заболоні. *Камбій* 7 – тонкий шар живих клітин між лубом і заболонню. Клітини камбію діляться, що забезпечує ріст деревини у товщину. Вік деревини можна



визначити за кількістю річних шарів, що являють собою концентричні кола, які добре видно на торцевому зрізі. Кожне річне кільце складається із зовнішнього і внутрішнього шарів, причому внутрішній шар формується навесні та початку літа, а зовнішній – у кінці літа. Ширина річних кілець залежить від породи деревини, умов росту та кліматичних умов.

Рис.19.2. Торцевий зріз деревини: 1 – серцевина, 2 – промені серцевини, 3 – ядро, 4 – кора, 5 – луб, 6 – заболонь, 7 – камбій, 8 – річні шари..

Всі породи деревини прийнято поділяти на чотири типи: листяні, хвойні, особливо цінні та іноземні.

До **хвойних** порід відносяться ялина, сосна, модрина, піхта, кедр, тис і ялівець, який є чагарником. Широке використання в будівництві і на залізничному транспорті отримала сосна, оскільки вона добре обробляється, має середню густину, досить високу міцність і стійкість проти загнивання. З хвої сосни виготовляють біологічно активні речовини. Ялина трохи поступається сосні за міцністю і стійкістю проти загнивання. Є основною речовиною для отримання целюлози, а однорідність будови робить її незамінною при виготовленні музичних інструментів. Модрина є найпоширенішою породою, тому широко використовується при виготовленні меблів та в целюлозно-паперовій промисловості. Піхта сама легка й м'яка з усіх хвойних порід, за властивостями схожа на ялину. Кедр – дуже поширена порода (Сибір), що доживає до 800 років, а висоту сягає понад 30 м. Легко обробляється, стійкий проти загнивання, тому широко використовується в будівництві. З його горіхів отримують масло, скипидар, лікувальні бальзами. Ялівець через малі розміри використовується для виготовлення токарних та різьблених виробів.

До основних **листяних** порід відносяться береза, дуб, ясний клен, липа, горіх і тополі. Найбільш цінною і дефіцитною деревиною є дуб, який має дуже високі показники густини, міцності та стійкості проти загнивання. З нього виготовляють масивні будівельні балки, бочки для вина та пива, паркет. У виробництві меблів дуже ціниться морінь дуб, що має надвисоку міцність і твердість, характерний темний колір. Береза хоча й має досить високі показники міцності, але нестійка до загнивання і коробиться при сушці, тому широкого використання не отримала. Ясний вирізняється дуже високою ударною в'язкістю і добрі гнеться, завдяки чому використовується у виробництві спортивного інвентарю: тенісних ракеток, хокейних ключок. Клен використовується в меблевому виробництві, для виробництва корпусів музичних інструментів, але через малі запаси має досить обмежене застосування. Липа - однорідна м'яка деревина, що майже не тріскається при обробці, тому слугує добрим матеріалом для різьблених робіт. Горіх є дуже цінною породою, завдяки своєму кольору використовується для виготовлення високохудожніх меблів, створення оригінальних інтер'єрів. Деревина тополя м'яка, нестійка до загнивання, запаси його обмежені, тому використовується в невеликих обсягах для виробництва товарів побутового призначення та при виробництві целюлози.

Особливо цінні породи – породи, що мають привабливий колір деревини і текстуру, несхожу на інші породи. Дані породи використовуються при оздобленні інтер'єрів приміщень і виготовленні сувенірних виробів. До них в першу чергу відносяться тис, горіх і груша.

Іноземні породи – породи, що ростуть в інших кліматичних умовах. Колір деревини та її текстура суттєво залежить від клімату, в якому зростала дана деревина. Так, найбільш яскравий колір мають тропічні породи, а найбільш блідий – північні. До іноземних порід відносять червону та чорну деревина, секвою, евкаліпт і палісандр, що розповсюджені в країнах з тропічним кліматом. Секвоя, бакаут і евкаліпт є цінними будівельними матеріалами, інші породи використовуються для виробництва художньо-декоративних виробів.

Головними характеристиками будь-якої породи деревини є її колір, блиск і текстура, за якими і визначається її цінність.

Колір – залежить від кліматичних умов в місцях росту деревини. В помірному кліматі деревина бліда, в тропічному – має яскравий окрас. Інтенсивність окрасу також залежить од віку деревини – з роками вона зростає. Колір деревини є важливою характеристикою і береться до

уваги при виготовленні меблів, художніх виробів, музикальних інструментів і таке інше.

Блиск – здатність деревини спрямовано відбивати світловий потік. Блиск деревини оцінюється за її білизою – чим більша білизна, тим вищий показник блиску.

Текстура – природній малюнок на тангенціальних і радіальних зрізах деревини, що утворений її річними кільцями і анатомічними елементами (рис. 19.3). Чим складніша будова деревини, тим багатша її текстура. Листвяні породи, порівняно з хвойними, мають значно багатшу текстуру. Текстура є найважливішим показником, що характеризує декоративну цінність деревини, тому її інколи створюють штучним шляхом за рахунок нерівномірного пресування з подальшим струганням.



Рис. 19.3. Текстура тису.

Порядок виконання роботи

1. Отримати у викладача зразки з трьома зрізами породи деревини.
2. Розмістити почергово кожен зріз під окуляром мікроскопу, добитися чіткого зображення і уважно роздивитись кожен зріз.
3. Замалювати усі три зрізи даної деревини у бланк лабораторної роботи.
4. Під малюнками дати стислу характеристику даній деревині, описати її фізико-механічні властивості, означити область застосування, назвати близькі за властивостями породи.
5. Зробити висновки по лабораторній роботі.

Контрольні запитання

1. Дайте класифікацію порід деревини.
2. Що означає анізотропія властивостей деревини?
3. Які листвяні породи дерев використовуються у будівництві?
4. Назвіть хвойні породи та сфери їх застосування.
5. Назвіть головні характеристики деревини, розшифруйте їх.
6. Які області можна виявити на поперечному зрізі деревини?
7. Які ділянки мікроструктури деревини можуть бути відсутні у певних порід?

Лабораторна робота № 20 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ФІЗИКО- МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЕРЕВИНИ

Мета роботи: познайомитися з методами експериментального визначення вологості, усихання, густини і твердості деревини.

Теоретична частина

Деревина належить до анізотропних матеріалів, для яких механічні властивості залежать від розташування волокон при випробуванні.

Наприклад, при стиску зразка уздовж волокон багато порід витримують значне напруження. Так границя міцності сосни на стиск 80 – 100 МПа. В цьому випадку руйнування зразка відбувається при навантаженні P_{max} в результаті втрати стійкості стінок ряду волокон деревини і проявляється в утворенні характерної складки. Границя міцності деревини уздовж волокон

$$\sigma'_{max} = \frac{P_{max}}{F_0}. \quad (20.1)$$

При стиску зразка поперек волокон зразок спресовується без будь-яких ознак руйнування, а руйнівне навантаження визначається умовно, воно відповідає деформації зразка на 1/3 від початкової висоти

$$\sigma''_{max} = \frac{P_{1/3}}{F_0}, \quad (20.2)$$

де $P_{1/3}$ – зовнішня сила, під дією якої висота зразка зменшилась на третину від початкової.

Відмінність механічних властивостей деревини вздовж і поперек волокон характеризує **коефіцієнт анізотропії** k – відношення границі міцності при стиску вздовж волокон до границі міцності при стиску поперек волокон

$$k = \frac{\sigma'_{max}}{\sigma''_{max}}. \quad (20.3)$$

Для більшості порід значення коефіцієнту близько 8 – 10.

У свіжозрубаній деревині зазвичай знаходиться значна кількість води, яка в процесі зберігання може збільшуватися, зменшуватися або залишатися на тому ж рівні. Дуже часто доводиться приймати заходи по видаленню води, тобто проводити її сушку. Характеристикою вмісту води в деревині є **вологість** W – ступінь насичення деревини водою, виражена у відсотках від маси сухої деревини:

$$W = \frac{m - m_0}{m_0}, \quad (20.4)$$

де W – вологість деревини, %; m – маса зразка вологої деревини, г; m_0 – маса зразка абсолютно сухої деревини, г.

