

**Дрогобицький державний педагогічний університет
імені Івана Франка**

**Роман Яким,
Володимир Попович**

**МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ТА ТЕХНОЛОГІЯ
КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ**

ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

**Дрогобич
2017**

УДК 620.22
ББК 30.3
Я 45

Рекомендовано до друку вченою радою
Дрогобицького державного педагогічного університету
імені Івана Франка (протокол № 8 від 25. 05. 2017 р.)

Рецензенти:

Сиротюк А. М., доктор технічних наук, доцент, старший науковий співробітник відділу фізичних умов руйнування та міцності матеріалів в агресивних середовищах Фізико-механічного інституту імені Г. В. Карпенка НАН України;

Скварок Ю. Ю., кандидат технічних наук, доцент кафедри машинознавства та основ технологій Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка.

Я 45 **Яким Р. С. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів: лабораторний практикум [для студ. ВНЗ] / Яким Р. С., Попович В. Д. – Дрогобич: Редакційно-видавничий відділ Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка, 2017. – 210 с.**

Лабораторний практикум укладено для підготовки фахівців першого (бакалаврського) рівня вищої освіти галузі знань 01 «Освіта» спеціальності 014 «Середня освіта (Трудове навчання та технології)».

Матеріал охоплює повний курс лабораторних робіт відповідно до програми навчальної дисципліни „Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів”.

Кожна лабораторна робота містить мету, необхідний перелік обладнання та матеріали, чітко визначений теоретичний і довідковий матеріал. Детально описані обладнання, методики, інструкції, основні відомості теоретичного характеру, завдання і методичні рекомендації до їхнього виконання. Також подані питання для самоконтролю, приклади виконання робіт, що підвищує якість самостійної підготовки студентів.

Бібліографія 21 назва

УДК 620.22
ББК 30.3

Дрогобицький державний педагогічний
університет імені Івана Франка, 2017

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1. Вивчення процесу первинної кристалізації.....	7
2. Макроскопічний метод дослідження металів і сплавів.....	16
3. Ознайомлення з мікроскопічним методом дослідження металів і сплавів.....	23
4. Вимірювання твердості металів.....	40
5. Дослідження зразків зі сталей на предмет встановлення їхньої марки методом іскри.....	57
6. Вимірювання мікротвердості матеріалів.....	64
7. Вивчення діаграми стану залізо-цементит.....	75
8. Вивчення мікроструктури деревини.....	88
9. Визначення вад деревини.....	100
10. Дослідження параметрів технології виготовлення виливка в разовій пісково-глиняй формі.....	112
11. Дослідження технології виготовлення виливок у металевих формах....	127
12. Дослідження параметрів технологічного процесу виготовлення виробів листовим штампуванням.....	135
13. Дослідження параметрів технологічного процесу кування і розробка кресленика кованки.....	151
14. Дослідження мікроструктури зварних з'єднань.....	165
15. Дослідження прогартуваності сталей методом торцевого гартування.....	174
16. Дослідження дефектів мікроструктури сталі після термообробок.....	186
ДОДАТКИ.....	194
ЛІТЕРАТУРА.....	206

ВСТУП

Безупинний розвиток та удосконалення технологій сучасного виробництва, упровадження у них новітніх досягнень науки ставить підвищені вимоги до рівня науково-технічної грамотності вчителів і викладачів у сфері професійно-технічної освіти. Він, в основному, формується у процесі вивчення дисциплін інженерного циклу, поміж яких чільне місце посідає класичний курс “Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів”.

Цінність лабораторних занять у тому, що студенти застосовують теоретичний лекційний матеріал на практиці. Також важливо озброїти студента знаннями про: будову й властивості, принципи раціонального застосування й експлуатації металевих, неметалевих і композиційних матеріалів; класифікацію і маркування найбільш поширених конструкційних матеріалів, промислові способи виготовлення, обробки конструкційних матеріалів із метою отримання заготовок чи готових виробів. А також сформувані вміння: досліджувати структуру матеріалів, визначати властивості й вибирати конструкційні матеріали для виробів з урахуванням вимог до них. Це має особливе значення для студентів, позаяк дасть їм змогу у майбутньому на високому фаховому рівні здійснювати навчальний процес у школах і професійно-технічних навчальних закладах чи успішно працювати в умовах реального сучасного виробництва.

Лабораторні роботи орієнтовані на створення творчої робочої ситуації при дослідженнях, формування логічного, наукового мислення, а також застосовувати теоретичний матеріал на практиці.

Методично вважається найдоцільнішим, щоб студенти заздалегідь знали, яку саме послідовність робіт вони будуть виконувати на заняттях, а кожна робота виконувалася групою студентів під наглядом викладача і лаборанта. Для кращої самостійної підготовки студент має підготувати відповіді на питання для самопідготовки.

Згідно з чинною системою оцінювання рівня знань студентів, і усі аспекти лабораторних робіт підлягають оцінюванню. Студенту нараховуються відповідні бали за: підготовку до заняття, правильність виконання роботи, вміння правильно робити висновки при захисті звіту.

Перед початком проведення роботи в лабораторії викладач або лаборант інструктує студентів з техніки безпеки, виробничої санітарії, протипожежних заходів. Студенти мають скласти залік і розписатися у спеціальному журналі про ознайомлення з правилами безпеки в лабораторії “Матеріалознавство та ТКМ”.

У процесі виконання лабораторних робіт студент має у звітних бланках систематично і ретельно записувати результати спостережень і досліджень, вимірювань і обчислень, переконавшись у їх правильності.

У результаті виконання лабораторних робіт студент має набути таких компетентностей:

а) *загальна компетентність*:

- вміти формулювати проблему, яка розглядається;
- вміти визначати мету й завдання дослідження;
- вміти описати методи й методику експериментального дослідження;
- вміти складати план проведення експериментального дослідження (послідовність дій і операцій) і вносити до нього зміни;
- вміти будувати одну або декілька робочих гіпотез дослідження;
- вміти відбирати попередні знання, необхідні для планування і виконання дослідження та інтерпретації його результатів;
- сформулювати задачу шляхом проведення аналізу технологічних способів виготовлення, обробки конструкційних матеріалів з метою отримання заготовок чи готових виробів;
- застосовувати методи аналізу та синтезу вибирати методи, способи, прийоми та засоби, придатні для розв'язування поставленої задачі;
- розв'язувати поставлену задачу;
- синтезувати отримані результати у логічні висновки та знання із метою їхнього ефективного застосування у практичній діяльності;

б) *предметна компетентність*:

- **визначати** структуру металевих металів; твердість, мікротвердість, границю міцності й величину деформації матеріалів; компоненти та фази системи «залізо – вуглець» за діаграмою стану «залізо – вуглець»; тип і призначення матеріалу за його маркуванням; будову, основні властивості порід деревини; вади, дефекти деревини; прогресивні способи виготовлення заготовок і деталей машин;
- **уявляти** сфери застосування матеріалів у житті суспільства; мікро-, макро-структуру, будову матеріалів; принципи кристалізації металів і сплавів; фазовий склад сплавів; дефекти деревини; можливості застосування певних способів виготовлення, обробки конструкційних матеріалів із метою отримання заготовок чи готових виробів; будову основного технологічного устаткування, обладнання, що застосовується у виготовленні конструкційних матеріалів та їхній обробці; принципи функціонування основного технологічного устаткування, обладнання, що застосовується у виготовленні конст-

рукційних матеріалів та при їхній обробці; технологічні процеси виготовлення конструкційних матеріалів та їхньої обробки;

- **обґрунтовувати** правильність розуміння процесів кристалізації, фазових і поліморфних перетворень; правильність виготовлення мікрошліфів для мікро- і мікроаналізу металів; правильність застосування матеріалів за їхніми фізичними, хімічними, механічними, технологічними властивостями; оптимальний вибір матеріалів, а також правильність оптимальних параметрів технологічних процесів виготовлення, обробки конструкційних матеріалів з метою отримання заготовок чи готових виробів; правильність вибору способу отримання заготовок чи готових виробів із конструкційних матеріалів; правильність розуміння процесів функціонування основного технологічного устаткування, обладнання, що застосовується у виготовленні конструкційних матеріалів та при їхній обробці; правильність розуміння процесів формоутворення поверхонь заготовок, півфабрикатів і виробів.
- **характеризувати** структуру, фазовий склад металевих матеріалів; процеси кристалізації, фазові та поліморфні перетворення; мікро-, макроструктуру, будову матеріалів; тип і призначення матеріалу за його маркуванням; властивості металевих, неметалевих і композиційних матеріалів; будову, основні властивості порід деревини; дефекти деревини; способи виготовлення, обробки конструкційних матеріалів із метою отримання заготовок чи готових виробів; основне технологічне устаткування, обладнання, що застосовується у виготовленні конструкційних матеріалів та при їхній обробці; технологічні процеси формоутворення поверхонь заготовок, півфабрикатів і виробів.
- **наводити** приклади: сфери використання матеріалів у житті суспільства; мікро-, макроструктури, будови матеріалів, фізичних, хімічних, механічних, технологічних властивостей матеріалів; маркування матеріалів; будови, основних властивостей порід деревини; дефектів деревини; способів виготовлення, обробки конструкційних матеріалів із метою отримання заготовок чи готових виробів; оптимальних параметрів технологічних процесів виготовлення заготовок, півфабрикатів, деталей; основного технологічного устаткування, обладнання, що застосовується у виготовленні конструкційних матеріалів та при їхній обробці; технологічних процесів формоутворення поверхонь заготовок, півфабрикатів і виробів; дефектів та браку, які можливі при виконанні технологічних операцій обробки конструкційних матеріалів із метою отримання заготовок чи готових виробів; якісних показників технологічних процесів отримання заготовок і техпроцесів обробок.

Лабораторна робота № 1

Тема. ВИВЧЕННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРВИННОЇ КРИСТАЛІЗАЦІЇ.

Мета роботи: вивчити процес первинної кристалізації розчинів різних солей.

Обладнання та матеріали: біологічний мікроскоп, скляні пластинки, розчини солей (червона кров'яна сіль – хлористий амоній, хлористий натрій), піпетки або бюретки, гліцерин, вата, фільтрувальний папір.

Теоретичні відомості

Процес утворення твердої кристалічної фази із рідини називається *первинною кристалізацією*. Тверда кристалічна фаза характеризується закономірним розміщенням атомів у просторі – просторовою кристалічною ґраткою.

Перекристалізація деяких металів і сплавів у твердому стані чи у процесі охолодження називається *вторинною кристалізацією*.

Процес кристалізації відбувається унаслідок переходу системи до більш термодинамічно стійкого стану з меншим запасом вільної енергії.

Більш термодинамічно стійким буде той стан, який володіє найменшим запасом вільної енергії (рис. 1.1). При температурі $T_{пл}$ вільна енергія металу в твердому $F_{тв}$ і рідкому F_p станах однакова. Нижче цієї температури менший запас вільної енергії має твердий метал, тому фазовий стан твердого металу є стійкішим порівняно з рідким металом. При температурі вищій $T_{пл}$ – навпаки.

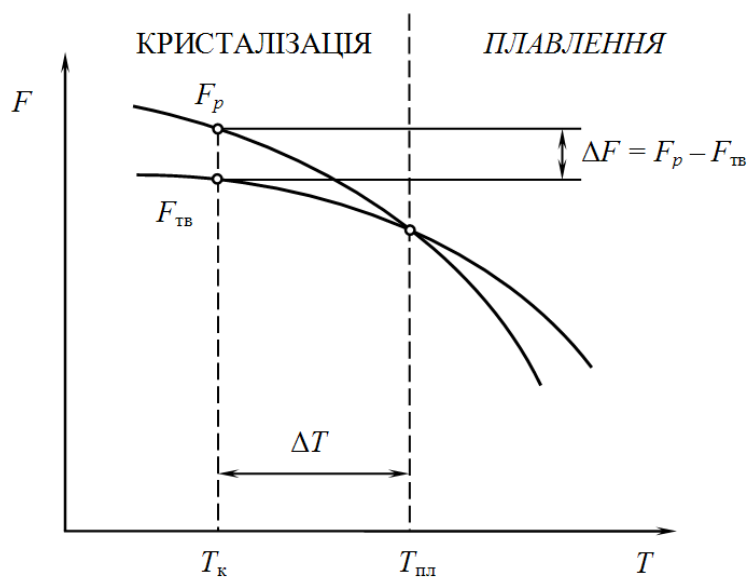


Рисунок 1.1 – Залежність вільної енергії рідкого F_p і твердого $F_{тв}$ стану металу від температури

Отже, процес кристалізації може розвинутиись тільки тоді, коли є різниця вільних енергій $\Delta F = F_p - F_{\text{тв}} > 0$, тобто при охолодженні металу до нижчої, ніж рівноважна температура T_k .

Різниця між температурами $T_{\text{пл}}$ і T_k , при якій відбувається процес кристалізації, називається *ступенем переохолодження* ($\Delta T = T_{\text{пл}} - T_k$). Ступінь переохолодження металів зростає із збільшенням швидкості охолодження. Кристалізація в такому випадку відбувається при температурах, значно нижчих за рівноважну температуру $T_{\text{пл}}$.

Російський вчений Д. К. Чернов (1839 – 1921 рр.) встановив, що процес кристалізації металів починається з утворення центрів (зародків) кристалізації і подальшим їх ростом. Отже, процес кристалізації складається з двох елементарних процесів (рис. 1.2): утворення центрів кристалізації, ріст кристалів.

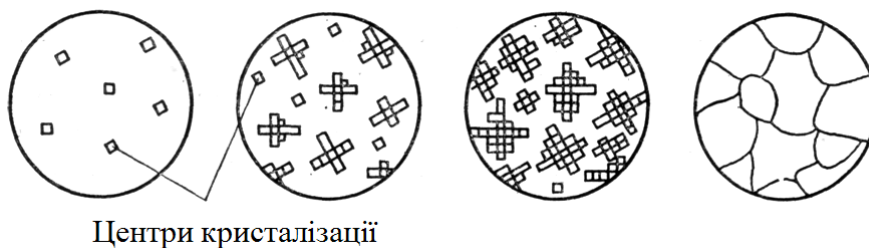


Рисунок 1.2 – Послідовні етапи процесу кристалізації

Із зародків починають рости первинні або головні осі кристалів. За головними, і перпендикулярно до них, ростуть осі другого порядку, а на них – осі вищих порядків. Такі первинні деревоподібні кристали отримали назву *дендритів* (рис. 1.3). Подальший ріст дендритів і формування кристалів відбувається через рідкий метал, що заповнює міжосьовий об'єм.

Ріст кристалів ґрунтується на тому, що до їхніх зародків приєднуються щоразу нові атоми рідкого металу. Спочатку кристали ростуть вільно, зберігаючи правильну геометричну форму, але це відбувається тільки до моменту зустрічі з суміжними кристалами. У місці стикання кристалів ріст окремих їхніх граней припиняється і розвиваються не всі, а тільки деякі грані кристалів. У результаті кристали не мають правильної геометричної форми. Такі кристали називають *кристалітами* чи *зернами*.

На момент завершення процесу кристалізації величина і кількість зерен залежить від швидкості зародження і росту кристалів.

Швидкість зародження кристалів – кількість кристалів, які утворилися в одиниці об'єму за одиницю часу.

Швидкість росту кристалів – швидкість збільшення лінійних розмірів кристала.

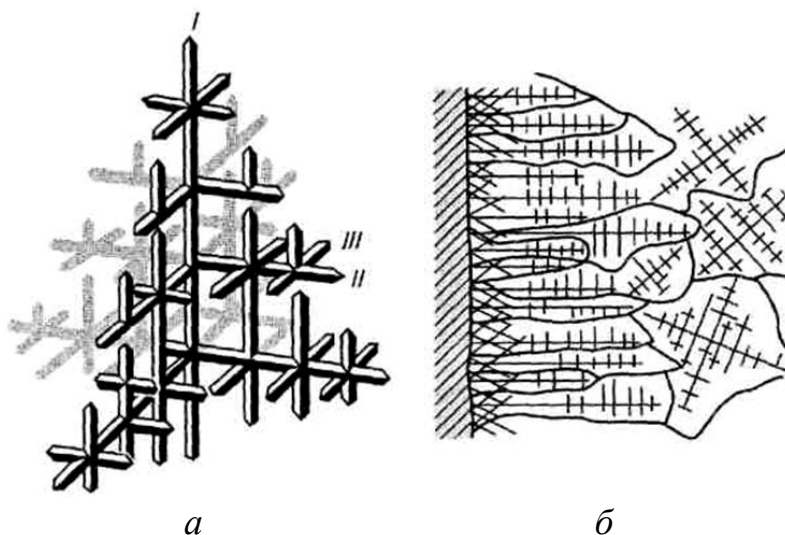


Рисунок 1.3 – Схема будови дендритного кристала (а) та росту дендритів за перерізом зливка (б), I – III – порядок осей дендритів

Швидкість зародження і росту кристала залежить від ступеня переохолодження ΔT . Така залежність у вигляді схеми зображена на рис. 1.4. При невеликому ступені ΔT_1 (рис. 1.4, 1.5) зароджується мало кристалів, ростуть вони повільно і на момент затвердіння стають дуже великими. Із збільшенням ступеня переохолодження до ΔT_2 і ΔT_3 кількість кристалів, що зароджуються за одиницю часу, зростає більше, ніж швидкість їх росту, тому розмір зерна в затверділому металі зменшується, а їхня кількість збільшується. Таким чином, швидкість охолодження можна регулювати розмір зерна, а в результаті – механічними, технологічними та іншими властивостями металів чи сплавів.

Окрім перелічених (швидкості зародження і росту кристалів, ступінь переохолодження), на процес кристалізації впливають і інші фактори:

- неметалеві домішки (сторонні);
- інохідні тіла;
- газові включення;
- механічна дія;
- зовнішні поля (магнітне, гравітаційне), тиск;
- теплоємність і теплопровідність самого металу;
- температура розливання металу;
- стан поверхні виливниці або форми.

У металах і сплавах великий вплив на розмір зерна мають дрібні неметалеві включення, які попадають у рідкий метал з елементів футеровки печі,

вливниці або форми, а також оксиди металів, які вводяться спеціально. Названі нерозчинні включення відіграють важливу роль центрів кристалізації, сприяють одержанню дрібнозернистого металу.

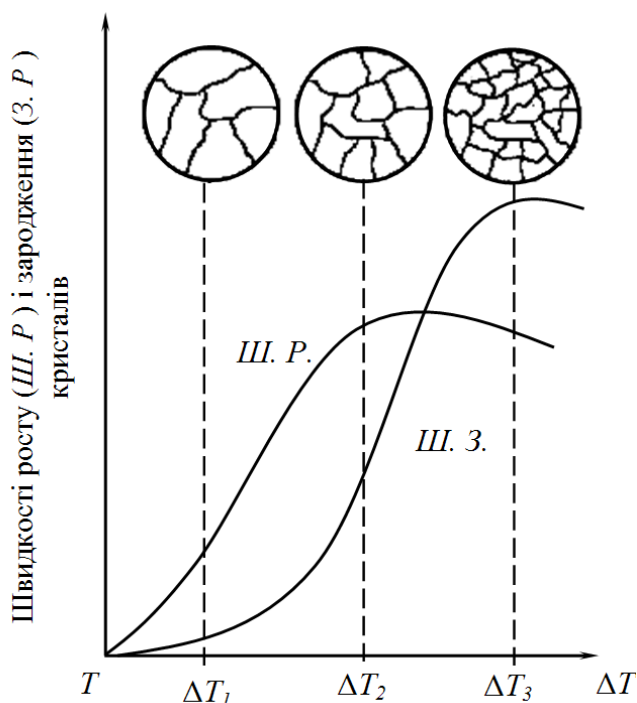


Рисунок 1.4 – Схема залежності швидкості росту (Ш. Р.) і швидкості зародження (З. Р.) кристалів від ступеня переохолодження

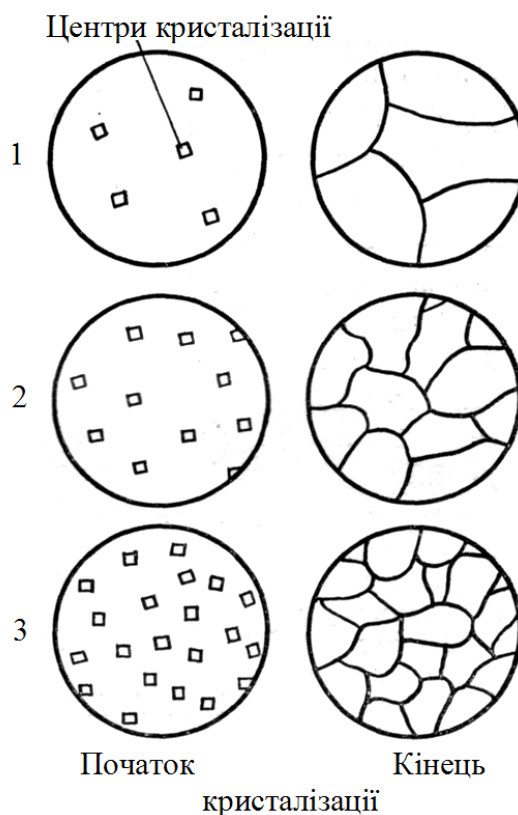


Рисунок 1.5 – Вплив швидкості охолодження на виникнення центрів кристалізації і на величину зерен, що утворюються:
a – повільне охолодження (ΔT_1),
б – прискорене охолодження (ΔT_2),
в – швидке охолодження (ΔT_3)

Процес штучного регулювання розмірів зерна отримав назву *модифікування*, а речовини, які при цьому застосовують, називають *модифікаторами*. Модифікаторами є метали Al, Ti, Zn, V та інші, або їхні сполуки – карбіди, нітриди, оксиди.

На форму кристалів впливають:

- швидкість охолодження;
- напрям відведення тепла;
- наявність нерозчинних частин, які можуть відігравати роль центрів – кристалізації;
- магнітне поле.

При швидкому та нерівномірному відведенні тепла метали кристалізуються у вигляді розгалужених, дендритних кристалів. Кристалізація в цьому випадку починається з утворення осі кристала, яка росте в напрямку відведення тепла. При подальшій кристалізації осі розгалужуються і кристал приймає дендритну будову. Процес завершується заповненням всього міжосьового простору і тоді кристал набуває округлої форми, що витягнута в основному напрямку відведення тепла. Такі кристали називаються *стовпчастими*.

При повільному і рівномірному відведенні тепла, а також при великій кількості центрів кристалізації, кристали ростуть з однаковою швидкістю у всіх напрямках і набувають *рівноважної форми* (у вигляді багатогранника).

Спостерігати за процесом кристалізації металів і сплавів утруднено через їхню непрозорість і високі температури кристалізації. Тому вивчення цих процесів здійснюється різними непрямими методами.

У цій роботі вивчають процеси первинної кристалізації насичених розчинів різних солей, що спричинені випаровуванням розчинника.

Вивчають процес кристалізації за допомогою біологічного мікроскопа.

Водні розчини солей готуються насиченими з таким розрахунком, щоб незначне випаровування води призвело до перенасичення розчину.

При спостереженні кристалізації рідкого розчину солі (як і сталевого виливка) можна фіксувати три різні зони, які відрізняються своєю формою і величиною (рис. 1.4).

Утворення трьох зон можна пояснити різними умовами кристалізації. Кристалізація краплі солі починається з країв, оскільки тут найшвидше випаровується розчинник і розчин швидко перенасичується. На краю краплі виникає зона дуже дрібних кристалів, подібних до ділянки 1 на рис. 1.6, що вказує на зародження великої кількості центрів кристалізації. Значне перенасичення водного розчину солі можна порівняти із значним переохолодженням металу, що кристалізується.

До дрібнозернистої зони прилягає зона більших стовпчастих кристалів, подібних до ділянки 2 на рис. 1.6. Напрямок росту цих кристалів, як правило, перпендикулярний до краю краплі.

Більший розмір утворених кристалів показує на зменшення кількості центрів кристалізації і збільшення швидкості росту кристалів. Направлений ріст кристалів, що зумовлює стовпчасту форму, спричинений невеликим перенасиченням рідкого розчину в товстішому шарі краплі. Тут немає центрів кристалі-

заці, не пов'язаних з раніше затверділою зоною біля країв краплі, а утворені на межі дрібнозернистої зони центри ростуть в напрямку центру краплі, поступово перенасичуючи краї.

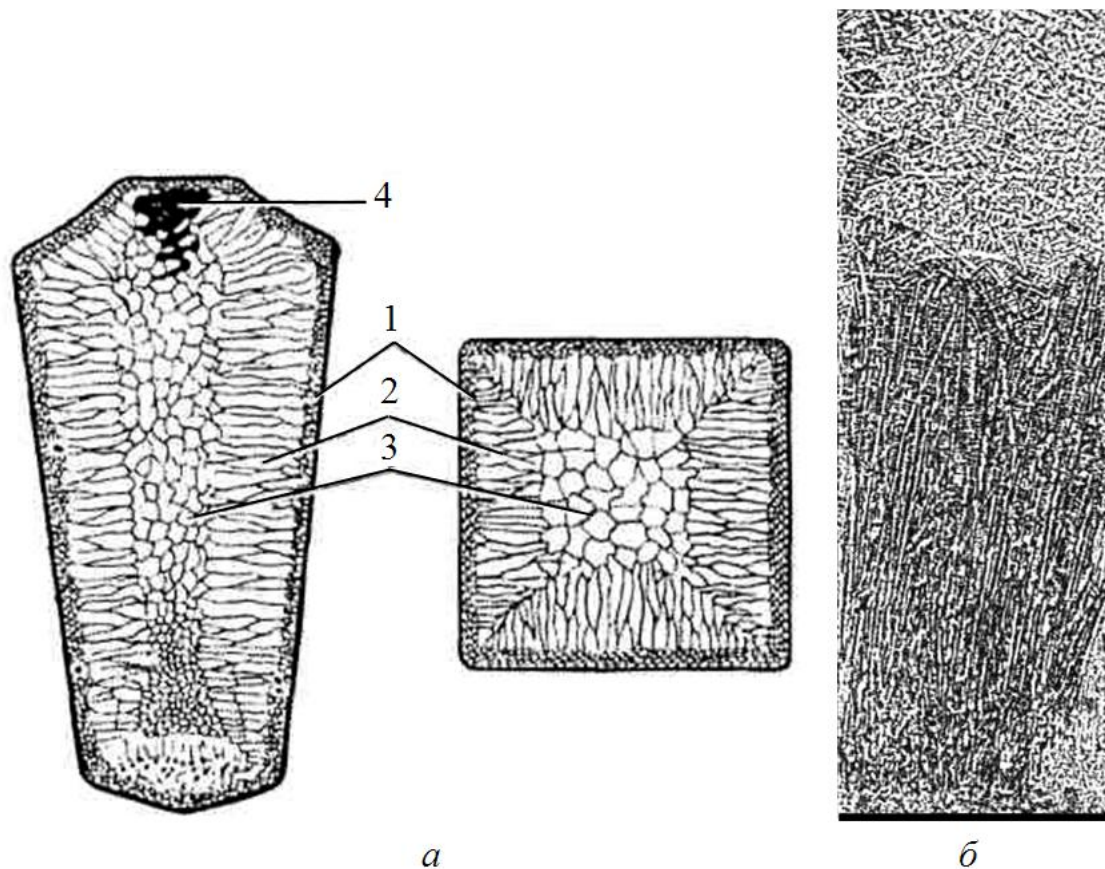


Рисунок 1.6 – Будова (*a*) та мікроструктура (*б*) сталевго зливка:
 1 – зона дрібних неорієнтованих кристалів біля стінки виливниці;
 2 – зона стовпчастих, витягнутих до центра зливка, кристалів,
 3 – зона рівновісних кристалів, 4 – раковина усадки

Поступове перенасичення шарів, що потовщуються в напрямку центру краплі, створює умови кристалізації, подібні до направлено відведення тепла у формі або виливниці для металу.

У центрі краплі виникає третя зона, яка складається з дуже великих рівноважних кристалів, подібних до ділянки 3 на рис. 1.6. Великий розмір кристалів показує на малу кількість утворених центрів кристалізації у зв'язку з повільним перенасиченням у цій частині краплі. Малий ступінь перенасичення, так само як і малий ступінь переохолодження в центральній зоні виливка, створює умови для зародження великої кількості різноорієнтованих рівноважних кристалів.

Порядок виконання роботи

1. На чисто вимиту суху скляну пластинку, легко змащену тонким шаром гліцерину, нанести піпеткою краплю розчину однієї із солей. Шар гліцерину слід промокнути фільтрованим папером, щоб поверхня стала матовою, після цього крапля краще утримується на пластині. Для прискорення процесу кристалізації краплю слід робити тонкою.
2. Скляну пластинку з краплею солі помістити на предметний столик біологічного мікроскопа й спостерігати за процесом кристалізації.
3. Після затвердіння краплі замалювати її структуру, вказати різні зони кристалізації.
4. Пояснити утворення кожної зони.
5. Вивчити будову сталевго вилівка й замалювати його макроструктуру у поздовжньому розрізі.

Питання для самоконтролю

1. Що називається процесом первинної кристалізації?
2. Що називається процесом вторинної кристалізації?
3. При яких умовах починається процес кристалізації металів?
4. Що називається ступенем переохолодження?
5. Від яких чинників залежить величина зерна у металі?
6. Як називається процес штучного регулювання розмірів зерен у металі?
7. Як впливає величина зерна на механічні властивості металів?
8. Нарисуйте і поясніть схему будови сталевго вилівка.

Література

1. Рудик Д. Ф. Технологія металів та інших конструкційних матеріалів. Лабораторний практикум / Рудик Д. Ф. – К.: Видавниче об'єднання «Вища школа» Головне видавництво, 1975. – С. 16 – 20.
2. Сиротюк А. М. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів: методичні матеріали до виконання лабораторних робіт [для студентів вищих навчальних закладів]. Частина I / А. М.Сиротюк, О. В. Матієчко. – Дрогобич: Редакційно-видавничий відділ Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка, 2008. – С.16 – 20.
3. Гарнець В. М. Матеріалознавство: підручник. / В. М. Гарнець. – К.: Кондор, 2010. – С. 18 – 30.
4. Основи матеріалознавства / [Сиротюк М., Чернець М., Опеляк М., Сиротюк А.]; за заг. ред. Чернеця М. В., Сиротюка А. М. – Дрогобич: Вид. Дрогобицького держ. педагогічного уні-ту ім. Івана Франка; Коло, 2007. – С. 91 – 106.
5. Яким Р. С. Матеріалознавство: лабораторний практикум / Яким Р. С. – Дрогобич: Коло, 2013. – С. 5 – 13.

ЗВІТ

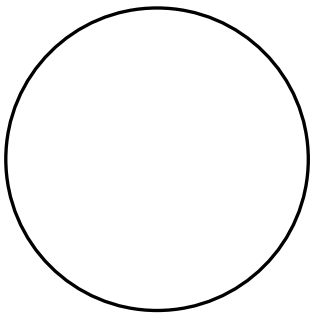
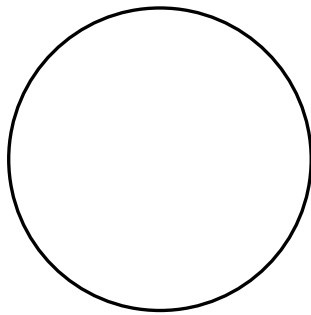
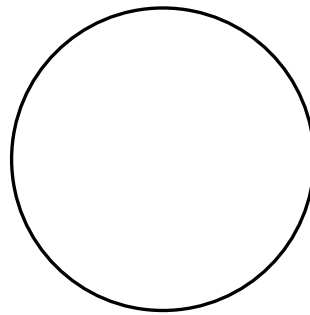
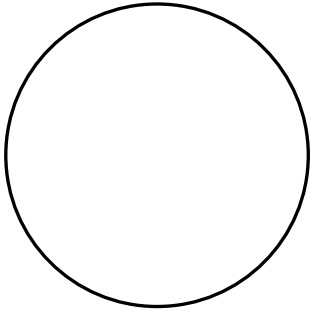
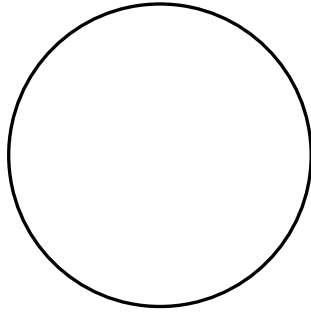
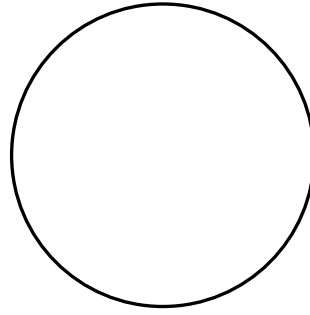
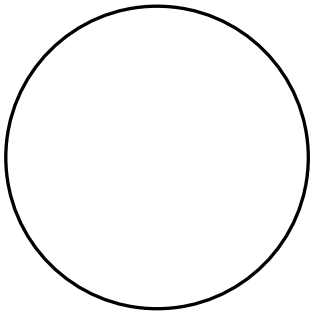
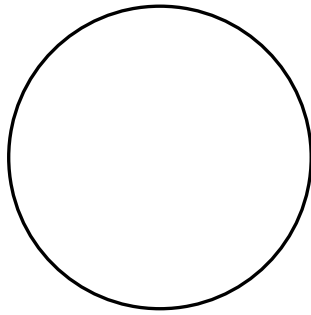
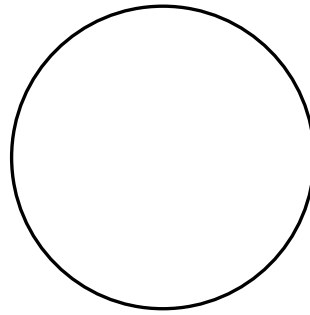
про виконану лабораторну роботу №1

Тема. ВИВЧЕННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРВИННОЇ КРИСТАЛІЗАЦІЇ

Мета роботи: вивчити процес первинної кристалізації розчинів різних солей.

Обладнання та матеріали: біологічний мікроскоп, скляні пластинки, розчини солей (червона кров'яна сіль – хлористий амоній, хлористий натрій), піпетки або бюретки, гліцерин, вата, фільтрувальний папір.

ЗВІТНА ТАБЛИЦЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Назва речовини, що досліджується	Стадія зародження кристалів	Стадія росту кристалів	Повна кристалізація
Червона кров'яна сіль, K_3FeC_6			
Сульфід міді, $CuSO_4$			
Фосфат натрію, $NaPO_4$			

Висновки

1. Яка необхідна умова процесу кристалізації?
2. Які параметри впливають на процес кристалізації?
3. Яка причина утворення трьох різних зон при завершеній кристалізації?

« » 20 р. / група

Дата виконання роботи




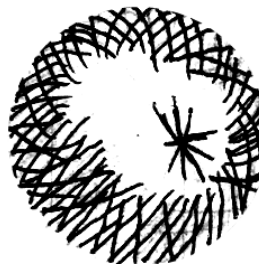





Прізвище та ініціали студента / підпис студента

Оцінювання роботи

Допуск до роботи	Виконання роботи	Захист роботи	За роботу

Робота прийнята /

Приклад варіанта зарисовування результатів досліджень кристалізації

Назва речовини, що досліджується	Стадія зародження кристалів	Стадія росту кристалів	Повна кристалізація
Червона кров'яна сіль, K_3FeC_6			
Сульфід міді, $CuSO_4$			
Фосфат натрію, $NaPO_4$			

Лабораторна робота № 2

Тема. МАКРОСКОПІЧНИЙ МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ

Мета роботи: ознайомлення з методикою виявлення макроструктур.

Обладнання та матеріали: зразки для виявлення макроструктур, шліфувальний папір № 12, № 8, фільтрувальний папір, бромосрібний папір (фотопапір), тампони, піпетки, 5% розчин H_2SO_4 , Реактив Гейна, реактив для визначення товщини цементованого шару ($2 \text{ г } CuCl_2 \cdot 2H_2O + 1 \text{ мл } HCl$ на 100 мл спирту), 5% водний розчин HCl , 25% водний розчин гіпосульфїту, фарфорова ванна, лупа.

Теоретичні відомості

Метод дослідження структури металів і сплавів на порівняно великих зразках неозброєним оком або при незначному (10 – 30-кратному) збільшенні називається *макроскопічним (макроаналізом)*. Зразки, на яких проводять макроаналіз, називаються *макрошліфами*, а будова металів, яка вивчається за допомогою макроаналізу, називається *макроструктурою*.

Макроаналіз можна проводити на зломі металу і на макрошліфі. Дослідження злому найпростіше й найдоступніше, але воно дає лише поверхові відомості про структуру металу. У зломі виявляють внутрішні дефекти, величину і характер розміщення зерен, якщо вони досить великі, пластичні властивості зразка. Від макроструктури залежать технологічні й експлуатаційні властивості напівфабрикатів або виробів. Тому макроаналіз широко використовують для наукового дослідження і заводського контролю сплавів.

За допомогою макроаналізу можна виявити:

- пористість суцільності металу;
- дендритну будову та зону транскристалізації в литому металі,
- хімічну неоднорідність литого металу й наявність в ньому грубих інерідних включень;
- волокнисту структуру деформованого металу;
- структурну або хімічну неоднорідність металу, створену хіміко-термічною, або термомеханічною обробкою.

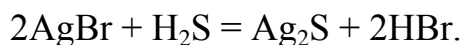
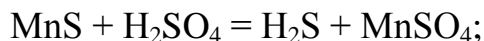
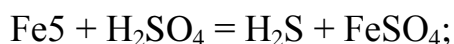
Щоб виявити дефекти макроструктури у відливках, виливках, кованих і катаних заготовках, використовують макрошліфи, протравлені різними реактивами, їхній склад, призначення та умови травлення, подані в додатку А.

Сталь характеризується загальною хімічною неоднорідністю. Це зумовлено тим, що хімічний склад сталі дає тільки середню кількісну характеристику без розподілу складових частин її по перерізу деталі. Будова металу та його властивості залежать від кількості в сталі вуглецю, фосфору та сірки, їхнього розподілу по перерізу, а також від процесу кристалізації і обробки деталей тиском.

Виявлення дефектів, які порушують суцільність литої та деформованої сталі макрошліфи піддають глибокому травленню розчином Гейна, який містить на 1000 мл води 253 г хлористого амонію (NH_4Cl_2) і 85 г хлорної міді (CuCl_2).

Для виявлення загальної ліквації (неоднорідності) вуглецю, фосфору та сірки використовують реактив 7 (табл. 2.1). При травленні сталевого макрошліфа залізо переходить з поверхні в розчин, а на його місце осідає мідь, яка захищає поверхню від дальшої дії на неї хлористих солей реактиву. У результаті місця, збагачені вуглецем, фосфором і сіркою, менше захищені міддю і сильно протравляються. Після зняття шару міді ділянки ліквації будуть темнішими, ніж ділянки з меншим вмістом вуглецю, фосфору та сірки.

Характер розподілу сірки по перерізу деталі виявляють методом зняття відбитка за Бауманом. За цим методом бромосрібний папір, змочений в 5% водному розчині сірчистої кислоти, накладають на поверхню макрошліфа. Між сульфідами сірчистої кислоти й бромистим сріблом, які входять до складу фотоемульсії (у якій фіксується бромосрібний папір), відбудуться такі хімічні реакції:



У результаті таких реакцій в місцях з підвищеним вмістом сірки буде виділятися більше H_2S , отже, і більше Ag_2S . Темні включення Ag_2S на фотопапері свідчать про форму та характер розподілу сульфідів (сірки) по перерізу шліфа (рис. 2.1).