Існує два способи визначення вологості деревини: прямий і непрямий. При **прямому способі** проводиться сушка зразка при температурі 103°C із зважуванням кожні 2 години поки його маса не перестане змінюватися. Цей спосіб дозволяє визначити вологість з дуже високою точністю, але потребує досить багато часу. При **непрямому способі** за допомогою вологоміра визначається електропровідність деревини, причому шкала приладу вже проградуєвана в одиницях вологості. Непрямий спосіб дозволяє швидко визначити вологість, але його недоліком є похибка в 1,5 – 2 %, що зростає із збільшенням вологості деревини. Далі наведено класифікацію деревини за ступенем вологості:

- а) кімнатно-суха – деревина з вологістю 8...12%;
- б) повітряно-суха – деревина з вологістю 12... 18%;
- в) напівсуха – деревина з вологістю 18...23%;
- г) сира – деревина з вологістю більше 23%.

Свіжозрубана деревина має вологість від 50 до 100%, а та, що знаходилася довгий час у воді – понад 100%.

При сушці деревини із зменшенням її вологості змінюються і механічні властивості: зменшується пружність і електропровідність, збільшується границя міцності на стиск.

Усихання – величина, що характеризує зменшення розмірів і об'єму деревини при висиханні. Воно поділяється на два види – лінійне і об'ємне. *Лінійне усихання* деревини у різних напрямках має різні значення: у тангенціальному – 6...12%, у радіальному – 3...6%, уздовж волокон – 0,1...0,3%. Визначається лінійне усихання по формулі

$$U = \frac{a - a_1}{a_1} \cdot 100\%, \quad (20.5)$$

де a і a_1 – розміри зразка до і після висушування відповідно.

Об'ємне усихання знаходять по формулі

$$U_{об} = \frac{V - V_1}{V_1} \cdot 100\%, \quad (20.6)$$

де V і V_1 – об'єм зразка до і після висушування. Повне об'ємне усихання становить близько 10...14%.

Густина деревини – фізична величина, що характеризує масу одиниці об'єму даної породи

$$\rho = \frac{m}{V}. \quad (20.7)$$

Оскільки густина деревини суттєво залежить від вологості, то для порівняння прийнято визначати густину за стандартної вологості у 12%. За густиною усі породи розділені на три групи:

- а) породи з малою густиною ($\rho \leq 540 \text{ кг/м}^3$) – ялина, сосна, липа;
- б) породи з середньою густиною (від 540 до 740 кг/м^3) – дуб, береза;
- в) породи з високою густиною ($\rho \geq 740 \text{ кг/м}^3$) – кизил, граб.

Опис лабораторної установки

Лабораторна установка являє собою сушильну шафу з терморегулятором, що дозволяє витримувати досліджувані зразки при постійній температурі. Вимірювання температури всередині печі проводиться за допомогою термоелектричного термометру (термопари). До складу лабораторної установки входять також ваги лабораторні з набором навісок, які дозволяють вимірювати масу зразків з точністю до 10 мг.

Порядок виконання роботи

1. Отримати зразок досліджуваної деревини у викладача, зважити його, виміряти штангенциркулем усі геометричні розміри.

2. Обчислити об'єм зразка за формулою

$$V = abh,$$

де a , b і h – довжина, ширина і висота відповідно.

3. Визначити густину деревини по формулі (20.7), за отриманим результатом і текстурою визначити породу. Дані про густину різних порід деревини надані у *Додатку 5*.

4. Пронумерувати зразки і помістити їх у сушильну шафу, нагріту до температури 105°C з подальшою витримкою при даній температурі не менше 40 хвилин.

5. Зважити зразки після висушування, за формулою (20.4) визначити вологість деревини, класифікувати її за ступенем вологості.

6. Визначити розміри зразку, за формулами (20.5) і (20.6) визначити лінійне і об'ємне усихання, зробити висновки по лабораторній роботі.

Контрольні запитання

1. Що називають анізотропією властивостей і будови?
2. Назвіть головні механічні характеристики деревини.
3. Якими способами визначають вологість?
4. За якої вологості деревину називають сирою?
5. Чому деревину сушать при температурі не більше 105°C ?

Лабораторна робота № 21
ВИЗНАЧЕННЯ ПРУЖНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГУМОВИХ
МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи: ознайомитись із структурою та фізико-механічними властивостями гумових матеріалів, розглянути сфери їх застосування на автомобільному транспорті. Експериментальним шляхом визначити еластичність та коефіцієнт дисипації гумового матеріалу.

Теоретична частина

Понад 500 автомобільних деталей виготовляють з гуми або композицій на її основі, маса гумових деталей становить 5% маси легкового автомобіля і 10% маси вантажного. Часто такі деталі виконують дуже важливі функції – забезпечення безпеки, надійності та комфортабельності руху автомобіля.

Резини використовують для виготовлення опор двигуна; шлангів в системах охолодження, живлення, змащування опалення і вентиляції; пасів привода вентилятора, генератора, компресора і водяного насосу; ущільнювачів кузова і кабіни; втулок ресор, обмежувачів ходу, амортизуючих прокладок та інших деталей підвіски; щитків і ковдр кабіни і кузова. Проте головне застосування гуми на автомобільному транспорті пов'язане з виготовленням шин.

Гуми відносяться до еластомерів – класу пружно-в'язких конструкційних матеріалів із унікальним комплексом фізико-механічних властивостей. Гуми отримують шляхом вулканізації – з'єднання макромолекул еластомерів (синтетичних або натуральних каучуків) між собою поперечними зв'язками, що покращує їх міцність та інші технологічні характеристики.

Як і усі еластомери, гуми здатні до вискоеластичних зворотних деформацій (сотні відсотків) вже за нормальних температур, характеризуються малим модулем пружності (0,001 – 1 МПа). Природа пружності гум пов'язана із зміною ентропії, а не внутрішньої енергії, як у твердих тел. Така відмінність є причиною особливих теплових ефектів при деформації: гуми скорочуються при нагріванні, тобто їх модуль пружності росте з температурою.

Гуми, як і усі реальні тіла, не є ідеально пружними, частина енергії зовнішньої дії розсіюється на подолання в'язкого опору руху молекулярних ланцюгів і руйнування внутрішньої структури. Таким чином, можна сказати, що для гум характерне явище дисипації – переходу енергії зовнішньої механічної дії у внутрішню енергію (теплоту) хаотичного руху. Дисипативні властивості гум визначають

працездатність великого числа виробів. Дисипація потрібна для прояву гумовою конструкцією захисних властивостей. Завдяки добрим дисипативним властивостям гуми часто використовуються в деталях, основною функцією яких є поглинання енергії – віброгасниках, демпферах, звукопоглинальних елементах тощо. Гумові матеріали в автомобільній підвісці відіграють важливу роль в забезпеченні комфортабельності їзди, зменшуючи передачу вібрацій від дороги на кузов.

Здатність до дисипації енергії різна для різних сортів гум, вона характеризується коефіцієнтом дисипації ψ , який також слугує критерієм руйнування гумової деталі: різке його збільшення є ознакою глобального руйнування системи. Найбільшу дисипацію мають матеріали зі значними релаксаційними властивостями, її основними механізмами є в'язкопружність, кристалізація, руйнування і рекомбінація вуглець-вуглецевих зв'язків між частками наповнювача, зміна конфігурації молекулярної сітки під дією зовнішнього навантаження, а також руйнування слабких поперечних зв'язків. Це питання практично не вивчене.

Дисипація енергії в наповнених гумах складає близько 80%, в ненаповнених – близько 50%. Гуми з кращими дисипативними властивостями мають підвищену міцність на розрив, проте досить низький опір втомному руйнуванню. Наповнені гуми (з максимальною дисипацією) характеризуються більшим опором руйнуванню, ніж ненаповнені.