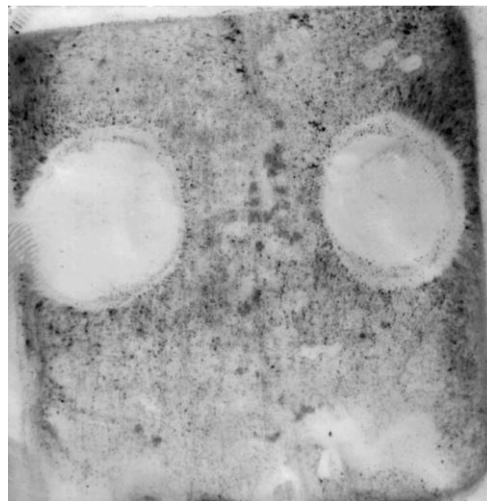


Рисунок 2.1 – Фотографія відбитку макрошліфа на фотопапері (визначення розподілу сульфідів)

Для виявлення волокнистої будови макроструктур з булатним візерунком, уражених флокенами, зварних швів, перепаленої сталі, дендритних структур у литих деталях, внутрішніх і зовнішніх дефектів (раковин, тріщин, пористості

тощо) застосовують метод глибокого травлення відшліфованого зразка одним із реактивів, які наведені в табл. 2.1.

Макроаналізом також оцінюють загальну міцність сплавів. Для цього вивчають зломи. Вони поділяється на крихкий (рис. 2.2, *а*), в'язкий (рис. 2.2, *б*) і втомний (рис. 2.3). Крихкий злом має кристалічну будову і може проходити по границях зерен (міжкристалічний) або по зернах металу (транскристалічний). Міжкристалічні зломи найчастіше бувають при руйнуванні металів, які працюють при підвищеній температурі. Часто зломи мають змішаний характер: частина – ділянки міжкристалічні, а частина – транскристалічні.

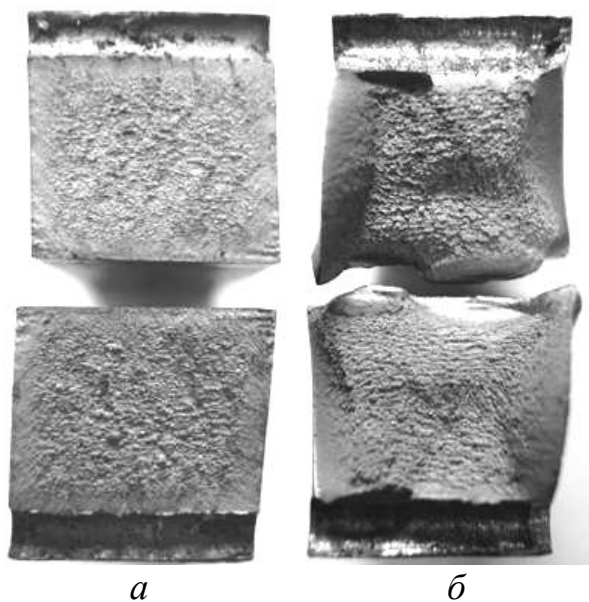


Рисунок 2.2 – Зломи зразків зі сталі 14ХН3МА, виготовлених за різною технологією, випробуваних на ударну в'язкість:

а – зразок з ударною в'язкістю $KCU=3,2 \text{ Дж/см}^2$;

б – зразок з ударною в'язкістю $KCU=17,8 \text{ Дж/см}^2$

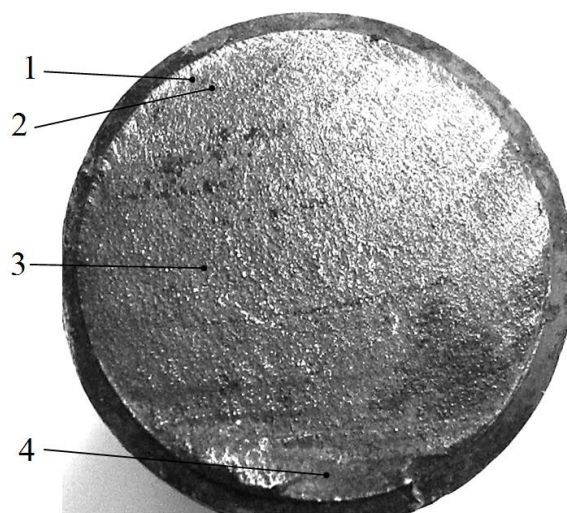


Рисунок 2.3 – Зовнішній вигляд втомного злому, утвореного зруйнуванням загартованого і низько відпущеного зразка зі сталі 37ХН3А ($\times 2p$):
1 – осередок руйнування;
2 – зона утворення тріщини;
3 – зона поширення тріщини;
4 – зона доломування

В'язкі зломи мають волокнисту будову. Такі зломи супроводжуються значною пластичною деформацією, внаслідок чого форма та розміри зерен металу сильно видозмінені.

Втомний злом характеризується двома зонами руйнування. Перша зона – це втома з дрібнозернистою, фарфороподібною, часто ступеневошаровою будовою. Друга зона, залежно від будови і властивостей металів, характеризує крихке або в'язке руйнування.

Ділянку злому, що відповідає макроскопічному місці зародження руйнування, називають *осередком руйнування*, а ділянку, що прилягає до осередку руйнування, – зоною утворення тріщини.

Зоною поширення тріщини називають ділянку злому, що прилягає до зони утворення тріщини і відповідає стадії поширення тріщини. Ділянку злому, що утворилася на заключній стадії поширення тріщини і при руйнуванні твердого тіла (розташована біля тієї частини поверхні, яка протилежна до осередку руйнування), називають *зоною доломування*.

У мікрорельєфі злому поряд із ознаками крихкого та в'язкого руйнування наявні втомні борозенки та тракові сліди. На рис. 2.3 добре видно втомні борозенки, які мають вигляд витягнутих заглибин і виступів, що чергуються, зорієнтованих перпендикулярно до локального напрямку поширення тріщини.

Макроаналізом також виявляють зону термічного зміцнення сталей. Зокрема, товщину загартованого шару виявляють оцінюванням злому, а також травленням. Загартовані шари при оцінці поверхні злому мають більш дрібнозернисту структуру, а при травленні мають помітну різницю в кольорі, який залежить від реактиву.

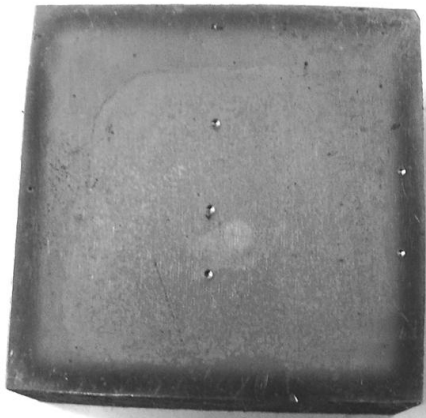


Рисунок 2.4 – Фото протравленого й випробуваного на твердість (точкові вм'ятини) квадратного зразка зі сталі 14ХНЗМА, на якому виявлено цементований шар (темний контур)

Товщину цементованих шарів на зразках чи спеціально підготовлених темплетях з деталей здійснюють травленням у реактиві, що має склад: $2\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + 1 \text{ мл HCl}$ на 100 мл етилового спирту. Також поширена практика травлення 4% розчином азотної кислоти HNO_3 в етиловому спирті при температурі 18 – 20°C, тривалістю 20 – 30 с. Ілюстрацією такого травлення є фотографія макрошліфа цементованого зразка, подана на рис. 2.4.

Порядок виконання роботи

1. Отримати партію зразків для досліджень.
2. Підготувати відповідні поверхні зразків, провівши низку шліфувань для отримання чистоти поверхні для якісного макроскопічного дослідження.

3. Провести дослідження макроструктури за методом Баумана на предмет розподілу сірки і фосфору для заданого зразка. Для цього треба лист бромосрібного паперу занурити на світлі в 10% водний розчин сірчаної кислоти й витримати протягом 5 – 10 хв. Просушити його між двома листами фільтрувального паперу, покласти емульсійною стороною на макрошліф, притиснути і погладити рукою або гумовим валиком, щоб видавити повітряні бульбашки. Витримати 3 хв, а потім обережно зняти з макрошліфа фотопапір, промити у воді і зафіксувати в 25% водному розчині гіпсосульфату, зануривши його в цей розчин і травити 3 хв, потім знову промити у воді і висушити.
4. Провести поверхнєве травлення реактивом Гейна зварного шва. Дослідити якість зварного шва, оцінивши виявлені дефекти.
5. Визначити товщину цементованого шару за допомогою реактиву $2\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + 1 \text{ мл HCl}$ на 100 мл етилового спирту. Оцінити візуально рівномірність товщини цементованого шару.
6. Відбиток на фотопапері, а також протравлені макрошліфи можна сфотографувати, або зарисувати і розмістити у звітній таблиці.
7. Вивчити макроструктуру зламів колекції зразків.
8. Охарактеризувати виявлені структури та дефекти, відповідно зафіксувавши їх у звітному бланку.

Питання для самоконтролю

1. Що називається макроскопічним аналізом?
2. Що можна виявити за допомогою макроаналізу?
3. Які є найпоширеніші реактиви для виявлення макроструктури металів?
4. Які особливості макроструктури крихкого злому?
5. Які особливості макроструктури в'язкого злому?
6. Які є ділянки в площині втомного злому?
7. У чому суть методу макроскопічного аналізу Баумана?
8. Які дефекти зварного шва виявляються за допомогою макроаналізу?

Література

1. Рудик Д. Ф. Технологія металів та інших конструкційних матеріалів. Лабораторний практикум. / Рудик Д. Ф. – К.: Видавниче об'єднання «Вища школа» Головне видавництво, 1975. – С. 25 – 29.
2. Гуляєв А. П. Металловедение: [учебн. для вузов]. – [6-е изд. перераб. и доп.]. / Гуляев А. П. – М.: Металлургия, 1986. – С. 49, 74 – 75, 282, 353-354.
3. Яким Р. С. Матеріалознавство: лабораторний практикум / Яким Р. С. – Дрогобич: Коло, 2013. – С. 14 – 20.

ЗВІТ

про виконану лабораторну роботу № 2

Тема. МАКРОСКОПІЧНИЙ МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ.

Мета роботи: ознайомлення з методикою виявлення макроструктур.

Обладнання та матеріали: зразки для виявлення макроструктур, шліфувальний папір № 12, № 8, фільтрувальний папір, бромосрібний папір (фотопапір), тампони, піпетки, 5% розчин H_2SO_4 , Реактив Гейна, реактив для визначення товщини цементованого шару ($2 \text{ г } CuCl_2 \cdot 2H_2O + 1 \text{ мл } HCl \text{ на } 100 \text{ мл спирту}$), 5% водний розчин HCl , 25% водний розчин гіпсосульфату, фарфорова ванна, лупа.

ЗВІТНА ТАБЛИЦЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Рисунок (фотографія) макрошліфа	Характеристика макрошліфа	Хімічний склад реактиву	Дефекти	Неоднорідність, ліквіація

Висновки

1. У чому суть макроскопічного аналізу?
2. Яку інформацію можна отримати при вивченні зломів?
3. Які дефекти сталевих заготовок і деталей можна виявити макроаналізом?

« ___ » _____ 20 р. _____ / _____ група _____
 Дата виконання роботи Прізвище та ініціали студента / підпис студента

Оцінювання роботи

Допуск до роботи	Виконання роботи	Захист роботи	За роботу

Робота прийнята _____ / _____

Приклад заповнення звітної таблиці результатів досліджень

Рисунок (фотографія) макрошліфа	Характеристика макрошліфа	Хімічний склад реактиву	Дефекти	Неоднорідність, ліквіація
	Макроструктура клапана (протравлені волокна вказують на правильність виготовлення заготовки)	4-10 см ³ азотної кислоти (густина 1,49 г/см ³), решта – вода	Не виявлено	Неоднорідність по об'єму розподілу сірки і фосфору
	Макроструктура зварного шва	розчин Гейна (на 1000 мл води 253 г хлористого амонію (NH ₄ Cl ₂) і 85 г хлорної міді (CuCl ₂))	Дуже дрібні пори ~0,02 – 0,01 мм	Неоднорідність структури окремих ділянок в перерізі шва
	Сталь 45 після гартування СВЧ	10 – 12% водяний розчин двійної солі хлористої міді і амонію протягом 1-2 хв	Не виявлено	Загартований шар рівномірної товщини.

Лабораторна робота № 3

Тема. ОЗНАЙОМЛЕННЯ З МІКРОСКОПІЧНИМ МЕТОДОМ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ

Мета роботи: освоїти техніку виготовлення мікрошліфів; вивчити будову металографічного мікроскопа й освоїти методику роботи на ньому.

Обладнання та матеріали: зразок для шліфа, настільні лещата, напилки, шліфувальні шкурки різних номерів, полірувальний верстат, абразивні суспензії, полірувальні пасти, травники, металографічний мікроскоп МИМ-7.

Теоретичні відомості

За допомогою мікроаналізу визначають структуру металу та сплаву (зерна, їхній розмір, форма, розташування), характер термічної і хіміко-термічної обробки, хімічний склад сплавів. Встановити якість металу (наявність неметалевих включень), характер обробки тиском тощо. Для здійснення такого аналізу застосовують мікроскопи та спеціально готують зразки – мікрошліфи.

Металографічні мікроскопи дають змогу проводити мікроаналіз і розглядати будову металів і сплавів при збільшенні від 50 до 3000 разів, а електронні – до 100000 разів і більше. За допомогою металографічного мікроскопа можна розглядати при збільшенні непрозорі тіла у відбитому світлі. Цим він відрізняється від біологічного, у якому розглядають прозорі тіла в світлі, що проходить через них. Однак, якщо біологічний мікроскоп обладнати потужним освітленням, то на ньому предмети можна вивчати у відбитому світлі.

Мікроскопічне дослідження металів складається із таких етапів:

- приготування мікрошліфа – шліфування і полірування;
- травлення шліфа – проявлення структури;
- дослідження мікроструктури під мікроскопом.

Методика виготовлення мікрошліфів. Приготування мікрошліфа складається із шліфування і полірування. Найбільш практичними розмірами шліфа є циліндр діаметром 12 мм і висотою 10 мм, або паралелепіпед з основою 12×12 мм і висотою 10 мм. (рис. 3.1, а, б). Для того, щоб отримати якісні мікрошліфи з менших зразків, а також уникнути „завалів” їхніх країв при підготовці

досліджуваної поверхні, зразки заливають легкоплавким сплавом у спеціальні трубки та шліфують, полірують, травлять (рис. 3.1, в).

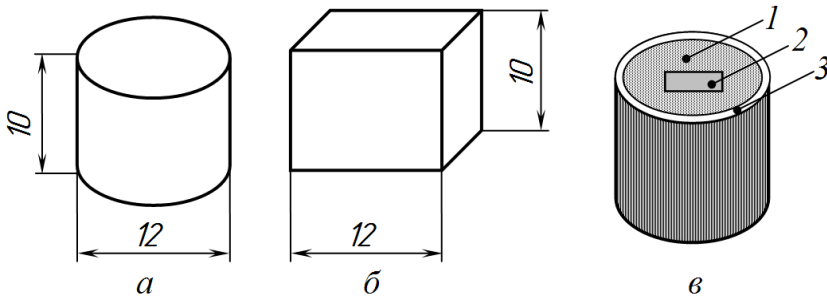


Рисунок 3.1 – Металографічні шліфи:
а, б – нормальні розміри шліфів;
в – шліф, залитий сіркою чи легкоплавким сплавом



Рисунок 3.2 – Травлений шліф (темп лет) цементованої шестірні (два відпечатки на зубі – сліди випробовування твердості)

На машинобудівних підприємствах існує практика вивчення мікроструктури на зразках (свідках), а також темплетях (макрошліфах) фрагментів деталі (рис. 3.2). Це зручно з огляду на те, що на зразках (свідках) можна визначити розподіл твердості, макроструктуру, хімічний склад після термообробок та інших технологічних операцій, тим самим контролювати якість партії деталей. Вивчення мікроструктури на темплетях дає максимально повну інформацію про структуру та розподіл твердості на відповідальних ділянках деталі.

При виготовленні мікрошліфів застосовують різноманітні затискачі, найбільш поширені з них подано на рис. 3.3. Якщо досліджуваний зразок має малі розміри, або незручну форму, то у процесі виготовлення шліфа (лист, дріт, та ін.) його затискають струбциною. Дріт заливають розплавленою сіркою, термоактивною смолою або легкоплавким сплавом.

Відрізають зразки ножівкою, або на токарному верстаті. Крихкий чи твердий метал (наприклад, білий чавун) відбивають молотком. Можна також зразки відрізати тонкими абразивними кругами.

Досліджувану поверхню заторцьовують на шліфувальному крузі або напилком. Відрізання і торцювання (особливо на кругах) необхідно проводити з охолодженням водою, щоб не перегріти зразок і не змінити його структуру.

Після одержання рівної площини (торцювання) зразок шліфують шліфувальним папером різних номерів. Використовується шліфувальний папір з такою нумерацією: 100; 120; 150; 180; 220; 240; 280; 320. Для попереднього грубого шліфування беруть папір перших чотирьох номерів. Закінчують шліфу-

вання папером № 220 – 320 з дрібним абразивним зерном. Шліфування проводять ручним або механічним способом.

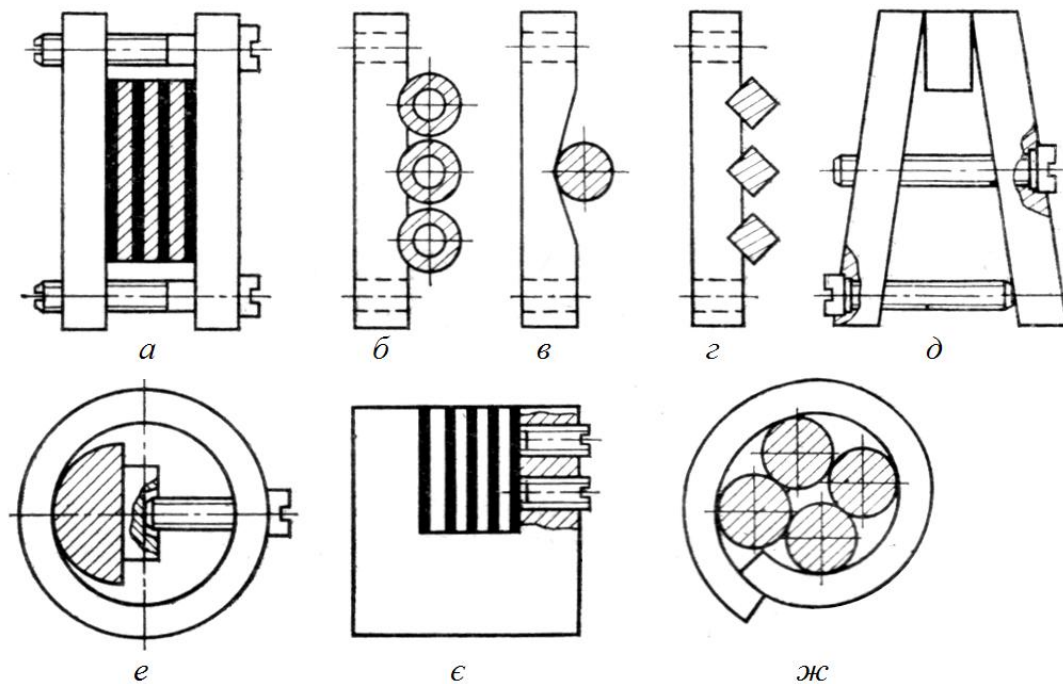


Рисунок 3.3 – Варіанти розбірних цангових затискачів для ручного механічного оброблення різної величини зразків з різним поперечним перерізом: а, е – у вигляді тонких пластин; б – трубчатоподібних; в – циліндричного; г – квадратних; д – у вигляді паралелепіпеду; е – сегментоподібного; ж – декількох циліндричних

Слід пам'ятати, що при шліфуванні відбувається мікрорізання абразивом і частим є виникнення грубих рисок – дефектів шліфування. Тому при шліфуванні необхідно застосовувати абразивні інструменти, що відповідають твердості зразка (табл. 3.1, 3.2), а також уникати великих сил різання та перегрівання оброблювальної поверхні. При виготовленні мікрошліфа також особлива увага надається вибору структури шліфувальних кругів відповідно до виду оброблення. Наприклад, перше шліфування можна починати з круга структурою №7 – 9, а далі оброблення вести на дрібнозернистих кругах №10 – 12.