При експериментальному визначенні дисипативних властивостей гум використовують протилежну до дисипації характеристику ступеню пружності матеріалу – *еластичність*. Описується вона *коефіцієнтом еластичності* – в даній лабораторній роботі це відношенням енергії, яку зразок повернув маятнику, до початкової енергії маятника

$$R = \frac{mgh}{mgH} \cdot 100\% = \frac{h}{H} \cdot 100\%. \quad (21.1)$$

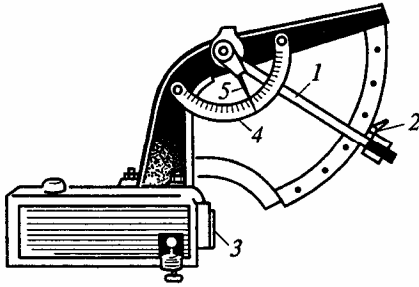
Тоді коефіцієнт дисипації досліджуваного матеріалу можна визначити по формулі

$$\psi = 100\% - R. \quad (21.2)$$

Як видно з (21.1) – (21.2) дисипація і еластичність є протилежними за природою явищами. Перше з них характеризує відсоток енергії, поглинутий гумовим масивом, другий – відсоток енергії, пружно переданий цим масивом оточуючим тілам.

Опис лабораторної установки

В даній лабораторній роботі використовується маятниковий пружномір (рис. 21.1) – прилад для визначення еластичності гуми за величиною відскоку ударного маятника від досліджуваного зразку. Пружномір призначений для випробування стандартних гумових



зразків круглого поперечного перерізу діаметра $29 \pm 0,5$ мм і товщини $12,5 \pm 0,25$. Відстань від осі обертання маятника до центра удару складає 200 мм, при повній висоті максимальний кут підйому складає 90° . Ударна частина маятника має закруглення радіусом 7,5 мм.

Рис. 21.1. Маятниковий пружномір: 1 – маятник, 2 – важіль, 3 – наковальня, 4 – шкала, 5 – стрілка.

Розглянемо конструкцію і принцип дії маятникового пружноміру. На масивній основі закріплений кронштейн, в підшипниках якого знаходиться маятник, що має на кінці вантаж із сферичним закругленням. Фіксатором маятника слугує храпове колесо, яке дозволяє регулювати початкову висоту H підняття маятника.

Досліджуваний зразок за допомогою двох пружин закріплюють на наковальні 3, після чого натисканням на важіль 2 звільнюють маятник 1, який вільно падає на зразок і під дією його сил пружності відскакує назад. На осі маятника знаходиться пружинний захват, який під час відскоку маятника захоплює стрілку 5 і тягне її за собою. Дана стрілка насаджена на вісь з невеликим тертям, що дозволяє зафіксувати по шкалі 4 максимальну величину відскоку – вона залишиться нерухомою у верхньому положенні. Пружинний механізм з руків'ям слугує для повернення стрілки в початкове положення.

Відскік ударної частини маятника від досліджуваного зразка пояснюється виникненням під зовнішньою дією сил пружності гуми. Завдяки своїй еластичності гума повертає частину отриманої при ударі енергії назад до маятника, чим викликає його відскік. Величина цього відскоку прямо пропорційна еластичності гуми, вона залежить від значної кількості фізичних і технологічних факторів: температури і хімічного складу гуми, часу її експлуатації, характеру і часу прикладеного навантаження тощо.

Порядок виконання роботи

1. Досліджуваний зразок жорстко впритул закріпити на наковальні за допомогою двох пружин, після чого підняти ударну частину маятника на висоту H .
2. Звільнити захват і після відскоку по шкалі записати максимальну висоту підйому маятника h .
3. Повторити експеримент ще чотири рази, змінюючи при цьому початкову висоту маятника H .
4. Визначити коефіцієнт еластичності в кожному з випадків по формулі (21.1), знайти його середнє значення

$$R_{\text{сер}} = \frac{\sum_{i=1}^5 R_i}{5}.$$

5. Визначити абсолютну ΔR і відносну ε похибки визначення коефіцієнта еластичності, вказати достовірність отриманих результатів та інтервал значень.
6. Визначити середнє значення коефіцієнта дисипації енергії по формулі (21.2), вказати інтервал для його значень.
7. Результати вимірів і розрахунків занести до табл. 21.1.

Таблиця 21.1

№	H , м	h , м	R	ΔR	ε , %	ψ
1						
2						
3						
4						
5						
Сер.						

Контрольні запитання

1. До яких матеріалів належить гума, яку будову вона має?
2. Які фізико-механічні властивості відрізняють гуму від інших конструкційних матеріалів?
3. Як і з чого отримують автомобільні марки резини?
4. Яке явище називається дисипацією енергії матеріалом, чим воно характеризується?
5. Як пов'язані між собою еластичність і дисипація енергії?
6. В яких вузлах автомобілів і завдяки яким властивостям використовуються гумові деталі?
7. Чому високі і низькі значення коефіцієнта дисипації не є оптимальними для гумових деталей в процесі експлуатації?

Лабораторна робота № 22
ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНОГО КОЕФІЦІЄНТУ В'ЯЗКОСТІ
ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи: засвоїти методику визначення коефіцієнта внутрішнього тертя та встановити його залежність від температури.

Теоретична частина

На всяке тіло, що рухається у в'язкій рідині, діє сила опору. У загальному випадку величина цієї сили залежить від багатьох чинників: внутрішнього тертя рідини, форми тіла, характеру обтікання, тощо. При течії рідини з невисокими швидкостями вона може бути представлена у вигляді шарів, що переміщуються паралельно один до одного. При відносному русі шарів рідини між ними виникають дотичні сили внутрішнього тертя або сили в'язкості.

Внутрішнє тертя (в'язкість) – властивість рідин і газів чинити опір переміщенню однієї їх частини відносно іншої. Шар газу або рідини, який рухається швидше, прискорює більш повільний шар, який в свою чергу, гальмує швидший. При цьому виникають сили внутрішнього тертя, спрямовані по дотичній до поверхні зіткнення шарів.

Причиною внутрішнього тертя є накладання впорядкованого руху шарів газу з різними швидкостями на тепловий хаотичний рух молекул з швидкостями, що залежать від температури. При цьому відбувається перенесення імпульсів впорядкованого руху молекул в напрямі, перпендикулярному шарам. Явище внутрішнього тертя описується законом Ньютона:

$$F_{mp} = -\eta \frac{\partial v}{\partial n} S, \quad (22.1)$$

де F_{mp} – сила тертя між сусідніми шарами із загальною площею контакту S ; $\partial v / \partial n$ – градієнт швидкості руху в перпендикулярному до осі напрямку; η – коефіцієнт внутрішнього тертя (динамічний коефіцієнт в'язкості).

Чисельно коефіцієнт динамічної в'язкості η дорівнює силі, що діє на одиницю площі шару при одиничному градієнті швидкостей. Одиниця виміру в системі СІ:

$$[\eta] = \left[\frac{H}{c^{-1} \cdot m^2} \right] = [Pa \cdot c].$$

Знак мінус в (20.1) показує, що сила тертя спрямована у бік, протилежний до відносної швидкості шару, на який вона діє. У цій

роботі коефіцієнт внутрішнього тертя рідини визначається *методом кульки, що падає в рідині*.

При падінні кульки у досліджуваній рідині, що покоїться, на неї діють три сили (рис. 22.1):

а) *сила тяжіння* – дорівнює вазі кульки і спрямована до центру Землі;

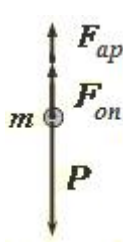
$$P = mg = \rho_k g V, \quad (22.2)$$

де m – маса кульки, кг; ρ_k – густина кульки, кг/м³; V – об'єм кульки, м³.

б) *сила Архімеда* – сила, що виштовхує будь-які тіла, поміщені в рідину або газ

$$F_{ap} = \rho_{pid} g V, \quad (22.3)$$

де ρ_{pid} – густина рідини, кг/м³; $g = 9,81$ м/с² – прискорення вільного падіння; V – об'єм кульки, м³.



в) *сила опору руху (сила Стокса)* – діє на всі тіла при їх відносному русі в газах та не дуже в'язких рідинах, пропорційна швидкості і спрямована убік, протилежний напрямку відносного руху тіла

$$F_{on} = 6\pi r v \eta, \quad (22.4)$$

де r – радіус кульки, м; v – швидкість падіння кульки в досліджуваній рідині, м/с; η – коефіцієнт в'язкості рідини, Па·с.

Рис. 22.1. Сили, що діють на кульку при русі в рідині.

Основний закон динаміки для даного випадку руху має вигляд

$$\Sigma F = ma \rightarrow P - F_{ap} - F_{on} = ma.$$

З початком руху кульки у досліджуваній рідині по мірі збільшення її швидкості сила опору також зростає. З часом настає такий момент, коли сила тяжіння врівноважується сумою сил Архімеда і Стокса, тобто рівнодійна усіх сил стає рівною нулю. При цьому рух кульки стає рівномірним ($a = 0$), а основний закон динаміки набуває вигляду

$$\rho_k g V - \rho_{pid} g V - 6\pi r v \eta = 0. \quad (22.5)$$

Переносимо останній доданок направо і розв'язуємо відносно динамічної в'язкості η рівняння (22.5), в результаті чого отримаємо

$$6\pi r v \eta = \rho_k g V - \rho_{pid} g V \Rightarrow \eta = \frac{gV(\rho_k - \rho_{pid})}{6\pi r v} \quad (22.6)$$

Об'єм кульки дорівнює

$$V = \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{4}{3}\pi \frac{d^3}{8} = \frac{\pi d^3}{6}, \quad (22.7)$$

а її швидкість за умов рівномірного руху

$$v = \frac{l}{t}, \quad (22.8)$$

де l – відстань між відмітками.

Підставивши (22.7) – (22.8) у (22.6), остаточно отримуємо для коефіцієнта динамічної в'язкості

$$\eta = \frac{(\rho_k - \rho_{pid})d^2gt}{18l}. \quad (22.9)$$

Опис лабораторної установки

Установка складається із скляного циліндра з досліджуваною рідиною (бензин або дизельне паливо), який має дві горизонтальні відмітки m і n , розташовані одна від одної на відстані l (рис. 22.2).

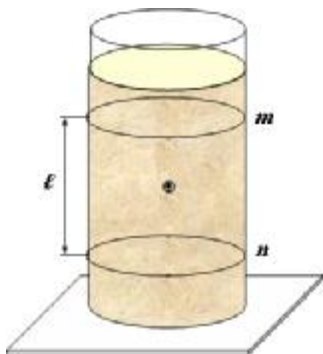


Рис. 22.2. Лабораторна установка.

Відмітка m відповідає той висоті, де сили, що діють на кульку, зрівноважують одна одну і рух стає рівномірним. Оскільки за невеликої маси кульки рух стає рівномірним майже одразу, то верхня відмітка знаходиться поблизу вільної поверхні рідини.

Порядок виконання роботи

1. Визначити діаметр кульки d за допомогою мікрометра три рази і визначити його середнє значення.
2. За допомогою лінійки виміряти відстань l між відмітками m і n три рази, знайти середнє значення довжини.
3. Виміряти температуру досліджуваної рідини.
4. Тричі кинути ту саму кульку в рідину і виміряти час t проходження кулькою відстані між відмітками, після чого визначити середнє значення. Результати вимірів занести в табл. 22.1.
5. Середні значення d , l і t підставити в розрахункову формулу (22.9) для визначення коефіцієнта внутрішнього тертя рідини η . Густина матеріалу кульки $\rho_k = 11\,300$ (кг/м³), густину досліджуваної рідини взяти з Додатку 4.
6. Визначити відносну похибку при визначенні коефіцієнта динамічної в'язкості по формулі:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l_{cp}}{l_{cp}} + \frac{\Delta t_{cp}}{t_{cp}} + \frac{2\Delta d_{cp}}{d_{cp}}$$

Таблиця 22.1.

№ п/п	d , м	Δd , м	l , м	Δl , м	t , с	Δt , с
1.						
2.						
3.						
сер. знач.						

7. Абсолютну похибку визначення динамічної в'язкості визначити по формулі:

$$\Delta \eta_{сер} = \varepsilon \eta_{сер}$$

8. Остаточний результат записати у вигляді:

$$\eta = (\eta_{сер} \pm \Delta \eta_{сер}) \frac{H \cdot c}{\rho^2}$$

і скласти звіт згідно встановленого зразку.

Контрольні запитання

1. Який фізичний зміст має динамічний коефіцієнт в'язкості?
2. Від яких параметрів залежить величина коефіцієнту внутрішнього тертя?
3. Як залежить коефіцієнт внутрішнього тертя рідини від температури і чим можна пояснити таку залежність?
4. Якими фізичними величинами ще характеризуються експлуатаційні рідини?
5. Які рідини використовуються на автомобільному транспорті, для чого необхідно знати їх в'язкість?
6. Які сили діють на тіло при його русі відносно рідини?
7. Сформулюйте закон Стокса.

Лабораторна робота № 23
ВИВЧЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ВОЛОКНИСТИХ АРМУЮЧИХ МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи: експериментальним шляхом визначити основні фізико-механічні характеристики компонентів волокнистих полімерних композитів та порівняти отримані результати з паспортними даними.

Теоретичні відомості

Армуючі елементи – нитковидні кристали, волокна з аморфною структурою, металічні проволочки та полікристалічні волокна, які вводять до матричної основи як без орієнтації, так і надаючи їм певну орієнтацію.

Одним з основних способів виготовлення армуючих елементів з необхідною орієнтацією волокон є їх текстильна переробка, в результаті якої з проволочки чи волокна отримують сітки або тканини. Такі армуючі елементи характеризуються заданим порядком взаємного розташування ниток, найбільш простими різновидами переплетіння є полотняні (рис. 23.1, *а*) і саржові (рис. 23.1, *б*). Оскільки тканеві сітки виготовляються з пластичних волокон, їм не властива висока міцність, а контакт між поздовжніми і поперечними волокнами призводить до їх пережимів в процесі ущільнення.

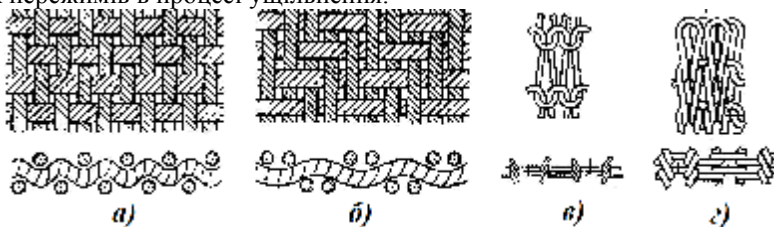


Рис. 23.1. Види армуючих сіток.

Вказані вище недоліки відсутні у в'язаних сіток, найбільш поширеними з яких є сітки типів «кулірна гладь» (рис. 23.1, *в*) і «ластик 1+1» (рис. 23.1, *з*), вони складаються з петель, які утворюють ряди, і стовбчиків з нанизаних одна на одну петель, розташованих в перпендикулярних до рядів напрямках. Такі сітки добре розтягуються, що полегшує формовку заготовок армування композицій, особливо для деталей складних конфігурацій. Їх виготовляють з високоміцних металічних проволочок діаметром 0,02...0,2 мм з відносним подовженням до 3%. Їх об'ємна петельна структура сприяє зменшенню контактних напружень, дозволяє збільшити міцність і жорсткість виробів при

відносному зсуві шарів у 2 – 2,5 рази. Недоліком даного методу є викривлення арматури, що при зростанні товщини призводить до погіршення властивостей в напрямку основи.

Для товстостінних деталей армуюча структура може бути утворена переплетінням трьох ниток (рис. 23.2, а). При виготовленні матеріалів, армованих системою трьох ниток, міцність на розтяг в трансверсальному напрямку підвищується у 4 – 5 разів, модуль зсуву між шарами – у 1,2 рази, міцність при зсуві між шарами – у 2,5 рази.