Зернистість шліфувальних матеріалів характеризує розміри різальних зерен. Їх умовно ділять на чотири фракції: шліф зерно (2000...160 мкм); шліф-порошки (125...40 мкм); мікропорошки (63...14 мкм); тонкі мікрошліфпорошки (10...3 мкм). Позначають зернистість 800, 400, 160 мкм відповідно: 80, 40, 16. мікрошліфпорошки 50 мкм, 14 мкм: М50, М14.

Абразивні інструменти зернистістю №125, 100, 80 застосовують для першого грубого шліфування, №63 і №50 – для попереднього шліфування. Чистове

шліфування здійснюють кругами зернистістю №25, №20, №16 та отримують шорсткість поверхні $R_a 1,25 \dots 0,63$ мкм. Шорсткість оброблюваної поверхні $R_a 0,63 \dots 0,16$ мкм отримують при чистовому і тонкому шліфуванні кругами зернистістю №12, №10, №8, №6. доведення й хонінгування, суперфінішування здійснюють інструментом зернистістю М40...М5 та отримують шорсткість поверхні $R_a 0,16 \dots 0,02$ мкм.

Таблиця 3.1 – Деякі дані про застосування абразивних матеріалів

Марка	Застосування
Алмаз А, АС, АР	Шліфування, різання, доведення твердих сплавів
Ельбор ЛП, ЛО	Кінцеве шліфування підшипникових, інструментальних, важкооброблюваних гартованих сталей
Електрокорунд нормальний: 13А, 14А, 15А, 16А	Перше шліфування сталевих заготовок
Електрокорунд білий: 23А	Перше шліфування сталевих заготовок
22А, 24А, 25А	Шліфування загартованих сталевих заготовок
Електрокорунд хромистий 33А, 34А	Шліфування незагартованих і загартованих вуглецевих і конструкційних сталевих заготовок
Карбід кремнію чорний 52С, 54С	Шліфування заготовок з чавуна, кольорових металів і вольфрамових твердих сплавів
Карбід кремнію зеленого: 62С, 64С	Шліфування заготовок з чавуна, міді, алюмінію
63С	Шліфування титанових і титанотанталових твердих сплавів

Таблиця 3.2 – Залежність твердості шліфувального інструменту від виду оброблення

Познака твердості	Вид оброблення
ВТ – ЧТ	Шліфування тіл кочення підшипників
СТ2 – Т2	Відрізування, обдирне шліфування
С2 – СТ2	Перше кругле шліфування незагартованих сталей і ковкого чавуна
С1 – СТ1	Плоске шліфування кругами на бакелітовій основі
С2 – СТ2	Хонінгування кругами на бакелітовій основі
СМ1 – С2	Чистове шліфування сталей
С1 – С2	Шліфування інструментальних сталей вручну
СМ1 – СМ2	Шліфування інструментальних сталей з автоматичною подачею
М2 – СМ2	Плоске шліфування торцем круга
М2 – М3	Шліфування і доведення твердих і важкооброблюваних сплавів

Ручне шліфування проводять таким чином. Найгрубшу шліфувальну стрічку (на основі паперу чи тканини) кладуть на скло; зразок-шліф притискають

рукою до абразиву заторцьованою стороною і рухають ним по площині стрічки в одному напрямку до виведення рисок. Потім переходять на наступний номер зернистості шліфувальної стрічки. При переході з одного номера зернистості на наступний спостерігають за виведенням рисок. Для цього зразок завжди треба шліфувати в напрямку, перпендикулярному до рисок, що залишилися після шліфування на папері попереднього номера, доки ці риси не будуть виведені. Цього правила слід дотримуватись для гарантованого виведення рисок, які залишилися від роботи на попередніх номерах паперу.

Шліфи полірують на плоскому крузі, що обертається навколо вертикальної осі. Круг покривають сукном, фетром, бархатом, велюром і т.д. Тканину замочують полірувальною рідиною, або покривають полірувальною пастою. Для полірування шліфів застосовують суспензії окислів металів. Частинки окислів дуже тверді, тому вони під час полірування шліфа здійснюють мікрорізання, при якому можуть виникати дефекти (рис. 3.4).

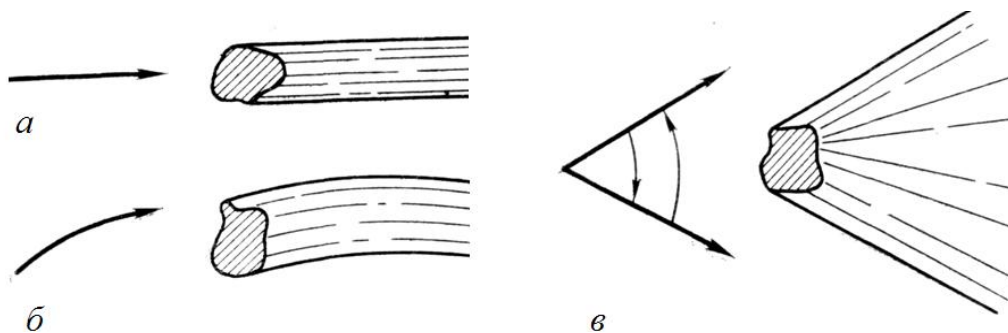


Рисунок 3.4 – Вплив напрямку полірування на форму дефектів полірування при одноманітному русі зразка відносно полірувального інструменту:
a – „мітла”, *б* – „кома”, *в* – „комета”

Метод нанесення полірувального засобу на носій залежить від його виду. Абразивні матеріали бувають дисперговані у вигляді порошку, пасти чи суспензії. Полірувальний порошок може рівномірно розсіюватися на попередньо змочений відповідною рідиною полірувальний круг, що повільно обертається за допомогою розпилювача (солонки, пудрениці). Кругоподібним рухом пальців чи за допомогою допоміжного зразка полірувальний порошок і рідина ретельно перемішуються і втираються у носій. Пасту з тюрбика чи шприца наносять зигзагоподібними лініями (рис. 3.5) на змочений, але нерухомий носій, а потім рівномірно розподіляють пальцями по поверхні. Найкраще розподілення пасти по кругу досягається при застосуванні скребка з листової гуми, який у нахиленому положенні пересувається вперед – назад у радіальному напрямку по кругу, що повільно обертається.

Алмазні пасти вимагають економного дозування. Щоб добитися рівномірного зняття металу протягом тривалого часу, необхідно задавати всю кількість пасти не відразу, а багатократно і малими дозами через короткі проміжки часу.

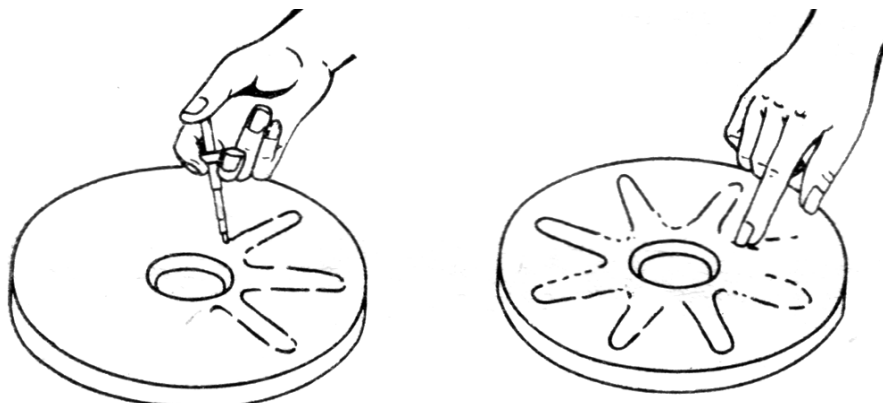


Рисунок 3.5 – Нанесення полірувального засобу на носій:
а – за допомогою шприца, *б* – за допомогою руки

При поліруванні зразок треба повертати. При ручному переміщенні зразка від середини круга до периферії відносна швидкість зростає лінійно від нуля до максимуму (рис. 3.6, *а*): $v = 2\pi \cdot r \cdot n$.

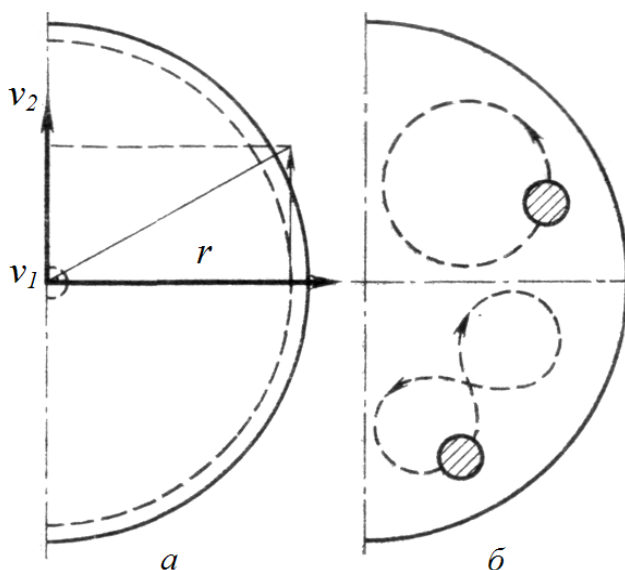


Рисунок 3.6 – Полірування на обертовому крузі
а – залежність лінійної швидкості від радіуса;
б – напрямок руху при ручному поліруванні зразка

Як правило, зразок рівномірно переміщують по полірувальному крузі (рис. 3.6, *б*), його траєкторією може бути коло, ексцентричне кругу. При цьому під час полірування відносна швидкість майже однакова.

При русі зразка по „вісімці” зустрічний і попутний напрямки постійно змінюють один одного, так, що виникає цикл постійної зміни швидкості. Для

уникнення однонаправленого полірування зразок необхідно час від часу повертати навколо осі.

Полірування припиняють, як тільки виведені останні риски від шліфування. Після полірування шліф промивають водою чи спиртом і висушують, прикладаючи (не витираючи) до фільтрувального паперу. Якщо зразок був полірований пастою ГОІ, то його промивають спиртом, або бензином.

Крім механічного полірування існує електролітичне полірування. Для електролітичного полірування різних сплавів застосовують електроліти різних складів і різні режими.



Рисунок 3.7 – Загальний вигляд мікрошліфів для металографічного дослідження їхньої структури

Шліфи (рис. 3.7) зберігаються в ексикаторі (рис. 3.8). *Ексикатор* – це скляна посудина із щільно припасованою кришкою.



Рисунок 3.8 – Загальний вигляд ексикатора та розташування зразків у ньому

На дні ексикатора є прожарений (безводний) хлористий кальцій, який поглинає вологу і запобігає окисленню шліфів.

Травлення шліфів. Полірований нетравлений мікрошліф металів під мікроскопом має вигляд світлого круга (світло відбивається дзеркально). При наявності неметалічних включень (окислів, сульфідів, фосфідів, нітридів і т. д.) на світлому крузі будуть темні плями.

Для виявлення структури металу шліф необхідно після полірування протравити у відповідних розчинах кислот або лугів (відповідно до підібраних травників, див. додаток Б).

Будь-який метал чи сплав є полікристалічним тілом, тобто складається з великої кількості різного роду орієнтованих кристалітів чи зерен. На границі зерен (навіть найчистіших металів), як правило, розташовуються різні домішки. Крім цього, границя зерен має більш викривлену кристалічну будову, ніж тіло зерна. Під дією травлення (внаслідок різного потенціалу зерна і його границі для чистих металів чи різних структурних складових для сплавів) утворюються мікроскопічні гальванічні пари. Границі зерен, а також структурні складові з нижчим потенціалом будуть розчинятися швидше, ніж тіло зерна чи структури з більш високим потенціалом. Механічні суміші різних структур (евтектика, евтектоїд) травляться швидше, ніж однофазні структури (чисті метали, тверді розчини), позаяк у першому випадку утворюється велика кількість гальванічних пар. Крім цього, різниця потенціалів у різних структурах в основному більша, ніж в однорідному сплаві та його границі.

У результаті неоднорідного травлення структурних складових на поверхні шліфа появляється мікрорельєф. Розглядаючи мікрошліф в оптичний металографічний мікроскоп, цей мікрорельєф буде створювати поєднання світла й тіні (рис. 3.9).

Різні структурні складові, що травляться неоднаково, по-різному відбивають світло. Структура, що травиться найсильніше, під мікроскопом здається темнішою, оскільки дає після відбивання від неї світла більше розсіяних променів (має більшу нерівність поверхні), ніж структури, менше протравлені (рис. 3.9, а). Границі зерен чистих металів і твердих розчинів, під мікроскопом, виглядають тонкою сіткою (рис. 3.9, а).

Наприклад, якщо доевтектоїдну сталь протравити 4% розчином пікринової кислоти в етиловому спирті, то під мікроскопом перліт буде мати вигляд темних зерен, а ферит – світлих.

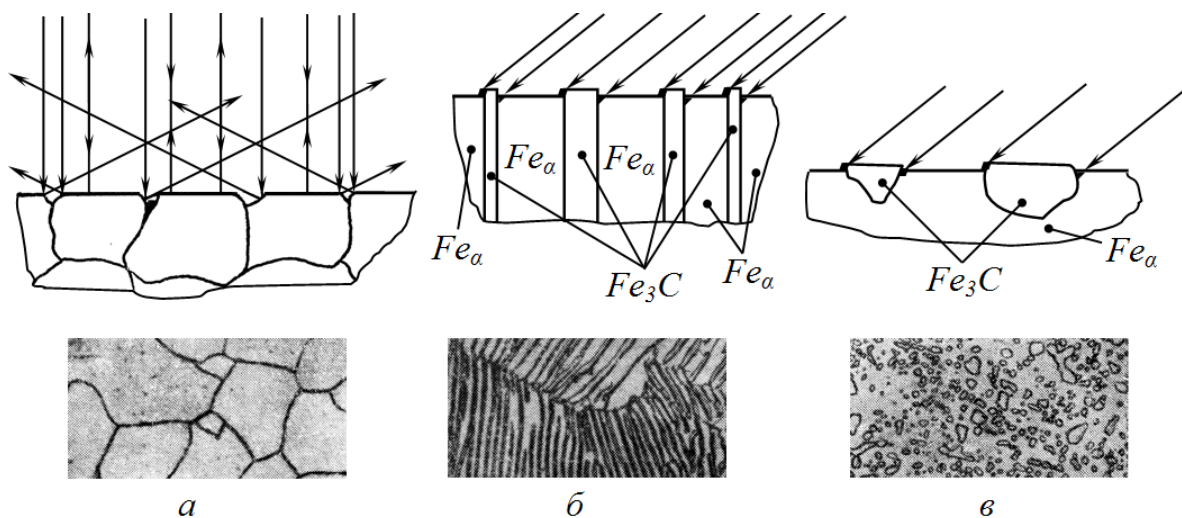


Рисунок 3.9 – Схема, що пояснює видимість під мікроскопом:
а – границь зерен чистих металів і твердих розчинів;
б – механічної суміші пластинчастої будови (перліту);
в – механічної суміші зернистої будови

Склад реактивів для травлення сталей і чавунів:

- 5 % розчин HNO_3 в етиловому спирті;
- 4 % розчин пікринової кислоти в етиловому спирті;
- стандартний реактив, застосовується для розрізнення цементиту і фериту.

Склад реактивів для травлення алюмінієвих сплавів:

- 0,5 % розчин $NaOH$ у воді.

Склад реактивів для травлення мідних сплавів:

- 8 % аміачний розчин;
- 3 % розчин $FeCl_3$ у 10 % розчині HCl (10 мг $FeCl_3$, 25 мг HCl , 100 мг H_2O).

Склад реактивів для травлення бабітів і магнієвих сплавів 2...4 % розчин HNO_3 в етиловому спирті.

Вказані реактиви при користуванні наливають у невелику фарфорову або скляну чашку. Шліф попередньо промити спиртом, на декілька секунд занурити у реактив. Інколи доцільно наносити реактив піпеткою або ваткою, намотаною на скляну паличку. Час травлення для різних сплавів і структур різний.

Після травлення шліф спочатку промивають водою, а тоді спиртом і сушать, прикладаючи фільтрувальний папір, або ж обдувати його гарячим повітрям.

Будова металографічного мікроскопа МИМ-7. Металографічним мікроскопом називають мікроскоп, який працює за принципом відбиття променів світла від об'єкта і застосовується для вивчення структури непрозорих матеріалів (металів, пластмас, кераміки тощо). Для вивчення будови металів та

інших непрозорих матеріалів, крім металографічних мікроскопів, застосовуються електронні мікроскопи й растрові електронні мікроскопи (РЕМ), які дають збільшення до 100 тис. разів.

За будовою металографічні мікроскопи поділяються на горизонтальні та вертикальні. Повна оптична схема металографічного вертикального мікроскопа МИМ-7 зображена на рис 3.10.

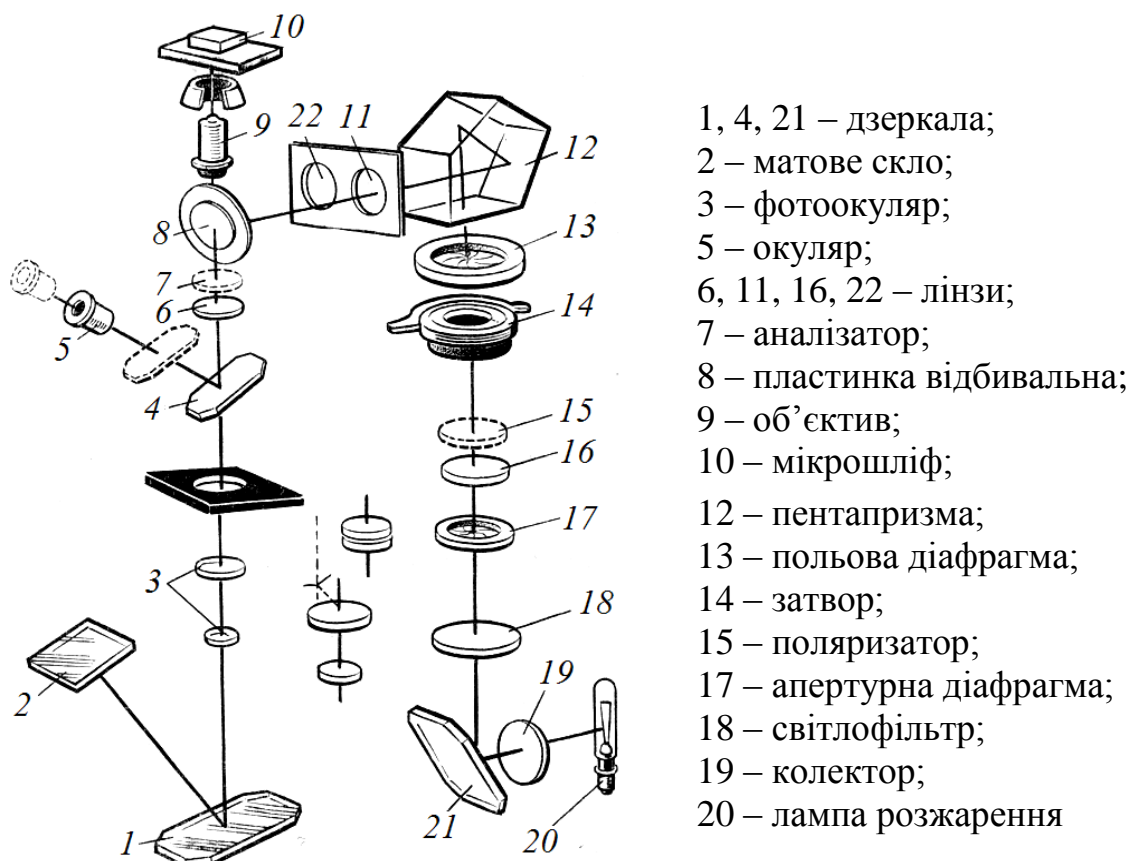


Рисунок 3.10 – Оптична схема мікроскопа

Шліф освітлюють через об’єктиви, застосовуючи спеціальну освітлювальну систему, що включає джерело світла, серію лінз, світлофільтри і діафрагми.