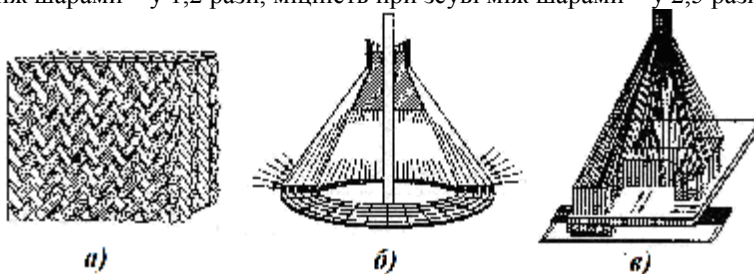


Рис. 23.2. Просторові структури армуючих волокон.

Останнім часом для отримання трьохвимірних армованих структур широко застосовуються технології просторового плетіння. Отримання необхідної структури здійснюють безперервним плетінням волокон під час руху по напрямним базової плити в декатровій (рис. 23.2, в) або циліндричній (рис. 23.2, б) системі координат.

На даний момент використовуються композити на основі скляних, борних, вуглецевих органічних та інших видів волокнистих наповнювачів, що дозволяє знизити вагу конструкцій, отримати вироби з підвищеною корозійною стійкістю і теплостійкістю, високими питомими характеристиками.

Одним з найбільш ефективних сучасних методів підвищення фізико-механічних властивостей композитів є їх *гібридизація* – використання різних за складом волокон і забезпечення їх просторового розташування в композиті. На рис. 23.3 показано структуру боросклоніту, в якому паралельно укладені волокна бору оплетені скляною ниткою з кроком 4 мм.

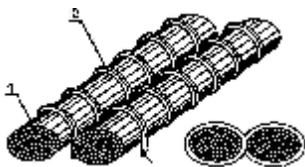


Рис. 23.3. Схема будови гібридного наповнювача.

Використання волокон з різними міцностними, деформативними, геометричними та іншими характеристиками, а також варіація їх співвідношень дозволяє отримати наповнювачі з

можливістю регулювання фізико-механічних властивостей композитів у широких межах, а також вдосконалити технологію виготовлення останніх.

Основними фізико-механічними характеристиками полімерних композиційних матеріалів є лінійна густина, площа поперечного перерізу, модуль пружності I роду і границя міцності на розтяг волокнистих армуючих матеріалів, для найбільш використовуваних волокон ці характеристики наведені в табл. 23.1.

Таблиця 23.1

Фізико-механічні характеристики армуючих волокон

Тип волокна	Густина, г/см ³	Границя міцності на розтяг $\sigma_{\text{міц}}$ МПа	Модуль пружності E, ГПа	Відносне подовження при розриві δ , %
<i>Скляні волокна</i>				
Mg-Al-Si високоміцне	2,50	480	9	5,4
Свинцеве	4,3	168	5	4,7
Плавлений кварц	2,21	600	7	4,8
<i>Вуглецеві волокна</i>				
Надвисокоміцні	1,7	7200	300	2,4
Високомодульні	1,75	5700	300	1,9
<i>Органічні волокна</i>				
Поліамідні	1,15	17,0	-	14,5
Лавсанові	1,30	15,0	0,5	17,1
Арамідні	1,16	11,7	0,76	2,7

- *Лінійна густина* – маса в грамах 1000 метрів волокна (текс). Також використовується позасистемна одиниця денсьє – маса в грамах 900 метрах волокна. Її визначення проводиться в аналітичних або спеціальних торсіонних вагах шляхом зважування відрізка наповнювача довжини 100 см з наступним перерахунком на стандартну довжину в 1 км. Для виміру лінійної густини тонких низькомодульних волокон застосовують віброскопічний метод, заснований на вимірі резонансної частоти наповнювача при коливаннях під дією напруження розтягу.

- *Площа поперечного перерізу* – величина, яка визначається виходячи з середнього значення лінійної густини і густини матеріалу волокон.

- *Модуль пружності I роду* – напруження, яке необхідно створити в поперечному перерізі волокна, щоб збільшити його довжину в два рази.

- *Границя міцності* – визначається в розрахунку на одиницю лінійної густини (Н/текс) за результатами досліджень на розрив кільцевих зразків. Результати руйнівного навантаження мають ймовірнісний характер, тому точність вимірів напряму залежить від кількості вимірів.

Для найбільш поширених волокон основні фізико-механічні характеристики представлені в табл. 23.1.

Опис лабораторної установки

Для визначення лінійної густини в тексах проводиться вимір ваги армуючого наповнювача обраної довжини і перерахунок на вагу 1 км. Зважування виконують на лабораторних аналітичних вагах з точністю до $0,0001 \text{ гр} = 10^{-7} \text{ кг}$.

Міцність наповнювача і руйнівне зусилля, яке приходиться на одиницю лінійної густини (Н/текс), визначається за результатами досліджень на розрив. Розтяг армуючого наповнювача до розриву відбувається на розривній машині з точністю 20 Н, для досліджень використовують кільцеві зразки.

Схема приладдя для визначення зусилля на розрив показана на рис. 23.4, воно складається з двох кілець, встановлених на штирях пластини із заданою міжцентровою відстанню. Досліджуваний волокнистий матеріал закріплюють на приладді, обмотавши ним кільця. Під час дослідження кільця з армуючим матеріалом знімають з штирів і встановлюють в захватах розривної машини УМ-2.

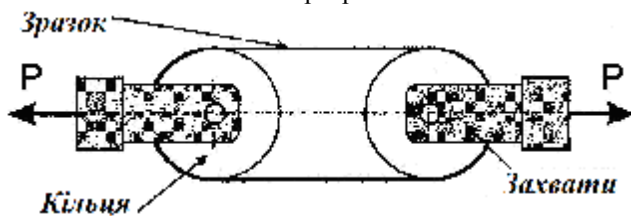


Рис. 23.4. Схема лабораторного приладдя.

Досліджувані характеристики носять ймовірнісний характер, тому точність отриманих результатів залежить від кількості проведених вимірювань.

Порядок виконання роботи

1. Вирізати три відрізки досліджуваних ниток дожини $l = 10 \text{ м}$ і згорнути кожен з них кільцем для розміщення на вагах, після чого визначити масу m_k кожного з кілець у грамах.
2. Визначити лінійну густину матеріалу по формулі

$$T = 100m_k.$$

3. За допомогою мікрометра виміряти діаметр волокна, після чого визначити площу його поперечного перерізу

$$F = \frac{\pi d^2}{4}.$$

4. Намотати перше кільце на приладдя і зв'язати його в неробочій зоні. Встановити приладдя в захвати розривної машини.

5. Обертаючи ручку розривної машини, навантажити досліджуваній зразок до його розриву. Значення сили розтягу зразка записувати після кожного оберту ручки (1 об = 0,11 мм).

6. За результатами виміру побудувати діаграму розтягу $P = P(\Delta l)$, визначити руйнівну силу P_{max} і границю міцності матеріалу $\sigma_{міц}$

$$\sigma_{міц} = \frac{P_{max}}{F}.$$

6. Повторити пункти 2 – 6 для двох інших зразків, діаграми розтягу побудувати в тих же координатних осях.

7. Результати вимірів і розрахунків занести до табл. 23.2.

Таблиця 23.2

Тип волокна	Вага 1 метру, г/м	Лінійна густина T , текс	Площа перерізу F , мм ²	Руйнівне зусилля $P_{гак}$, Н	Абсолютна похибка ΔP_{max} , Н	Границя міцності $\sigma_{міц}$, МПа	Абсолютна похибка $\Delta \sigma_{міц}$, МПа	Відносна похибка ϵ , %
1.								
2.								
3.								
Сер.								

Контрольні запитання

1. Що називається лінійною густиною волокнистого наповнювача?
2. Що називається масовою густиною волокнистого наповнювача?
3. В яких одиницях вимірюються лінійна і масова густина наповнювача?
4. Назвіть методи виміру лінійної густини наповнювача.
5. Як визначити площу поперечного перерізу волокнистого наповнювача?
6. Як вимірюють граничні напруги в армуючих матеріалах при розтягу?

Лабораторна робота № 24

ДОСЛІДЖЕННЯ МІЖШАРОВОЇ МІЦНОСТІ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи: визначити характеристики міцності та дослідити характер руйнування композиційних матеріалів при зсуві шарів, експериментальним шляхом визначити границю міцності зв'язуючого при зсуві.

Теоретичні відомості

Руйнування від зсуву шарів відбувається під дією дотичних напружень в площині контакту армованих шарів композиту, з'єднаних між собою полімерним прошарком. Міцність шарового композиту в такому випадку визначається його адгезією – міцністю зчеплення волокна з матричним матеріалом, а також характеристиками зв'язуючого при зсуві.

Якщо руйнування зразка відбувається вздовж границі волокно – матриця, то має місце адгезійне руйнування композита; руйнування полімерного прошарку або армуючого наповнювача називається когезійним руйнуванням. У чистому вигляді адгезійне або когезійне руйнування зустрічаються дуже рідко, найчастіше один вид руйнування супроводжується іншим, тобто має місце адгезійно-когезійне руйнування.

Міцність композиційних матеріалів при зсуві шарів зазвичай значно менше міцності зв'язуючого при зсуві. Це, як правило, викликано високою концентрацією дефектів на границі розподілу між компонентами, наявністю замаслювачів та концентраторів напружень, обумовлених відмінністю фізико-механічних характеристик компонентів.

Для підвищення характеристик при зсуві між шарами використовують методи обробки поверхні наповнювачу розчинниками, відпал та видалення замаслювачу, обробку кислотами для активізації поверхневих реакційно спроможних груп матеріалу наповнювача, утворення міжшарових зшивок шляхом введення елементів наповнювача в напрямку, перпендикулярному площині шарів. В результаті покращуються умови змочування поверхні волокон зв'язуючим, підвищується адгезійна міцність, утворюються міцні хімічні зв'язки між компонентами. В окремих випадках міжшарова міцність стає навіть вищою за міцність матриці на зсув.

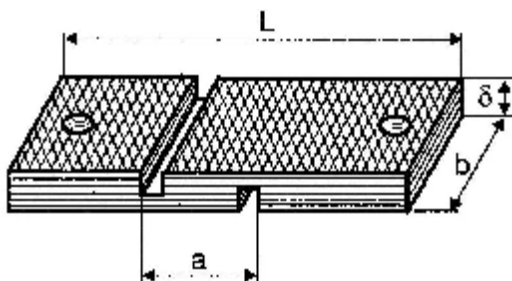
Розміри і форма зразків, а також структурні та технологічні дефекти матеріалу, які неможливо врахувати аналітично, створюють істотний вплив на величину міжшарової міцності. Тому результати

досліджень є оціночними, вони насамперед дозволяють зробити висновок відносно сумісності обраних компонентів композит, а також про ступінь реалізації характеристик зв'язуючого в композиті.

Опис лабораторної установки

В залежності від виду готового виробу, для досліджень на міжшаровий зсув використовуються зразки двох видів плоскі та кільцеві. Також часто використовують зразки-свідки – зразки, отримані під час реалізації технологічного процесу одночасно з кінцевим виробом при тих самих технологічних режимах.

В даній лабораторній роботі використовують плоскі шарові



зразки, отримані методом пресування, з наповнювачами у вигляді скляної, органічної або вуглецевої армуючої тканини. Вид зразка для досліджень показаний на рис. 24.1.

Рис. 24.1. Зразок для дослідження міжшарової міцності

Виточки на зразку виконані торцевою фрезою на глибину $0,6\delta$. З метою більш точного суміщення осі зразку з напрямком дії розтягуючого зусилля при встановленні його в захват розривної машини на його краях виконують отвори.

Для визначення границі міцності зв'язуючого при зсуві виготовляють зразки-стрічки. При цьому режими, при яких полімерне зв'язуюче переходить в твердий стан, аналогічні відповідним режимам усього композиційного матеріалу.

Міцність при зсуві в даній роботі визначають за схемою подвійного зрізу. Пристосування для такого випробування показане на рис. 24.2, а саме випробування проводиться на універсальній розривній машині УМ-5.

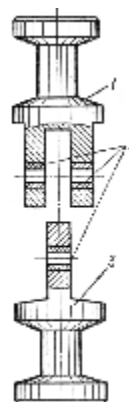


Рис. 24.2. Пристосування для кріплення зразку

Порядок виконання роботи

1. На ділянці між виточками за допомогою штангенциркуля виміряти ширину зразку b .
2. Виміряти відстань a між виточками з обох боків і визначити її середнє значення. Після цього знайти площу шару композиту, який приймає навантаження

$$F = a_{ср}b.$$

3. Встановити зразок в захвати розривної машини і повільно навантажити його до руйнування, записуючи силу розтягу після кожного оберту ручки машини (1 об = 0,12 мм).
4. За результатами досліду побудувати діаграму розтягу $P = P(\Delta l)$ і визначити по ній руйнівне навантаження P_p .
5. Міцність композиту при міжшаровому зсуві визначити по формулі

$$\tau = \frac{P_p}{F}.$$

6. Визначити абсолютну $\Delta\tau$ і відносну ε похибки вимірювання дотичних напружень, скориставшись методикою розрахунку непрямих похибок, наведеною в розділі «Математична обробка результатів вимірювань фізичних величин». Результати вимірювань і розрахунків занести до табл. 24.1.

Таблиця 24.1

№	Матеріал зразку	a , мм	b , мм	F , мм ²	P_p , кН	τ , МПа	$\Delta\tau$, МПа	ε , %
1								
2								
3								

Контрольні запитання

1. Які матеріали називають композиційними, в чому їх переваги перед традиційними конструкційними матеріалами?
2. За якими ознаками класифікуються композиційні матеріали?
3. Що називається адгезією композитних матеріалів?
4. Дайте визначення адгезійного і когезійного руйнування при міжшаровому зсуві?
5. Якими методами можна підвищити міжшарову міцність композиційних матеріалів?
6. Як впливає на міжшарову міцність об'ємний вміст волокна і розташування волокон у шарах по відношенню до лінії дії зовнішнього навантаження?

ДОДАТКИ

Додаток 1

Зразок оформлення титульного листа

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ
УКРАЇНИ**

**ЛУГАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені Тараса Шевченка**

Кафедра інженерно-педагогічних дисциплін

Факультет ІТОТТ

група _____

П.І.Б. _____

З В І Т

з лабораторної роботи № _____

« _____ »

<i>Допущений</i>	
<i>Виконав</i>	
<i>Здав</i>	

Луганськ – 2012

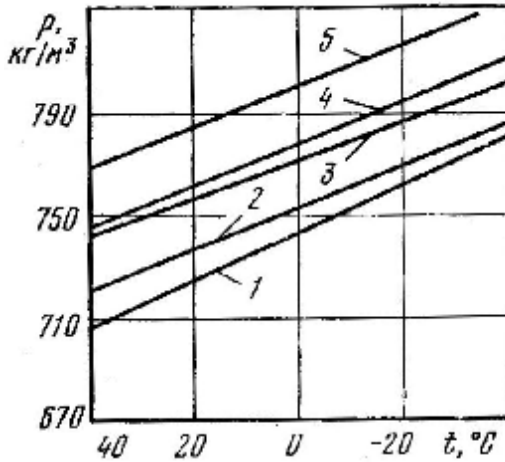
Таблиця Стьюдента для визначення достовірності результатів
вимірювань $p_{сер}$ за значенням параметра t