Джерелом світла є низьковольтні електричні лампи розжарення 20. Світлові промені від джерела світла й проходять через колектор 19, і направляються дзеркалом 21 через світлофільтр 18, на апертурну діаграму 17. Далі промінь проходить через лінзу 16, фотозатвор 14 і польову діафрагму 13, потрапляють на пентапризму 12. Ця пентапризма змінює хід променів і спрямовує їх через лінзу 11 на відбивальну пластинку 8 й через об’єктив 9 на поверхню мікрошліфа 10. Відбиті від поверхні мікрошліфа промені знову проходять через об’єктив 9, пластину 8 і лінзу 6. При візуальному спостереженні в хід променів вводиться дзеркало 4, яке відхиляє промені в сторону окуляра 5.

Під час фотографування дзеркало 4 виключається і промені попадають до фотоокуляра 3 на дзеркало 1, яке спрямовує промені на фотографічну пластину в касеті, що ставиться замість матового скла 2.

Поляризаційні фільтри – аналізатор 7 і поляризатор 15 – застосовують при дослідженні неметалевих включень у неметалевому шліфі.

Для роботи в темному полі травленого мікрошліфа лінза 11 змінюється лінзою 22 (рис. 3.10). Центральна частина поверхні лінзи 22 покрита чорним непрозорим лаком у вигляді диску.

Металографічний мікроскоп складається з освітлювача 1 (рис. 3.11) нижнього корпусу 18, із фотокамерою 17, вузла 3 апертурної діафрагми, верхнього вузла 15, візуального тубуса 14, освітлювального (ілюмінаційного) тубуса 12, предметного столика 11.

Лампа живиться струмом через трансформатор виконаний в окремому корпусі. За освітлювачем на корпусі 18 встановлено колектор з набором світлофільтрів, які переключаються ручкою 19. Світлофільтри є синього (СС2), жовто-зеленого (ЖЗС5), оранжевого (ОС11) і зеленого (ЗС1) кольорів.

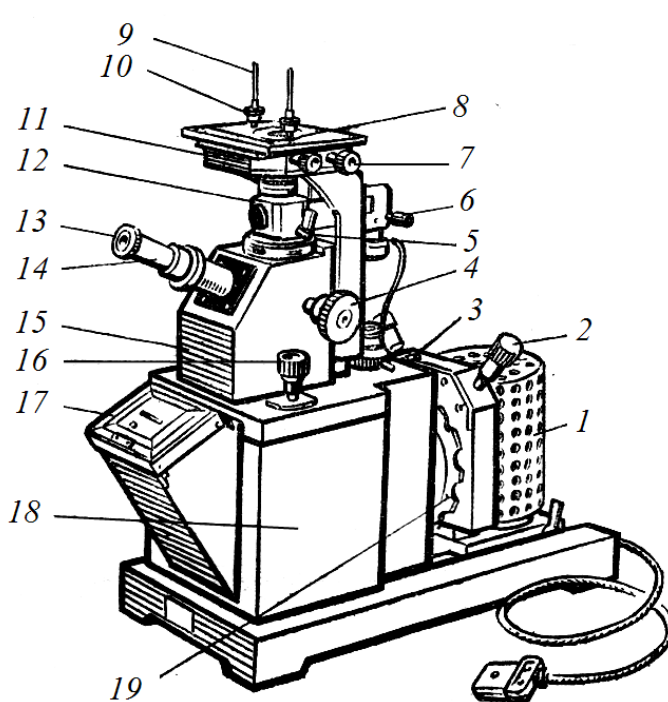


Рисунок 3.11 – Металографічний мікроскоп МІМ-7

- 1 – ліхтар освітлювача;
- 2 – гвинти що центрують лампу;
- 3 – гвинт фіксації повороту апертурної діафрагми;
- 4 – макрометричні гвинти;
- 5 – руків'я для включення діафрагми;
- 6 – гвинти польової діафрагми;
- 7 – гвинти переміщення предметного столика;
- 8 – вікно;
- 9 – вертикальний тримач;
- 10 – притискач тримача;
- 11 – предметний столик;
- 12 – ілюмінаційний тубус;
- 13 – окуляр;
- 14 – візуальний тубус;
- 15 – верхній корпус;
- 16 – мікрометричний гвинт;
- 17 – фотокамера;
- 18 – нижній корпус;
- 19 – диск із світлофільтром

Зліва на корпусі є ручка для перемикачів фотоокулярів. На корпусі під ручкою вигравіювані поділочки, які показують на збільшення фотоокулярів.

Справа на корпусі 18 є гвинт 16 фокусування мікроскопа на об'єкт. На верхньому корпусі 15 міститься візуальний тубус 14. На корпусі 18 міститься освітлювальний тубус 12, в посадочний отвір якого вставляється об'єктив. У нижню частину кожуха виведені центрувальні гвинти 6 польової діафрагми.

За допомогою ручок 7 предметний столик 11 можна переміщувати в двох взаємно перпендикулярних напрямках горизонтальної площини. По висоті він переміщається ручкою 4 механізму грубого наведення і фіксується руків'ям.

Мікрошліф встановлюється на столику 11 досліджуваною поверхнею донизу напроти вікна 8. Закріплюється об'єкт пружинами 9, 10.

Для спостереження об'єкта в поляризованому світлі на столик встановлюють спеціальну вкладку з градусними поділками, що замінює обертальний столик.

Налагодження мікроскопа. Для візуального спостереження об'єктів у світлому полі треба налаштувати освітлення. Для цього встановлюють апертурну діаграму на нульову поділку шкали. Включають лампу і відцентровують нитку розжарення лампи. Ручками 4 піднімають предметний столик і встановлюють в отвір на опорному торці конуса освітлювального тубуса об'єктива, а в візуальний тубус – окуляр. Встановлюють об'єкт на предметний столик досліджуваною поверхнею донизу і притискають пружинами. Досліджуваний об'єкт доцільно спочатку розглядати при малому збільшенні, а потім при великому.

При фотографуванні мікроструктури дзеркало 4 (рис. 3.10) виводиться із ходу променів і вони, оминаючи дзеркало, проходять через фотоокуляр, відбиваються дзеркалом 1 на матове скло 2 (фотопластинку). Включені в оптичну систему жовтий, жовто-зелений, оранжевий і зелений світлофільтри служать для перетворення білого світла в монохроматичне. Оскільки око має найбільшу чутливість до жовто-зелених променів, то, розглядаючи мікроструктуру, рекомендується користуватися жовто-зеленим світлофільтром.

Порядок виконання роботи

1. Вивчити будову металографічного мікроскопа і навчитися працювати з ним.
2. Виготовити мікрошліф із заданого сплаву механічним способом.

Грубо обробити одну поверхню зразка напилком або шліфувальним кругом (якщо матеріал твердий).

Поверхню, оброблену напилком шліфувати різними номерами шліфувальної стрічки, починаючи від найгрубішої, закінчуючи найтоншою. При пере-

ході з одного номера зернистості на наступний, напрямок шліфування поміняти на 90° і продовжувати шліфувати до повного зникнення попередніх слідів. У процесі шліфування при переході на наступний номер зернистості шліфувальної стрічки необхідно періодично видаляти з поверхні зразка абразивні частинки. Особливо акуратно це необхідно робити при переході на полірувальний верстат.

Помити руки і зразок.

Полірувати шліфовану поверхню на крузі затягнутим сукном, періодично змочуючи круг окисом алюмінію, добре перемішаного з водою або пастою ГОИ. З часом натискування на полірувальний круг має бути незначним. При добре відшліфованій поверхні час полірування триває в межах 2...3 хв.

Після полірування мікрошліф промити водою, після цього спиртом і просушити фільтрувальним папером. Одночасно з миттям зразка обов'язково вимити руки.

3. Оцінити якість полірування шліфа на металографічному мікроскопі.

Відрегулювати освітлення, користуючись трансформатором, діафрагмами та світлофільтрами.

Підібрати необхідне збільшення, користуючись спеціальною таблицею, згідно з паспортними даними мікроскопа.

Установити на предметний столик мікрошліф так, щоб площина шліфу була перпендикулярна до оптичної осі об'єктиву, закріпити за допомогою держака (пружної пластинки).

Провести наведення на фокус шляхом піднімання і опускання предметного столика або тубуса з об'єктивом. Що більше збільшення об'єктива, то меншою має бути відстань між шліфом і об'єктивом.

Розглянути неметалічні включення в сплаві, які на нетравленому шліфі мають вигляд темних плям.

4. Протравити шліф у вибраному реактиві.

Травлення шліфу проводять за допомогою змоченої у реактиві ватки, зануренням у травник або піпеткою.

Шліф після травлення промити водою, далі спиртом, висушити фільтрувальним папером або гарячим повітрям.

Шліф, слабо протравлений, необхідно травити повторно.

Перетриманий в травнику шліф необхідно ще раз відполірувати і протравити знову.

5. Розглянути на металографічному мікроскопі та зарисувати (сфотографувати) структуру досліджуваного зразка.

Переглянути мікроструктуру шліфа в різних ділянках шляхом переміщення предметного столика у двох взаємно перпендикулярних напрямках і вибрати найбільш чітке і характерне місце.

Провести аналіз мікроструктури, користуючись для порівняння фотографіями або консультацією викладача, намалювати мікроструктури, вказавши на окремі її структурні складові.

6. За допомогою альбому стандартних мікроструктур визначити марку сплаву.

Питання для самоконтролю

1. Мікроскопічний аналіз – це ...?
2. З яких етапів складається мікроскопічний аналіз?
3. Який порядок виготовлення мікрошліфів?
4. Що дає мікроаналіз?
5. Чи можна встановити хімічний склад секретного сплаву?
6. Для чого проводять травлення мікрошліфа?
7. Нарисуйте принципову оптичну схему металографічного мікроскопа.

Література

1. Рудик Д. Ф. Технологія металів та інших конструкційних матеріалів. Лабораторний практикум. / Рудик Д. Ф. – К.: Видавниче об'єднання «Вища школа» Головне видавництво, 1975. – С. 5 – 16.
2. Алаи С.И. Практикум по машиноведению: [учебн. пособие для студентов пед. институтів]. / Алаи С. И., Ежевская Р. А., Антоненко У. И.; под общ. ред. Ежевской Р.А. – М.: Просвещение, 1985. – С. 39 – 43.
3. Сиротюк А. М. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів: методичні матеріали до виконання лабораторних робіт [для студентів вищих навчальних закладів]. Частина I / А. М. Сиротюк, О. В. Матієчко. – Дрогобич: Редакційно-видавничий відділ Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка, 2008. – С. 33 – 39.
4. Яким Р. С. Матеріалознавство: лабораторний практикум / Яким Р. С. – Дрогобич: Коло, 2013. – С. 62 – 78.

Лабораторія матеріалознавства і ТКМ

ЗВІТ

про виконану лабораторну роботу № 3

Тема. ОЗНАЙОМЛЕННЯ З МІКРОСКОПІЧНИМ МЕТОДОМ ДОСЛІДЖЕННЯ
МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ



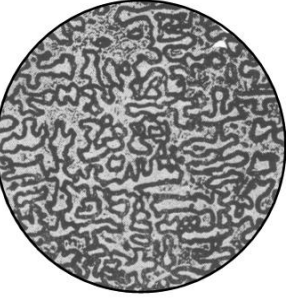
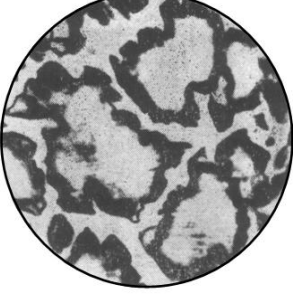
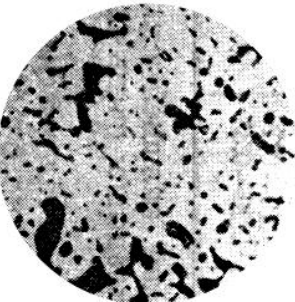
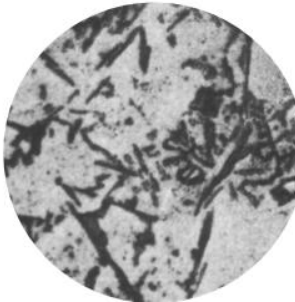
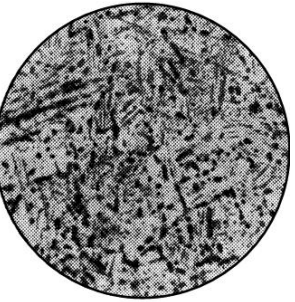
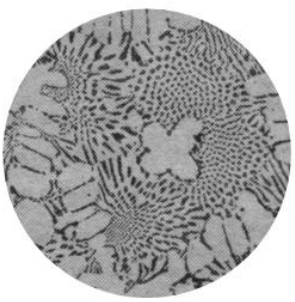
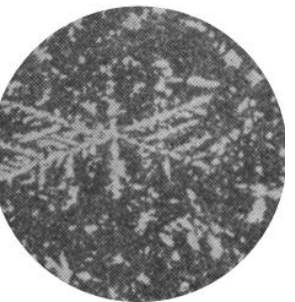
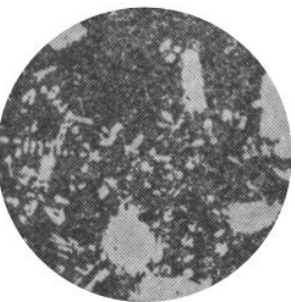
Мета роботи: освоїти техніку виготовлення мікрошліфів; вивчити будову металографічного мікроскопа й освоїти методику роботи на ньому.

Обладнання та матеріали: зразок для шліфа, настільні лещата, напилки, шліфувальні шкурки різних номерів, полірувальний верстат, абразивні суспензії, полірувальні пасти, травники, металографічний мікроскоп МИМ-7.

ЗВІТНА ТАБЛИЦЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Мікроструктура	Опис	Мікроструктура	Опис
	<hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>		<hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>
	<hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>		<hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>
	<hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>		<hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>

Приклад варіанта заповнення звітної таблиці

Мікроструктура	Опис	Мікроструктура	Опис
	Олов'яниста бронза (6%Sn) ×200		α-латунь ×200 холодна деформація
	Лита бронза (10%Sn) ×200 α-фаза (світла) і евтектоїд α+δ (яскравий).		Лита бронза (16%Sn) ×400 зерна α-фази і евтектоїд α+δ по їх границях
	Свинцевиста бронза (30%Pb) ×130		Литий силумін ×200
	Титановий сплав ВТЗ-1 ×250, гартування і старіння		Сплав AgCu ×200, (евтектика Ag-Cu)
	Олов'янистий бабіт Б98 ×100		Олов'янистий бабіт Б83 ×100

Лабораторна робота № 4

Тема ВИМІРЮВАННЯ ТВЕРДОСТІ МЕТАЛІВ

Мета роботи: практичне вивчення методів визначення твердості металів за Брінеллем, Роквеллом і Віккерсом.

Обладнання та матеріали: твердомір типу ТШ-2, прилад типу ТК-2 та ТП-2, відлікова лупа для замірювання відбитків, мікрошліфи сталей, кольорових сплавів.

Теоретичні відомості

Твердість – це здатність матеріалу чинити опір проникненню в нього іншого, твердішого тіла певної форми і розмірів, яке не має залишкової деформації.

Твердість є одним з найголовніших показників матеріалів. Тому випробування матеріалів на твердість входить в основний перелік лабораторних випробувань в наукових дослідженнях, а також, як на вхідному заводському контролі, так і після технологічних операцій з метою їх якісної оцінки. Випробування на твердість належать до неруйнівних і статичних, вони не руйнують зразків, швидко виконуються, характеризуються простотою та продуктивністю.

Для вимірювання твердості використовували порівняльні методи. Зокрема і до сьогодні використовується в мінералогії розроблений на початку ХІХ ст. Моосом метод на основі дряпання матеріалу і порівняння з даними десятибальної шкали, у якій твердість талька – під №1, а алмазу – під №10.

З розвитком металургії та машинобудування появилось до тридцяти різних методів вимірювання твердості матеріалів. Серед них розповсюдження набули декілька:

1) метод Брінелля, що здійснюється втисканням сталеві кульки, виконується згідно ГОСТ 9012;

2) метод Роквелла, що здійснюється втисканням алмазного конуса, виконується згідно ГОСТ 9013;

3) метод Віккерса, що здійснюється втисканням чотиригранної алмазної піраміди, виконується згідно ГОСТ 2999;

4) метод Хрущова – Берковича, метою якого є встановлення *мікротвердості*, що здійснюється втисканням чотиригранної алмазної піраміди під невеликим навантаженням.

Метод визначення твердості Брінелля. Цей метод названий на честь шведського інженера-винахідника Ю. А. Брінелля, і вперше продемонстрований в 1900 р. на Всесвітній виставці в Парижі. Сьогодні випробовування за цим способом здійснюється на пресі Брінелля марки ТШ (рис. 4.1).

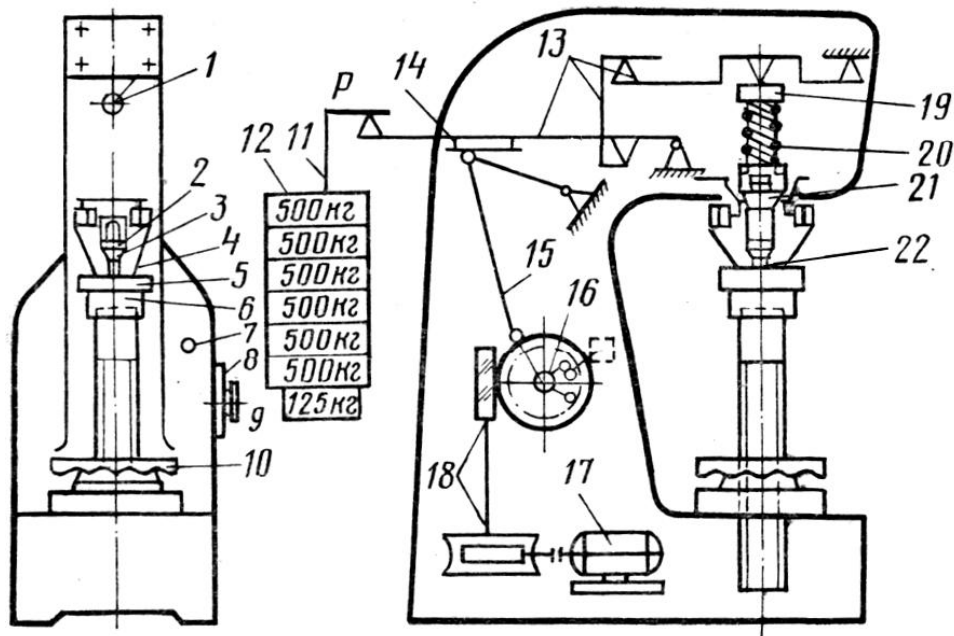


Рисунок 4.1 – Схема приладу ТШ:

- 1 – сигнальна лампочка; 2 – гвинт; 3 – тримач; 4 – обмежувач; 5 – зразок;
 6 – столик; 7 – кнопка пуску електродвигуна; 8 – лімб; 9 – руків'я лімбу;
 10 – маховик; 11 – підвіска; 12 – змінні вантажі; 13 – система важелів;
 14 – ролик; 15 – шатун; 16 – кривошипний вал; 17 – електродвигун;
 18 – черв'ячний редуктор; 19, 21 – шпindel; 20 – пружина;
 22 – кулька в оправі

Навантаження на кульку 22 утворюється підвішуванням вантажів 12 до системи важелів 13. Вантажами 12 можна створити навантаження 1834, 2451, 7354, 9810 і 29420 Н. Залежно від форми дослідного зразка, підбирають опорний столик 6. Твердість плоских зразків визначають на плоскому столику, а циліндричних – на призматичному.

Маховиком 10 підводять зразок до кульки до упору в обмежувач, чи до стиснення пружини 20. При такому положенні пружина створює попереднє навантаження, яке дорівнює 98,1 Н (10 кгс). Натисканням кнопки 7 включається електродвигун 17, який через черв'ячний редуктор 18, кривошипний вал 16 і шатун 15 відводить вниз ролик 14. При цьому дія навантаження P через систему важелів 13 і шпindel 21 надається оправці, в якій є кулька 22. Цей момент фіксується запалюванням лампочки 1.

Діаметр кульки, навантаження і час витримування під навантаженням вибирають, залежно від матеріалу та його товщини. У табл. 4.1 наводиться залежність між цими величинами згідно з чинним ГОСТ 9012-59.