Кількість вимірювань	Значення $p_{сер}$					
	$t = 1$	$t = 1,5$	$t = 2$	$t = 2,5$	$t = 3$	$t = 3,5$
2	0,50	0,62	0,705	0,758	0,795	0,823
3	0,58	0,72	0,816	0,870	0,905	0,928
4	0,61	0,76	0,861	0,919	0,942	0,961
5	0,62	0,78	0,884	0,933	0,960	0,975
6	0,63	0,80	0,898	0,976	0,970	0,983
7	0,64	0,81	0,908	0,953	0,976	0,987
8	0,646	0,82	0,914	0,959	0,980	0,990
9	0,650	0,822	0,919	0,963	0,983	0,992
10	0,653	0,826	0,923	0,966	0,985	0,993
11	0,656	0,829	0,927	0,958	0,987	0,994
12	0,658	0,832	0,929	0,970	0,988	0,995
13	0,660	0,834	0,931	0,972	0,989	0,996
14	0,662	0,836	0,933	0,974	0,990	0,996
15	0,664	0,838	0,935	0,974	0,990	0,996
16	0,665	0,839	0,936	0,975	0,991	0,997
17	0,665	0,840	0,937	0,976	0,992	0,997
18	0,666	0,841	0,938	0,977	0,992	0,997
19	0,667	0,842	0,939	0,978	0,992	0,997
20	0,666	0,843	0,940	0,978	0,993	0,997
∞	0,683	0,866	0,955	0,986	0,997	0,9995

Таблиця переведення твердості, визначеної різними методами

HV	Брінелль		Роквелл			HV	Брінелль		Роквелл		
	d, мм	HB	HRC	HRA	HRB		d, мм	HB	HRC	HRA	HRB
1224	2,20	780	72	84	–	228	4,00	229	20	61	100
1116	2,25	745	70	83	–	223	4,05	223	19	60	99
1022	2,30	712	68	82	–	217	4,10	217	17	60	98
941	2,35	682	66	81	–	213	4,15	212	15	59	97
868	2,40	653	64	80	–	208	4,20	207	14	59	95
804	2,45	627	62	79	–	201	4,25	201	13	58	94
746	2,50	601	60	78	–	197	4,30	197	12	58	93
694	2,55	578	58	78	–	192	4,35	192	11	57	92
650	2,60	555	56	77	–	186	4,40	187	9	57	91
606	2,65	534	54	76	–	183	4,45	183	8	56	90
587	2,70	514	52	75	–	178	4,50	179	8	56	90
551	2,75	495	50	74	–	174	4,55	174	6	55	89
534	2,80	477	49	74	–	171	4,60	170	4	55	88
502	2,85	461	48	73	–	166	4,65	167	3	54	87
474	2,90	444	46	73	–	162	4,70	163	2	53	86
460	2,95	429	45	72	–	159	4,75	159	1	53	85
435	3,00	415	43	72	–	155	4,80	156	0	52	84
423	3,05	401	42	71	–	152	4,85	152	–	–	83
401	3,10	388	41	71	–	149	4,90	149	–	–	82
390	3,15	375	40	70	–	148	4,95	146	–	–	81
380	3,20	363	39	70	–	143	5,00	143	–	–	80
361	3,25	352	38	69	–	140	5,05	140	–	–	79
344	3,30	341	36	68	–	138	5,10	137	–	–	78
334	3,35	331	35	67	–	134	5,15	134	–	–	77
320	3,40	321	33	67	–	131	5,20	131	–	–	76
311	3,45	311	32	66	–	129	5,25	128	–	–	75
303	3,50	302	31	66	–	127	5,30	126	–	–	74
292	3,55	293	30	65	–	123	5,35	123	–	–	73
285	3,60	285	29	65	–	121	5,40	121	–	–	72
278	3,65	277	28	64	–	118	5,45	118	–	–	71
270	3,70	269	27	64	–	116	5,50	116	–	–	70
261	3,75	262	26	63	–	115	5,55	114	–	–	68
255	3,80	255	25	63	–	113	5,60	111	–	–	67
249	3,85	248	24	62	–	110	5,65	110	–	–	66
240	3,90	241	23	62	102	109	5,70	109	–	–	65
235	3,95	235	21	61	101	108	5,75	107	–	–	64

Залежність густини автомобільних палив від температури



1 – А-72 (зимовий), 2 – А-72 (літній), 3 – АИ-93 (літній етилований),
4 – АИ-93 (літній етилований), 5 – А-76 (літній).

Густина найбільш поширених порід деревини

Порода	Густина при вологості 15%	Густина свіжозрубаної деревини
Ялиця	0,39	0,83
Ялина	0,46	0,79
Сосна	0,52	0,86
Осика	0,50	0,76
Липа	0,51	0,79
Береза	0,64	0,83
Бук	0,65	0,95
Модрина	0,68	0,84
Клен	0,70	0,86
Ясен	0,71	0,92
Дуб	0,72	1,03

Додаток 6

До визначення температури нагрівання зразка

Температура нагрівання, К	Час нагрівання (хв) залежно від форми зразка		
	коло, на 1 мм діаметра	квадрат, на 1 мм товщини	пластина, на 1 мм товщини
870	2,0	3,0	4,0
970	1,5	2,2	3,0
1100	1,0	1,5	2,0
1170	0,8	1,2	1,6
1270	0,4	0,6	0,8

Додаток 7

До визначення швидкості охолодження зразка

Охолоджувальне середовище	Швидкість охолодження (К/с) в інтервалі температур	
	823...923 К	470...570 К
Вода при 290 К	600	270
Вода при 300 К	300	270
Вода при 323 К	100	270
Вода при 347 К	30	200
Розчин у воді їдкою натру (10%) при 290 К	1200	300
Розчин у воді солі <i>NaCl</i> (10%) при 290 К	1100	300
Дистильована вода	250	200
Емульсія мастила у воді	70	200
Мильна вода	30	200
Мінеральне машинне мастило	150	25
Трансформаторне мастило	120	30

Додаток 8

До визначення температури нормалізації вуглецевих сталей

Вміст вуглецю в сталі, %	Температура нормалізації, К	Вміст вуглецю в сталі, %	Температура нормалізації, К
0,1	1190...1210	0,8	1040...1060
0,2	1160...1180	1,0	1100...1120
0,4	1120...1140	1,2	1170...1190
0,6	1070...1090	1,4	1210...1230

Найбільш поширені типи термопар

№ п/п	Назва термопари, матеріал термоелектродів	Умовне позначення	Діапазон виміру, °С	Припустима межа виміру, °С
1	Платинородій – платина (платина 90% + родій 10%) – чиста платина	ТПП	0 ÷ 1300	1600
2	Платинородієва (30% родію) – (6% родію)	ТПР	300 ÷ 1600	1800
3	Вольфрам-ренієвий (вольфрам 90% + реній 5%) – вольфрам-реній (20% ренію)	ТВР	0 ÷ 2200	2500
4	Хромель – алюмелева (хромель 89%Ni +0,2% Mn +1% Fe +9,8% Cr) – алюмель (94% Ni + 2,5 % Mn + 1,5 Si+ 2% Al)	ТХА	-200 ÷ 1000	1300
5	Хромель – копель (хромель – копель 56 % Cu+44% Ni)	ТХК	-50 ÷ 600	800
6	Мідь-копель (56 % Cu+44% Ni)	ТМК	-200 ÷ 100	300
7	Мідь – міднонікелева	ТММН	-200 ÷ 400	600
8	Залізнонікелева	ТЗМН	200 ÷ 700	900
9	Нікельхром – міднонікелева	ТНЗМН	200 ÷ 700	950