Таблиця 4.1 – Залежність діаметра кульки, навантаження і часу витримування від твердості та товщини досліджуваного зразка (ГОСТ 9012)

Матеріал	Твердість за Брінеллем (НВ), Н/мм ² або МПа	Товщина зразка, мм	Діаметр кульки D, мм	Навантаження		Співвідношення між P і D	Витримування під навантаженням, сек
				кгс	Н		
Чорні метали	140 – 450	6 – 3	10,0	3000	29420	P = 30 D ²	10
		4 – 2	5,0	750	7354		10
		<2	2,5	187,5	1834		10
	<140	>6	10,0	1000	9810	P = 10 D ²	10
		6 – 3	5,0	250	2451		10
		<3	2,5	62,5	614		10
Кольорові метали	>130	6 – 3	10,0	3000	29420	P = 30 D ²	30
		4 – 2	5,0	750	7354		30
		<2	2,5	187,5	1834		30
		9 – 3	10,0	1000	9810		30
	35 – 130	6 – 3	5,0	250	2451	P = 10 D ²	30
		3	2,5	62,5	614		30
		6	10,0	250	2451		60
	8 – 35	6 – 3	5,0	62,5	614	P = 2,5 D ²	60
		3	2,5	15,6	153		60

Число твердості (НВ) за Брінеллем (Н/мм² або МПа) визначають відношенням навантаження P до сферичної поверхні відтиску F (рис. 4.2):

$$HB = \frac{P}{F} = \frac{2P}{\pi D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)}$$

де $F = \pi Dh$ – площа відбитка, мм²,

D – діаметр кульки, мм,

d – діаметр відтиску, мм,

P – навантаження, Н або кгс.

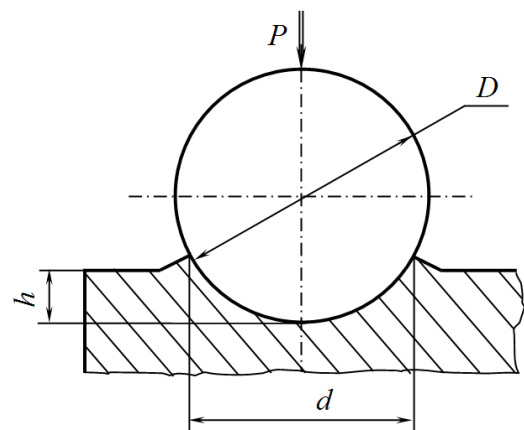


Рисунок 4.2

Діаметр лунки (сферичної поверхні) відбитка кульки вимірюють спеціальною лупою (рис. 4.3), яка має шкалу з ціною поділки 0,1 мм.

На практиці часто твердість за методом Брінелля визначають за діаметром відтиску і навантаженням (додаток В).

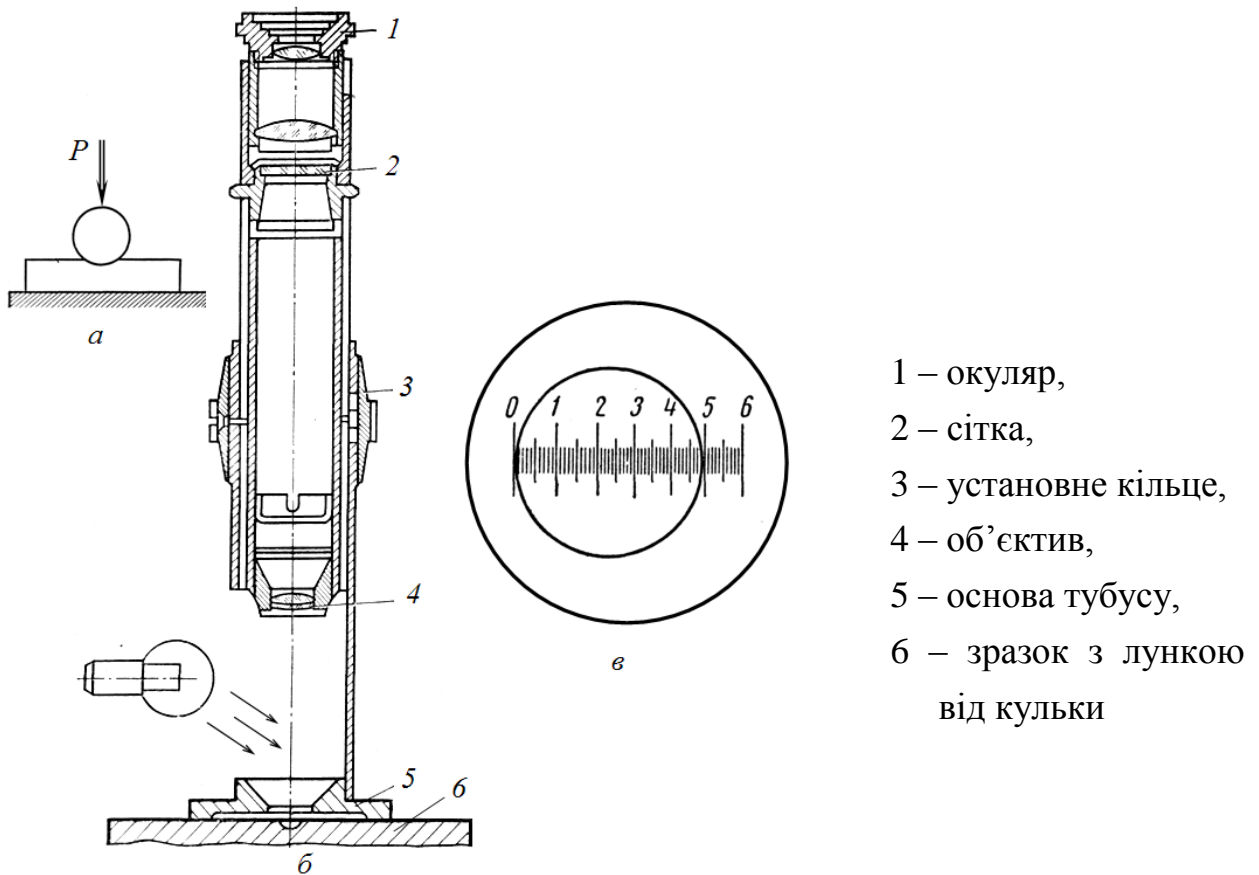


Рисунок 4.3 – Схема випробовування матеріалів на твердість втисненням сталеві кульки (а), вимірювання діаметра відтиску (б, в)

Між числами твердості за Брінеллем та границею міцності металів існує залежність:

$$\sigma_B = k \cdot HB, \text{ [МПа]}$$

де k – коефіцієнт, що визначається дослідним шляхом (табл. 4.2)

Таблиця 4.2 – Значення k для сталі, міді, алюмінію та їхніх сплавів

Матеріал	Стан після термообробки	k
Сталь	HB ≤ 175	0,34
	HB ≥ 175	0,36
Мідь, латунь, бронза	Відпалена	0,55
	Загартована	0,40
Алюміній		0,33
Дюралюміній	Відпалений	0,36
	Після гартування і старіння	0,35

Метод Брінелля не є універсальним методом визначення твердості. Він, наприклад, не може бути використаний для випробування металів з твердістю $HV \leq 450$, так як при випробуванні металів, що мають більшу твердість, може деформуватись сама кулька і результати будуть неправильні. Не можна його використовувати для виробів товщиною менше 0,5 – 1,0 мм і виробів складної конфігурації, які мають малу жорсткість.

Метод визначення твердості Роквелла. Цей метод полягає у втисненні в метал алмазного конуса (з кутом біля вершини 120°) або сталеві кульки (діаметром 1,58775 мм) під дією двох послідовно прикладених навантажень: попереднього 98,1 Н (10 кгс) і повного разом з попереднім навантаженням, що становить 588,981 і 1470 Н (60, 100 і 150 кгс).

Згідно з ГОСТ 9013, при втискуванні сталеві кульки прикладається навантаження 981 Н (приймається 1000Н), а при втискуванні алмазного конуса – 588 Н (приймається 600 Н) або 1470 Н (приймається 1500 Н).

Число твердості за Роквеллом позначається HR і обчислюється за формулою

$$HR = \frac{K - (h - h_0)}{C}$$

де h_0 – глибина проникнення (мм) наконечника під дією попереднього навантаження P_0 (рис. 4.4);

h – глибина проникнення (мм) індентора під дією повного навантаження P після його зняття і залишення попереднього навантаження P_0 ;

K – стала величина, для кульки дорівнює 0,26, для алмазного конуса – 0,2;

C – ціна поділки циферблата індикаторного приладу, що відповідає проникненню наконечника на 0,002 мм.

На практиці число твердості за Роквеллом визначається за шкалою індикаторного приладу під час випробувань.

Для визначення твердості кольорових металів і відпаленої сталі твердістю $HV2300$ використовують сталеву кульку. Під час випробування сталей після хіміко-термічної і термічної обробок, а також твердих сплавів твердістю $HV7000$ використовують алмазний конус (при навантаженні 588 Н).

Порівняно з методом Брінелля, метод Роквелла має такі переваги: випробовуються деталі високої твердості; мало пошкоджується поверхня при випробу-

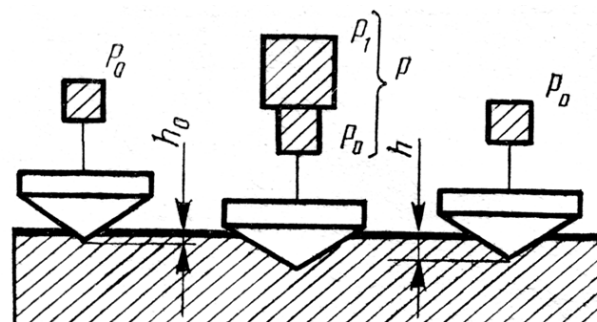


Рисунок 4.4

ванні; висока продуктивність; визначається твердість порівняно тонких зразків (товщиною до 0,4 мм).

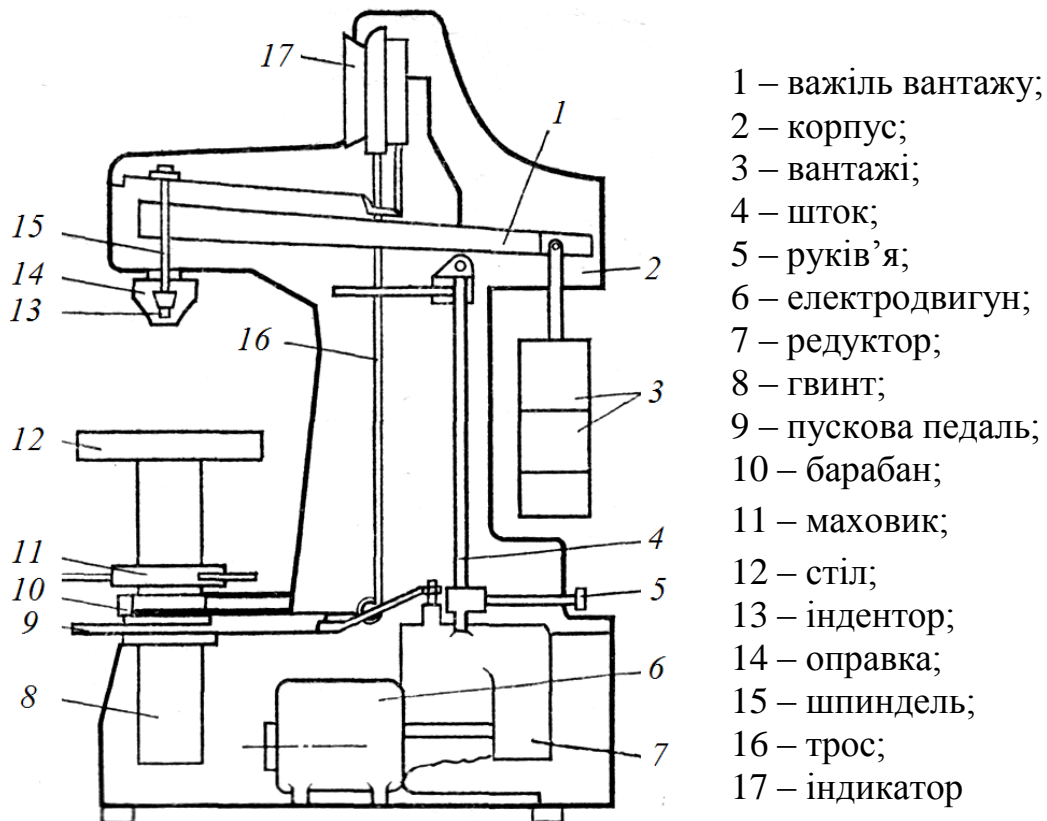


Рисунок 4.5 – Схема приладу типу ТК-2

Визначають твердість на пресі Роквелла. На рис. 4.5 показано твердомір моделі ТК-2. Основні механізми преса вмонтовані в чавунному корпусі 2 закритого типу. Прес складається з таких основних механізмів:

- 1) важільного пристрою для створення потрібного навантаження і вимірювання глибини відбитка за допомогою індикатора 17;
- 2) приводу преса;
- 3) механізму підйому 8 із змінними столами 12 для встановлення зразка;
- 4) штока 4, за допомогою якого здійснюється навантаження і його зняття.

Прес має механізм навантаження важільного типу з передатним відношенням 1 : 24, який розміщений у верхній частині корпусу. Механізм навантаження складається з таких частин: а) підвіски з вантажами 3, яка за допомогою важеля 1 створює потрібне навантаження; б) шпindelю 15, на кінці якого за допомогою гвинта закріплюється оправка 14 з індентором 13 (кулькою або з алмазним конусом);

Під час проведення досліду виріб встановлюють на столі приладу так, щоб він впирався в алмазний конус (або в сталеву кульку) і, стискаючи пружину,

виводив шпindel з конусного гнізда. Обмежник на оправці дає змогу прикладати попереднє навантаження без спостереження за показом індикатора.

Точна установка індикатора на нуль здійснюється за допомогою барабана, змонтованого в механізмі на ранті індикатора.

Індикатор 17 має циферблат (рис. 4.6), на якому нанесені дві шкали (чорна і червона) і є дві стрілки (велика та мала).

Під час дослідження сталеву кулькою відлік проводять за червоною шкалою „**B**”, алмазним конусом – за чорною шкалою „**C**”. Циферблат розділено на 100 рівних поділок, кожна з яких відповідає глибині вдавлювання на 0,002 мм. Нульова поділка чорної шкали збігається з початковим положенням стрілки. Червона шкала зміщена відносно нульової поділки чорної шкали на 30 поділок у напрямку, протилежному до руху стрілки індикатора при вдавлюванні наконечника. Отже, початок поділок червоної шкали збігається з поділкою 30 на циферблаті індикатора. Таке зміщення зумовлене тим, що глибина вдавлювання кульки часто перевищує 0,2 мм, в результаті чого стрілка робить поворот, більший як на 100 поділок, тобто значення твердості буде від’ємним. Велика стрілка показує твердість, а мала призначена для контролю величини попереднього навантаження, яке надається маховиком 11 (рис. 4.5).

При обертанні маховика 11 (рис. 4.5) до тих пір, доки зразок не впреться в обмежувач, не мала стрілка 1 (рис. 4.6, а) індикатора дійде до червоної точки 2, а велика стрілка 3 встановиться (з похибкою ± 5 поділок) приблизно у вертикальному положенні (рис. 4.6, б), при цьому створюється попереднє навантаження 100 Н.

Точне встановлення шкали індикатора на нуль (рис. 4.6, в) здійснюється барабаном 10 (рис. 4.5) тросом 16, закріпленим до ранту індикатора.

! Велику стрілку з нульовим штрихом червоної шкали зі значком „**B**” не суміщають у жодному випадку.

Під дією основного навантаження індентор щораз глибше проникає у дослідний зразок, при цьому велика стрілка індикатора повертається проти руху годинникової стрілки (рис. 4.6, г). Після втиснення основне навантаження, що діяло на зразок, автоматично знімається і залишається попереднє навантаження. Після цього велика стрілка індикатора переміщується за часовою стрілкою і вказує на шкалі індикатора число твердості за Роквеллом (рис. 4.6, д).

При випробовуванні алмазним конусом під навантаженням 1500 чи 600 Н відлік здійснюють за чорною шкалою, а при випробовуванні кулькою під нава-

нтаженням 1000 Н – за червоною шкалою. Нормальна тривалість циклу випробовування 4 с (при положенні руків'я 5 (рис. 4.5) вказівника проти букви **H**). Прискорений цикл випробовування 2 с буде при положенні руків'я 5 (рис. 4.5) вказівника проти букви **У**.

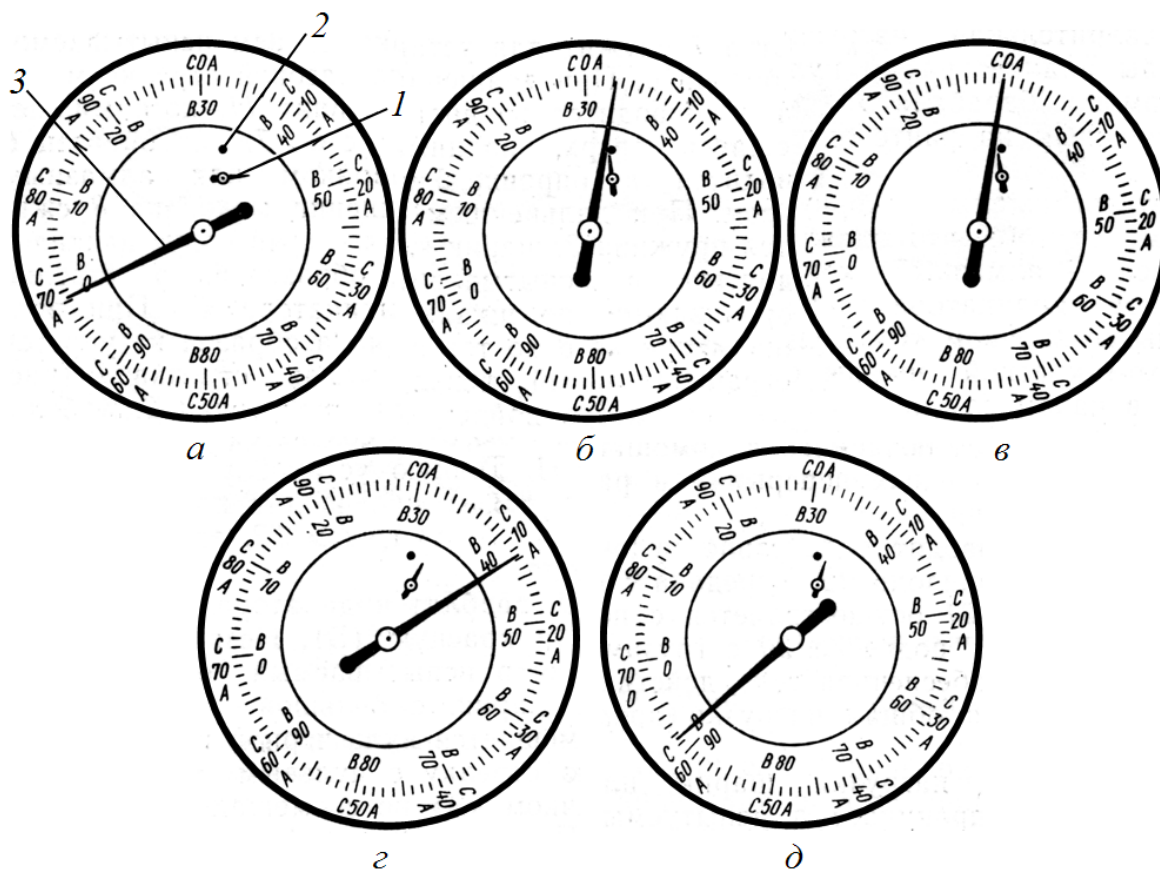


Рисунок 4.6 – Послідовне переміщення стрілок на циферблаті приладу ТК-2 (типу Роквелла) при втисканні алмазного конусу:
1 – велика стрілка; 2 – червона точка; 3 – мала стрілка

При обертанні маховика проти руху годинникової стрілки стіл із зразком опускається і зразок вивільнюється від прикладеного попереднього навантаження.

Вибір навантаження та індентора для випробовувань здійснюють згідно з табл. 4.3.