Список використаної літератури

1. Гарнець В.М. Матеріалознавство. Підручник. – К. Кондор. 2009. – 386 с.
2. Колесов С. Н., Колесов И. С. Материаловедение и технология конструкционных материалов: Учебник для вузов. – М.: Высш. шк., 2007. – 535 с.
3. Бруква В. В., Пятничук Т. В. Матеріалознавство для столярів: Підруч. для учнів проф.-техн. навч. закладів. – К.: Техніка, 2006. – 296 с.
4. Материаловедение. Технология конструкционных материалов: учебное пособие для студентов вузов /под ред. В. С. Чередниченко. – 5-е изд., стер. – М.: Издательство «Омега-Л», 2009. – 752 с.
5. Геллер Ю. А., Рахштадт А. Г. Материаловедение. Методы анализа, лабораторные работы и задачи. – М.: Металлургия, 1983. – 384 с.
6. Материаловедение: Практикум/ В.И. Городниченко, Б.Ю. Давиденко, В.А. Исаев и др.; Под ред. С.В. Ржевской. – М.: Логос, 2004. – 272 с.
7. Гуляев А. П. Металловедение. – М.: Металлургия, 1978. – 480 с.
8. Лахтин Ю. М., Леонтьева В. П. Материаловедение. – М.: Машиностроение, 1990. – 528 с.
9. Ульянов Е. А. Коррозионностойкие стали и сплавы. – М.: Металлургия, 1980. – 208 с.
10. Материалы в машиностроении. Т. 1 – 5. М.: Машиностроение, 1969 – 1970.
11. Кузін О. П., Яцюк Р. А. Матеріалознавство татермічна обробка металів. – Львів, Афіша, 2002. – 300 с.
12. Блантер М. Е. Теория термической обработки. – М.: Металлургия, 1984. – 328 с.
13. Никифоров В. М. Технологія металів і конструкційні матеріали: Переклад з російської. – К.: Вища школа, 1984. – 344 с.
14. Матеріалознавство: Підручник /О.М. Бялік, В.С. Черненко, В.М. Писаренко, Ю.Н. Москаленко. – 2-е вид. перероб. і допов. – К.: Політехніка, 2002. – 384 с.
15. Попович В.В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: Навч. посіб. для вузів: Кн. 1. – Львів: Укр. ДЛТУ., 2000. – 264 с.
16. Яцюк А.І., Яцюк Р.А. Матеріалознавство: Навч. посіб. – К.:ІЗМН, 1996. – 168 с.

Ю. Г. Козуб, С. В. Рощупкін, О. В. Калайдо. «Матеріалознавство та матеріали в машинобудуванні». – Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт для студентів напряму підготовки «Професійна освіта» профілю підготовки «Транспорт» та «Технологія виробництва і переробка продуктів сільського господарства» усіх форм навчання.

Матеріалознавство – наука, що вивчає властивості речовин та їх спрямовану зміну з метою отримання речовин з наперед заданими робочими характеристиками. Вона вивчає фізичні та механічні властивості конструкційних і експлуатаційних матеріалів, процеси, що протікають в матеріалах під впливом різних чинників, різні типи обробки матеріалів з метою покращення робочих характеристик.

Матеріалознавство є дуже динамічною наукою, оскільки майже щодня з'являються нові матеріали, на зміну класичним металевим конструкційним матеріалам приходять полімери і композиційні матеріали. В університетській інженерній освіті матеріалознавство виконує роль фундаменту, на якому базується вивчення подальших загальнотехнічних дисциплін: теоретичної механіки, опору матеріалів, теорії машин і механізмів, деталей машин, а також ряду спеціальних дисциплін.

Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт з дисципліни *«Матеріалознавство та матеріали в машинобудуванні»* мають з практичного боку сприяти закріпленню матеріалу, отриманого на лекційних заняттях та під час самостійної роботи з літературою.

Методичні рекомендації складаються з 24 лабораторних робіт за усіма розділами дисципліни, кожна робота містить загальні теоретичні відомості, порядок виконання експерименту, детальний алгоритм розрахунку величини, що знаходиться.

Рекомендовано для студентів 1 – 2 курсів напряму підготовки «Професійна освіта» профілю підготовки «Транспорт» та «Технологія виробництва і переробка продуктів сільського господарства» денної та заочної форм навчання, може бути використаний студентами інших технічних спеціальностей.

Ключові слова: кристал, атом, міцність матеріалу, структура, термічна обробка.

Ю. Г. Козуб, С. В. Рошупкин, А. В. Калайдо. «Материаловедение и материалы в машиностроении». - Методические рекомендации к выполнению лабораторных работ для студентов направления подготовки «Профессиональное образование» профиля подготовки «Транспорт» и «Технология производства и переработка продуктов сельского хозяйства» всех форм обучения.

Материаловедение – наука, изучающая свойства веществ и их направленное изменение с целью получения материалов с заранее заданными рабочими характеристиками. Она изучает физические и механические свойства конструкционных и эксплуатационных материалов, протекающие в них под действием различных факторов процессы, разные виды обработки материалов с целью улучшения рабочих характеристик.

Материаловедение является очень динамической наукой, поскольку почти ежедневно появляются новые материалы, на смену классическим металлическим конструкционным материалам приходят полимеры и композиционные материалы. В университетском инженерном образовании материаловедение выполняет роль фундамента, на котором базируется изучение дальнейших общетехнических дисциплин: теоретической механики, сопротивления материалов, теории машин и механизмов, деталей машин, а также ряда специальных дисциплин.

Методические рекомендации к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Материаловедение и материалы в машиностроении» должны оказать практическую помощь в закреплении материала, полученного на лекционных занятиях и во время самостоятельной работы с литературой.

Методические рекомендации состоят из 24 лабораторных работ по всем разделам дисциплины, каждая работа содержит общие теоретические сведения, порядок выполнения эксперимента, детальный алгоритм расчета искомой величины.

Рекомендовано для студентов 1 – 2 курсов направления подготовки «Профессиональное образование» профилей подготовки «Транспорт» и «Технология производства и переработка продуктов сельского хозяйства» дневной и заочной форм обучения, может быть использован студентами других технических специальностей.

Ключевые слова: кристалл, атом, прочность материала, структура, термическая обработка.

Yu. G. Kosub, S. V. Roschupkin, A. V. Kalaydo. «Materials in machine building». For the students of specialty «Professional education» directs of education «Transport» and «Technology of production and recycling of agriculture products»full-time and part-time forms of studies/

«*Materials in machine building*» is the science, which study matter properties and its directed change with the purpose of materials receipt with the beforehand set working descriptions. «*Materials in machine building*» also studies physical and mechanical properties of construction and operating materials, it flowing under the action of different processes factors, different types of materials treatment with the purpose of working descriptions improvement.

«*Materials in machine building*» is very dynamic science, as new materials appear almost daily, polymers and composition materials come on changing to classic metallic construction materials. In university engineering education this discipline executes the role of foundation which the study of further technical disciplines such as: theoretical mechanics, strength of materials, machines and mechanisms theory, machines details and some special disciplines.

Methodical recommendations to implementation of laboratory works on discipline «*Materials in machine building*» must render a practical help in fixing of material, got on lecture employments and during independent work with literature.

A given textbook contains 24 laboratory works on all discipline divisions, every work contains theoretical information, order of experiment implementation, algorithm of research size calculation.

It is recommended for the students 1 – 2 courses specialty «Professional education» directs of education «Transport» and «Technology of production and recycling of agriculture products»full-time and part-time forms of studies, also can be used by the students of other technical specialties.

Keywords: crystal, atom, structure of material, structure, heat treatment.

Навчально-методичне видання

КОЗУБ Юрій Гордійович
РОЩУПКІН Сергій Васильович
КАЛАЙДО Олександр Віталійович

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ТА МАТЕРІАЛИ В МАШИНОБУДУВАННІ

*Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт
для студентів напряму підготовки «Професійна освіта»
профілю підготовки «Транспорт» та «Технологія
виробництва і переробка продуктів сільського
господарства» усіх форм навчання*

За редакцією авторів
Комп'ютерне макетування – О. В. Калайдо

Здано до склад. 08.10.2012 р. Підп. до друку 07.11.2012 р.
Формат 60x84 1/16. Папір офсет. Гарнітура Times New Roman
Друк ризографічний. Ум. друк. арк. 7,15
Наклад 200 прим. Зам. № 2.

Видавець і виготовлювач
Видавництво Державного закладу
«Луганський національний університет імені Тараса Шевченка»
вул. Оборонна, 2, м. Луганськ, 91011. т/ф: (0642) 58-03-20.
e-mail: alma-mater@list.ru
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК №3459 від 09.04.2009 р.