Числа твердості за Роквеллом не відповідають числам твердості за Брінеллем. Можна вважати, що числа твердості за Брінеллем більші за числа за Роквеллом приблизно в 10 разів ($HB1 \approx HRC10$). На основі дослідних даних встановлено зв'язок між числами твердості за Роквеллом і Брінеллем, який дає змогу переводити одні числа твердості в інші (додаток Г).

Перевагою методу вимірювання твердості за Роквеллом є швидкість вимірювання. Застосування алмазного конусу дає змогу вимірювати твердість гар-

тованих сталей і інших дуже твердих матеріалів. Користуючись методом Роквелла, можна виміряти твердість тонких виробів і поверхневих шарів товщиною до 0,4 мм (шкала „А”) і до 0,7 мм (шкали „В” і „С”).

Таблиця 4.3 – Вибір навантаження й індентора для випробовувань за Роквеллом

Назва шкали	Вид індентора	Навантаження, Н	Позначення твердості по Роквеллу	Границя вимірювання в одиницях твердості по Роквеллу
В	Сталева кулька	1000	HRB	25 – 100
С	Алмазний конус	1500	HRC	20 – 67
А	Алмазний конус	600	HRA	70 – 85

- Примітка. 1. Для випробовування невідповідальних деталей твердістю HRC20 – 50 допускається застосування індентора з твердого сплаву.
2. При проведенні випробування необхідно слідкувати, щоб віддаль від центру відбитка до краю зразка, або до центру іншого відбитка була більшою ніж 3 мм.

Приклад позначення твердості за Роквеллом:

HRC50 – твердість 50 одиниць за шкалою „С”.

Недоліком вимірювання твердості за методом Роквелла є потреба ретельної підготовки поверхні (шліфування), оскільки глибина відбитку мала і її вимірюють з точністю до 0,002 мм (ціна поділки – умовна одиниця твердості). Суттєво впливають також і виробничі фактори (бруд, вібрація, окисна плівка і ін.).

Метод визначення твердості за Віккерсом. Цей метод реалізовується на приладі ТП-2, який дає змогу випробовувати зразки простої конфігурації з максимальною висотою не більше 240 мм і з відстанню від центру відтиску на

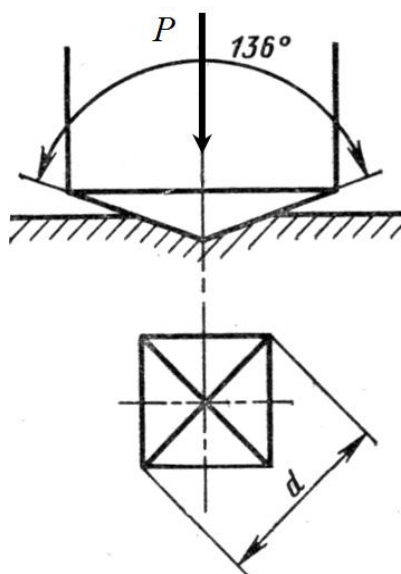


Рисунок 4.7

зразку до краю станини приладу не більше 125 мм. Метод Віккерса ґрунтується на втискуванні правильної чотиригранної алмазної піраміди (кут 136° між протилежними гранями) у поверхню зразка (рис. 4.7).

При визначенні твердості за Віккерсом навантаження вибирають згідно ГОСТ 2999, залежно від товщини зразка і шару дослідного металу та імовірної твердості. Рекомендовано застосовувати для випробовувань одне зі значень навантажень: 50, 100, 200, 300, 500, 1000, 1200 Н.

Твердість за Віккерсом (HV) визначається як відношення навантаження до площі пірамідальної пове-

рхні відбитку (рис. 4.7):

$$HV = \frac{2P \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = \frac{1,854P}{d^2}, \text{ [МПа]},$$

де, P – навантаження, Н,

d – середнє арифметичне довжин двох діагоналей відтиску піраміди, м,

α – кут між протилежними гранями піраміди ($\alpha=136^\circ$).

Відстань між центром відтиску і краєм зразка чи краєм сусіднього відтиску має дорівнювати не менше 2,5 довжини діагоналі відтиску. Мінімальна товщина зразка чи шару має бути більшою від діагоналі відтиску для виробів з чорних металів у 1,2 раза, а кольорових – в 1,5 раза.

Символ HV супроводжується індексом, що вказує на навантаження і тривалість його прикладення. Наприклад, HV_{300/20} – твердість за Віккерсом, виміряна при навантаженні 300 Н, що прикладалася протягом 20 с.

Метод Віккерса уможлиблює вимірювати твердість у широкому діапазоні навантажень (від 0,01 Н до 1200 Н), випробовувати найтвердіші матеріали (тверді сплави), визначати твердість дуже тонких шарів при незначному пошкодженні їх поверхні. Недоліки методу: необхідність забезпечення високої точності при виготовленні алмазної піраміди, неможливість вимірювати твердість крупнозернистих матеріалів.

На рис. 4.8 подано схему приладу ТП-2 для випробовування на твердість алмазною пірамідою. Цей прилад складається з трьох основних пристроїв:

- відлікового, який включає в себе відліковий механізм і елементи оптичної системи, призначений для проектування відтиску алмазної піраміди 4 на матовий екран 7 приладу і візуального вимірювання діагоналей відтиску;
- механізму повороту головки 5, який служить для змінного встановлення у робоче положення індентора 4 чи об'єктива 3;
- механізму піднімання стола зі змінними столиками 14 для установу зразка.

Навантаження, рівне 50 Н, забезпечується системою важелів з підвіскою, а більші зусилля створюють встановленням на підвіску змінних вантажів.

Підготовлений зразок поміщують на дослідний столик і злегка притискають його гвинтом до чохла алмазної пірамідки за допомогою обертання маховика 2. Чохол навернутий на втулку для захисту пірамідки від механічних пошкоджень і полегшення установки початкових мінімальних зазорів між пірамідою і зразком. Алмазний індентор встановлюють у робоче положення пово-

ротом ручки 13. Натискаючи на пускову клавішу 1, включають електродвигун, який через привод приладу і механізм навантаження автоматично здійснює встановлений цикл навантаження, витримку зразка під навантаженням і знімання навантаження.

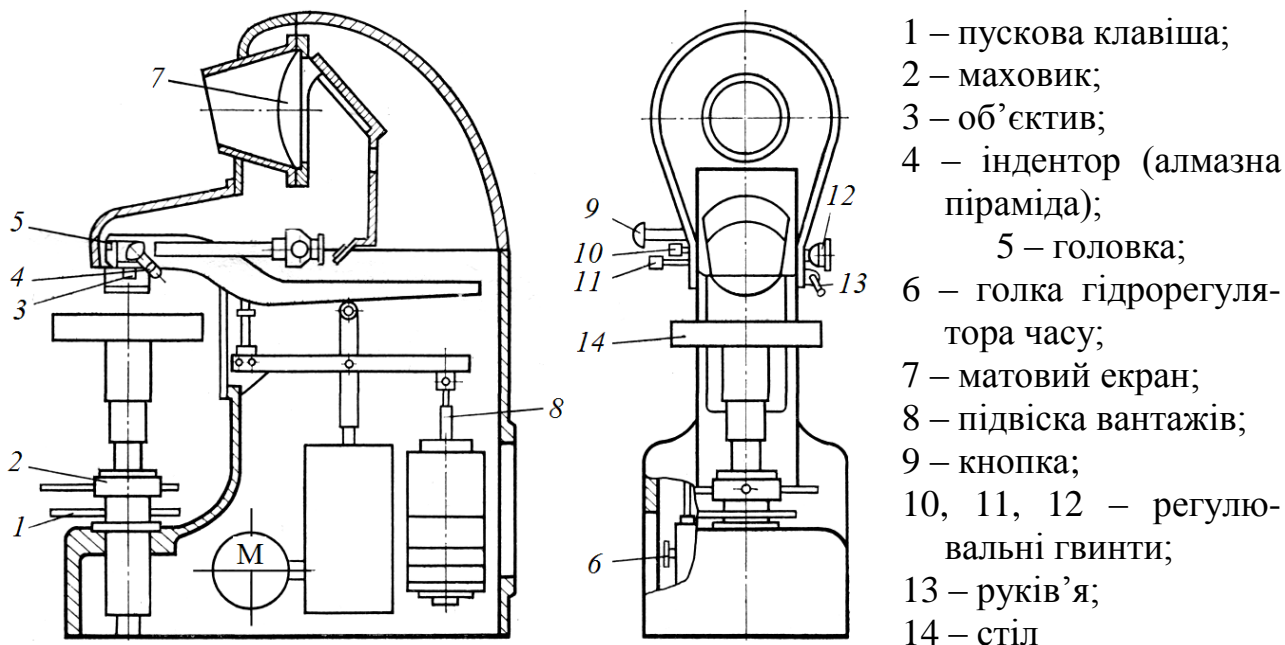


Рисунок 4.8 – Схема приладу типу ТП-2

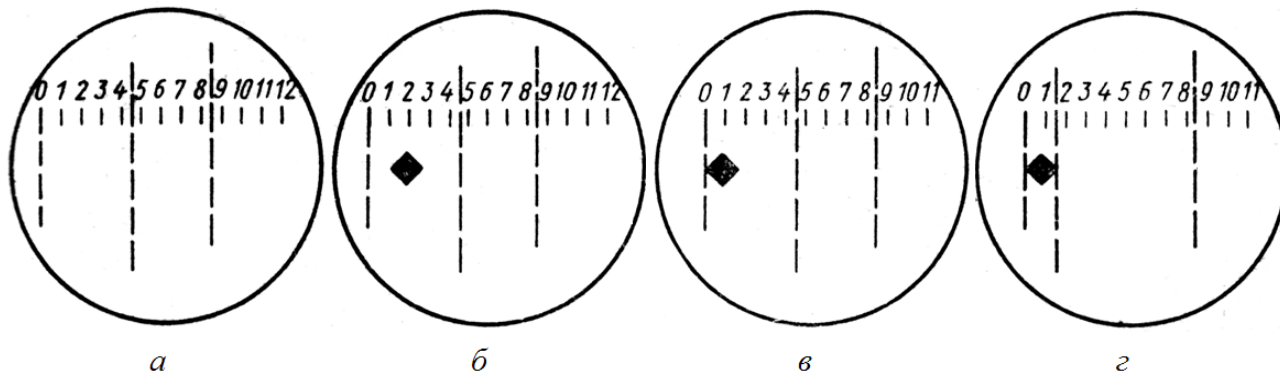


Рисунок 4.9 – Схема послідовності дій для оптичного вимірювання діагоналі відтиску

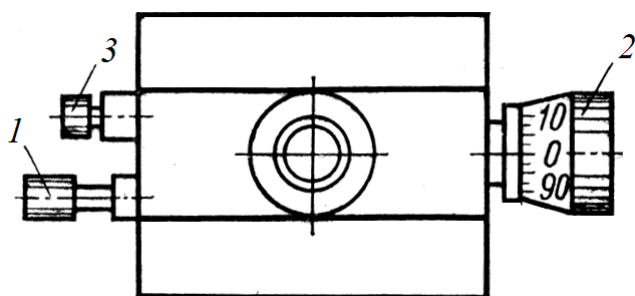


Рисунок 4.10 – Мікрометричний окуляр мікроскопа

Після випробовування зразка вимірюють обидві діагоналі відтиску, при цьому зразок повертають на 90° . Для цього в окулярі мікроскопа є три штрихи (рис. 4.9, а) – два основних і один додатковий. Основні штрихи мають бути розсунені на відстань, що більша за розмір діагоналі відтиску

(рис. 4.9, б). Обертанням великого лівого гвинта 1 (рис. 4.10) необхідно підвести лівий штрих до лівого кута відтиску (рис. 4.9, в). Потім обертанням правого мікрометричного гвинта 2 (рис. 4.10) підвести середній штрих до правого кута відтиску (рис. 4.9, г). Прочитати результат, який отримуємо на шкалі і на мікрометричному гвинті, який буде відповідати величині діагоналі відтиску. При застосуванні об'єктиву зі збільшенням 10^{\times} одна поділка шкали відповідає 100 мкм, а одна поділка на лімбі мікрометричного гвинта – 1 мкм.

Час витримки під навантаженням можна плавно змінювати в межах 10...60 с шляхом збільшення чи зменшення за допомогою голки б (рис. 4.8) в перерізі каналу для проходу оливи в гідравлічному регуляторі часу.

Числа твердості Віккерса, Брінелля, Роквелла мають відповідність, яка проілюстрована в додатку Д.

Завдання

1. Вивчити будову твердомірів типів ТШ і ТК та їхню роботу.
2. Ознайомитись з правилами техніки безпеки при роботі з твердомірами типів ТШ і ТК.
3. Виміряти за методом Брінелля твердість зразків відпаленої сталі, різних сплавів, кольорових металів.
4. Виміряти за методом Роквелла твердість зразків вуглецевої конструкційної, легованої та інструментальної сталей, а також зразків, які піддавались термічній і хіміко-термічній обробкам.
5. Користуючись даними додатку З, перевести числа твердості, визначені за методом Роквелла, в числа твердості за Брінеллем.
6. Вивчити будову твердоміру типу ТП-2 та принцип його роботи.
7. Скласти звіт про виконану роботу.

Правила техніки безпеки при виконанні лабораторної роботи

1. Приступити до виконання після ознайомлення з конструкцією приладу та його органів управління.
2. Візуально перевірити наявність заземлення приладу.
3. Проводити вимірювання тільки в присутності і під керівництвом викладача або лаборанта.
4. Забороняється проводити вимірювання на несправних приладах.

Порядок виконання роботи

1. *Визначення твердості за методом Брінелля.*

- 1.1. Зразки мають відповідати таким вимогам: товщина – не менше десятиразової глибини відбитка і ширина – не менше двох діаметрів кульки. Поверхня зразка має бути плоскою і не забруднена маслами й окалиною, а тому її треба зачистити напилком, а потім шліфувальним папером.
- 1.2. За табл. 4.1 вибрати діаметр кульки, навантаження і час витримування під навантаженням.
- 1.3. Закріпити оправку з кулькою в шпинделі установочним гвинтом і на підвісці приладу встановити потрібне навантаження. Визначити потрібний час витримування під навантаженням.
- 1.4. На предметний столик встановити зразок і обертанням маховика підняти його до оправки з кулькою. Закрутити маховик до відказу, до створення попереднього навантаження 100 Н. Центр відтиску має розміщуватися від краю зразка не менше, як на діаметр кульки, а від сусіднього відтиску – не менше як на два діаметри кульки.
- 1.5. Натиском пальця на пускову кнопку включити електродвигун, а виключиться він автоматично. Після виключення приладу опустити маховиком столик, зняти зразок і за допомогою вимірної лупи виміряти діаметр лунки в двох взаємно перпендикулярних напрямках.
- 1.6. Твердість зразка визначити за допомогою формули та таблиць.

2. *Визначення твердості зразка за методом Роквелла.*

- 2.1. Зразки очистити від гальванічних покриттів, окалин, зняти знеуглецьований шар. Поверхня зразка має бути відшліфована шліфувальним папером і відполірована.
- 2.2. Зразок встановити на предметний столик плоскою поверхнею. Повертанням маховика поступово підвести поверхню досліджуваного зразка до зіткнення з індентором, а після цього плавним обертанням маховика надати попереднє навантаження до того моменту, доки мала (червона) стрілка індикатора не дійде до червоної точки, а велика стрілка не займе майже вертикальне положення (відхилиться від нуля шкали *S* на 5 поділок). Після цього повернути циферблат шкали так, щоб стрілка збіглася з нулем шкали *S*. Якщо мала стрілка індикатора при попередньому навантаженні перейшла за червону точку, треба на досліджуваній поверхні вибрати іншу точку і дослідження провести заново.

- 2.3. Легким натиском пальця на клавішу включається основне навантаження, а знімається воно автоматично. Велика стрілка індикатора під час навантаження повертається проти руху годинникової стрілки, а під час зняття – за напрямком руху годинникової стрілки і займає певне положення, яке відповідає твердості досліджуваного зразка.
3. Ознайомитися з будовою твердоміра типу ТП-2 та принципом його роботи. Описати спосіб вимірювання розмірів відтисків піраміди.

Питання для самоконтролю

1. Що таке твердість матеріалу і яке значення для практики має цей показник?
2. Яка суть методу вимірювання твердості за Брінеллем?
3. Яка суть методу вимірювання твердості за Роквеллом?
4. Яка суть методу вимірювання твердості за Віккерсом?
5. Чи є і якщо є, то яка є залежність між твердістю і міцністю металів?
6. У яких випадках застосовують методи вимірювання твердості за Брінеллем, Роквеллом, Віккерсом, і які обмеження в застосуванні кожного з них?

Література

1. Рудик Д. Ф. Технологія металів та інших конструкційних матеріалів. Лабораторний практикум. / Рудик Д. Ф. – К.: Видавниче об'єднання «Вища школа» Головне видавництво, 1975. – С. 29 – 42.
2. Алаи С. И. Практикум по машиноведению: [учебн. пособие для студентов пединститутов]. / Алаи С. И., Ежевская Р. А., Антоненко У. И.; под общ. ред. Ежевской Р. А. – М.: Просвещение, 1985. – С. 20 – 31.
3. Гуляев А. П. Металловедение: [учебн. для вузов]. – [6-е изд. перераб. и доп.]. / Гуляев А. П. – М.: Металлургия, 1986. – С. 71 – 72, 537.
4. Гарнець В. М. Матеріалознавство: підручник. / В. М. Гарнець. – К.: Кондор, 2010. – С. 80 – 86
5. Основи матеріалознавства / [Сиротюк М., Чернець М., Опеляк М., Сиротюк А.]; за заг. ред. Чернеця М. В., Сиротюка А. М. – Дрогобич: Вид. Дрогобицького держ. педагогічного уні-ту ім. Івана Франка; Коло, 2007. – С. 36 – 40.
6. Яким Р. С. Матеріалознавство: лабораторний практикум / Яким Р. С. – Дрогобич: Коло, 2013. – С. 21 – 37

Приклад форми звіту (лабораторна робота № 4)
ДРОГОБИЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ФРАНКА
 Кафедра машинознавства і матеріалознавства.

Лабораторія матеріалознавства і ТКМ

ЗВІТ

про виконану лабораторну роботу №4

Тема. ВИМІРЮВАННЯ ТВЕРДОСТІ МЕТАЛІВ

Мета роботи: практичне вивчення методів визначення твердості металів за Брінеллем, Роквеллом і Віккерсом.

Обладнання та матеріали: твердомір типу ТШ-2, прилад типу ТК-2 та ТП-2, відлікова лупа для замірювання відбитків, мікрошліфи сталей, кольорових сплавів.

ЗВІТНІ ТАБЛИЦІ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Протокол № 1. Визначення твердості за методом Брінелля (прилад типу ТШ-2).
 Діаметр кульки $D = 10$ мм

Назва деталі	Матеріал	Навантаження Р, Н	Діаметр відтиска d, мм.				Твердість, НВ		Границя міцності, σ_B МПа
			d ₁	d ₂	d ₃	d _c	за формулою	за таблицею	

Протокол № 2. Визначення твердості за методом Роквелла (прилад типу ТК-2).

Назва деталі	Матеріал	Індентор	Навантаження Р, Н	Шкала	Покази індикатора			Твердість НВ
					перший	другий	середнє значення	

Приклад заповнення протокольних таблиць досліджень у звіті

Протокол № 1. Визначення твердості за методом Брінелля (прилад типу ТШ-2).
Діаметр кульки D = 10 мм

Назва деталі	Матеріал	Навантаження Р, Н	Діаметр відтиска d, мм.				Твердість, НВ		Границя міцності, σ_B МПа
			d ₁	d ₂	d ₃	d _c	за формулою	за таблицею	
Пластина 1	Сталь 20	3000	4,6	4,4	4,5	4,5	1786	1790	643
Циліндр 1	Сталь 35	3000	4,3	4,5	4,4	4,4	1873	1870	674
Циліндр 2	Сталь 45	3000	3,5	3,6	3,4	3,5	3021	3020	1088
Пластина 3	Сталь 60С	3000	3,1	3,2	3,2	3,2	3634	3630	1308
Брусок	Сталь У12	3000	3,5	3,5	3,5	3,5	3019	3020	1087
Циліндр 3	Сталь 40Х	3000	4,3	4,5	4,4	4,4	1873	1870	674
Циліндр 4	Сталь 20ХН3А	3000	3,6	3,5	3,6	3,6	2850	2850	1026
Пластина 4	Латунь Л62	1000	3,96	3,95	3,94	3,95	783	783	431
Пластина 5	Алюміній	500	5,3	5,35	5,3	5,3	209	209	69
Пластина 6	Свинець	187,5	6,3	6,3	6,4	6,3	53	50	17

Протокол № 2 Визначення твердості за методом Роквелла (прилад типу ТК-2).

Назва деталі	Матеріал	Індентор	Навантаження Р, Н	Шкала	Покази індикатора			Твердість НВ
					перший	другий	середнє значення	
Фреза 1	Сталь Р18	Алмаз	1500	С	59,8	60	HRC60	600
Різець 1	Сталь Р6АМ5	Алмаз	1500	С	59	59,2	HRC59	590
Різець 2	Сталь Р6М5	Алмаз	1500	С	58	58	HRC58	580
Фреза 2	Сталь Р9	Алмаз	1500	С	73	72,9	HRC73	730
Кільце підшипника	Сталь ШХ15	Алмаз	1500	С	62	62	HRC62	620
Пластина	T15K10	Алмаз	60	А	86	86	HRA86	860

Лабораторна робота № 5

Тема. ДОСЛІДЖЕННЯ ЗРАЗКІВ ЗІ СТАЛЕЙ НА ПРЕДМЕТ ВСТАНОВЛЕННЯ ЇХНЬОЇ МАРКИ МЕТОДОМ ІСКРИ

Мета роботи: ознайомитися з методами технологічного експрес-випробовування сталей та навчитися визначати марки сталі за іскрою..

Обладнання інструменти, матеріали: настільний заточувальний верстат, зразки сталей різних марок, плакат з видами та характеристиками кольорових іскор, захисні окуляри, інструкція.

Теоретичні відомості

На практиці, у виробничих цехах, часто виникає необхідність швидко визначити марку сталі деталі або інструмента. У таких випадках часто марку сталі визначають *методом іскри*. В умовах шкільної майстерні це фактично основний доступний спосіб для встановлення марки сталі.

Зразок сталі притискають до точильного (абразивного) круга, що обертається. При цьому зразок розміщують так, щоб сніп іскор був перпендикулярним до поля зору. Оскільки довжина іскор залежить від сили надавлювання на точильний круг, то під час випробування необхідно добитися рівномірного надавлювання на зразок, надавлювання з різною силою може спотворити результат. Щоб іскри були добре видимі, недалеко від точильного круга встановлюють лист чорної фанери чи картону.

Марку сталі за іскрою визначають на основі кольору іскри й кількості зірочок. При аналізі враховуються такі основні параметри: довжина іскор; характер іскор (переривчасті чи суцільні, рівні чи з потовщеннями); кількість іскор чи ширина снопа; наявність чи відсутність зірочок; колір іскор; яскравість світіння снопа.

Що більше у снопі яскравих зірочок, то вищий у сталі вміст вуглецю. У маловуглецевої сталі іскри довгі, неперервні, трохи вигнуті, жовто-солом'яного кольору, без зірочок, з двома потовщеннями на кінці і посередині. Середньовуглецева сталь дає короткий світлий сніп з невеликою кількістю зірочок, які відокремлюються від середнього потовщення іскор. Високовуглецева сталь утворює короткий і широкий пучок червонуватих іскор з великою кількістю зірочок, що відокремлюються від середнього потовщення іскор. За наявності певних навичок можна розрізнити сталі за вмістом вуглецю з точністю до 0,1 – 0,15 %.

За іскрою можна визначити не лише вміст вуглецю у сталі, але й наявні у ній легуючі домішки. Наприклад, марганцеві сталі утворюють зірочки на кінцях середнього потовщення іскор; вольфрамові сталі дають переривчасті темно-червоні іскри з невеликими світлими потовщеннями на кінцях; хромисті сталі утворюють довгий сніп переривчастих і розгалужених оранжево-червонуватих іскор із зірочками на кінцях; хромовольфрамові сталі дають сніп із іскор двох видів – коротких і товстих червоного кольору і тонких темно-червоного кольору.

Розроблено спеціальні таблиці для визначення марки сталі за кольором і формою іскри. Існують також спеціальні еталонні зразки. Іскри від еталонних та випробуваних зразків порівнюють, що дає змогу достатньо точно визначити марку сталі і кількість наявних у ній домішок. Іскри отримані на деяких марках сталей зображені на рис. 5.1.

Отже, за іскрою завжди можна безпомилково розрізнити, наприклад, швидко-різальну та вуглецеву сталі. Але якісну сталь не можна відрізнити від сталі звичайної якості, яка містить, окрім іншого, сірку, фосфор та інші домішки. Унаслідок малої кількості цих домішок іскра не має особливого забарвлення. Наприклад, сталь 20 у середньому містить 0,2 % C і стільки ж вуглецю міститься у сталях звичайної якості (Ст3, Ст4), відповідно іскра у них буде однаковою.

Правильність визначення марки сталі можуть підтвердити додаткові характеристики. До таких характеристик можна віднести *вигляд зламу*. Злам можна отримати, якщо сталевий пруток надрізати на 1/4 діаметра або товщини, а потім зламати ударом. Наприклад, швидко-різальна сталь (Р9, Р18 і інші) має крихкий злам, а сам злам буде дрібним і дещо темнуватим. Вуглецеві сталі (Ст3, сталь 10, 20 та інші) мають злам крихкий і світліший, порівняно з швидко-різальною сталлю. Якщо порівняти дані, отримані за іскрою, з характеристиками зламу, то можна добитися більшої ймовірності у правильності визначення марки сталі.

У деяких випадках, коли виникають сумніви, можна провести *пробне гартування*. Низьковуглецева сталь, що містить 0,25 % C (Ст3, Ст4, сталь 10, 20 та інші), після гартування від температури 850 – 900 °С з охолодженням у воді залишається м'якою і добре обробляється напилком. Вуглецеву сталь від легованої можна відрізнити за твердістю після гартування з охолодженням у маслі. Вуглецеві сталі з вмістом до 1,3 % C після гартування в олив'ї й охолодження добре обробляються напилком, тоді як леговані сталі (марки 9ХС, ХВГ) при охолодженні у маслі після нагріву (до 820 °С сталі марки ХВГ і до 875 °С сталі марки 9ХС) набувають високої

твердості і напилек ковзає. Так можна, наприклад, розрізнити сталі марок 40 або 50 від сталей марок 40Х або 50Х, які за іскрою мало відрізняються. Сталь марки 40Х після гартування з охолодженням в маслі буде мати відносно високу твердість і напилек буде ковзати або слабо пиляти, а сталі марки 40 або 50 залишаться м'якими.

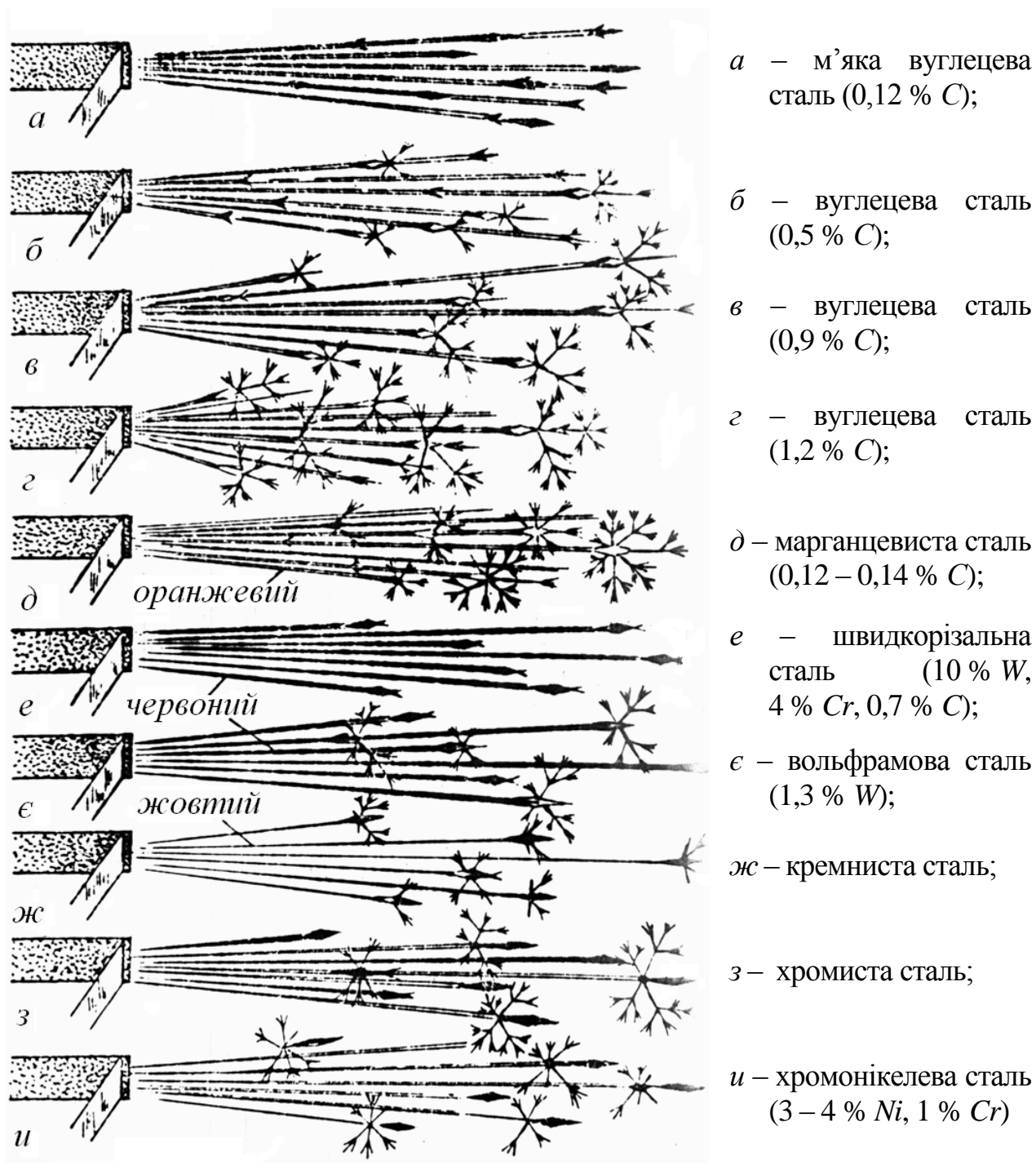


Рисунок 5.1 – Іскри отримані на зразках зі сталей різних марок

Якщо пробу на іскру провести кваліфіковано, а за необхідності врахувати усі додаткові показники сталі (вид зламу, твердість після гартування з охолодженням у різних середовищах тощо), то у багатьох випадках можна успішно розсортувати сталі за марками.

Послідовність виконання роботи

1. Уважно розглянути рисунок з формою та кольором пучка іскор від різних сталей.
2. Отримати взірці різних марок сталей. Досліджуваний взірець підвести до рухомого наждачного круга притиснути до нього і спостерігати за утворенням пучка іскор.
3. Порівнюючи пучки іскор із зображеними на рисунках (за формою, кольором і довжиною іскор, формою і густиною розгалуження), визначити марку сталі.
4. Одержані дані записати у звітну таблицю.

№ зразка	Рисунок одержаних іскор	Коротка характеристика одержаних іскор	Марка сталі	Галузі застосування сталі

Питання для самоконтролю

1. Опишіть методику визначення марки сталі за іскрою.
2. Які основні закономірності в основі методу іскри.
3. Охарактеризуйте іскри маловуглецевої, середньовуглецевої та високовуглецевої сталей.
4. Охарактеризуйте іскри легованих сталей.
5. Опишіть методику визначення марки сталі за зломом.
6. Наведіть приклади визначення марки сталі методом пробного гартування.

Література

1. Атаманюк В.В. Технологія конструкційних матеріалів. / Атаманюк В. В. – К.: Кондор, 2009. – 528 с.
2. Технологія матеріалів, зміцнення та виготовлення деталей машин / [М. Сиротюк, М. Чернець, М. Опеляк та ін.]. – Дрогобич: РВВ Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка, 2009. – 263 с.
3. Алаи С.И. Практикум по машиноведению: [учебн. пособие для студентов пед. институтов]. / Алаи С.И., Ежевская Р.А., Антоненко У.И.; под общ. ред. Ежевской Р.А. – М.: Просвещение, 1985. – 304 с.
4. Технологія конструкційних матеріалів. / [М. А. Сологуб, І. О. Рожнецький, О. І. Некоз та ін.]; за ред. М. А. Сологуба – К.: Вища школа, 2002. – 374 с.
5. Нікіфоров В. М. Технологія металів і конструкційні матеріали Нікіфоров В. М. – К.: Вища школа. Головне видавництво, 1984. – 344 с.
6. Технологія конструкційних матеріалів: лабораторний практикум / Попович В. Д., Яким Р. С., Сиротюк А. М.; під ред. Р. С. Якіма. – Дрогобич: Редакційно-видавничий відділ Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка, 2015. – С. 16 – 19.

Приклад форми звіту (лабораторна робота № 5)
ДРОГОБИЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ФРАНКА
Кафедра машинознавства і матеріалознавства.

Лабораторія матеріалознавства і ТКМ

ЗВІТ

про виконану лабораторну роботу №5

Тема. ДОСЛІДЖЕННЯ ЗРАЗКІВ ЗІ СТАЛЕЙ НА ПРЕДМЕТ
ВСТАНОВЛЕННЯ ЇХНЬОЇ МАРКИ МЕТОДОМ ІСКРИ

Мета роботи: ознайомитися з методами технологічного експрес-випробовування сталей та навчитися визначати марки сталі за іскрою.

Обладнання інструменти, матеріали: настільний заточувальний верстат, зразки сталей різних марок, плакат з видами та характеристиками кольорових іскор, захисні окуляри, інструкція.

ЗВІТНІ ТАБЛИЦІ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Протокол. Результати встановлення марки сталей за їхньою іскрою

№ зразка	Рисунок одержаних іскор	Коротка характеристика одержаних іскор	Марка сталі	Галузі застосування сталі

Висновки

1. Які точні методи встановлення марки сталей вам відомі? У чому їх суть?
2. Яка причина утворення зірочок в іскрі? Від чого залежить їхній розмір?
3. Як залежить колір іскри від виду легуючої домішки у сталі?
4. Як рельєф зламу сталі залежить від вмісту вуглецю у ній та розміру її зерен?

« _____ » _____ 20 р. _____ / _____ група _____

Дата виконання роботи _____ Прізвище та ініціали студента / підпис студента _____




Оцінювання роботи

Допуск до роботи	Виконання роботи	Захист роботи	За роботу

Робота прийнята _____ / _____

Приклад заповнення протокольної таблиці досліджень у звіті

Протокол. Результати встановлення марки сталей за їхньою іскрою

№ зразка	Рисунок одержаних іскор	Коротка характеристика одержаних іскор	Марка сталі	Галузі застосування сталі
Пруток 1		Іскри довгі, неперервні, трохи вигнуті, жовто-солом'яного кольору, без зірочок, з двома потовщеннями на кінці і посередині	Низько-вуглецева	Виготовлення виробів штампуванням і зварюванням
Пруток 2		Короткий і широкий пучок червонуватих іскор, велика кількість зірочок, що відокремлюються від середнього потовщення іскор	Високо-вуглецева	Виготовлення силових пружних елементів (пружин, ресор)
Пруток 3		Довгий сніп переривчастих і розгалужених оранжево-червонуватих іскор із зірочками на кінцях	Хромиста	Корозостійкі, для виробів, що працюють в агресивних середовищах

Тема. ВИМІРЮВАННЯ МІКРОТВЕРДОСТІ МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи: вивчити будову мікротвердоміра ПМТ-3 та його роботу; освоїти методики визначення твердості окремих структурних складових сплавів.

Обладнання та матеріали: мікротвердомір ПМТ-3, набір готових мікрошліфів, зразки (стрічка, фольга, цементовані і загартовані сталі), набір зразків для самостійного виявлення мікроструктури, матеріали для виготовлення мікрошліфів, реактиви для виявлення мікроструктури, таблиці для визначення мікротвердості.

Теоретичні відомості

Метод визначення мікротвердості є стандартизованим (ГОСТ 9450-75). Він призначений для оцінювання твердості дуже малих (мікроскопічних) об'ємів матеріалів. Його застосовують для вимірювання твердості дрібних деталей, тонких дротів, смуг, тонких поверхневих шарів, покриттів. Зразки стрічки, фольги, маючи чисту поверхню, випробовують без підготовки. Зміцнені цементацією, азотуванням, гартовані зразки сталей, а також зразки з наплавленими чи іншим способом нанесеними зносостійкими покриттями шліфують, полірують, травлять, тобто готують мікрошліф, який має задовольняти вимоги для металографічних досліджень. Головне призначення – оцінювання твердості окремих фаз чи структурних складових сплавів, а також різниці в твердості окремих ділянок цих складових.

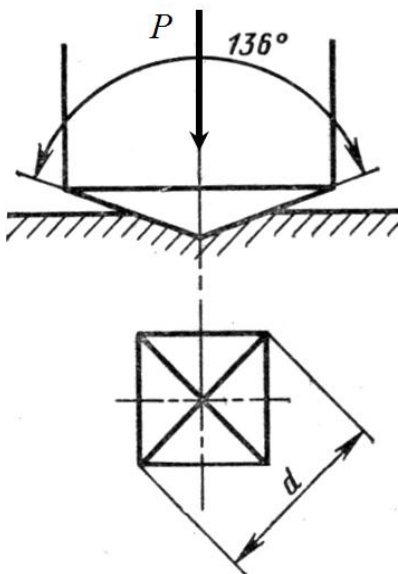


Рисунок 6.1

Для отримання відтиску на поверхні досліджуваного зразка застосовується індентор у вигляді алмазної піраміди з кутом при вершині 136° за аналогом до методу Віккерса (рис. 6.1). Метод передбачає плавне втискування у поверхню зразка індентора при навантаженнях 0,5 – 5Н. Число мікротвердості H_{\square} , МПа, визначається за формулою

$$H_{\square} = 1,854 \frac{P}{d^2}, \text{ [МПа]}$$

де, P – навантаження, Н,

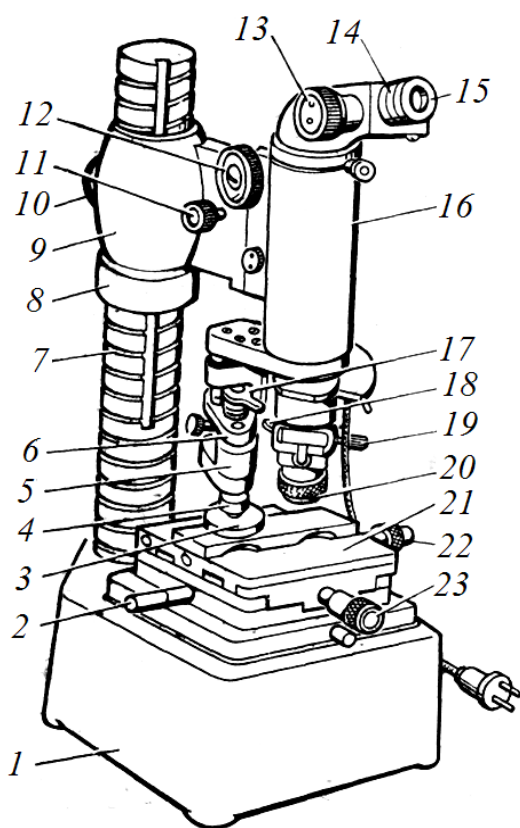
d – середнє арифметичне довжин двох діагоналей відтиска піраміди, мм, як правило $d = 7 \dots 50$ мкм,

α – кут між протилежними гранями піраміди ($\alpha = 136^\circ$).

Згідно зі стандартом, число мікротвердості записують без одиниці вимірювання (МПа), наприклад, $H_{\square}150$.

Будова і принцип дії мікротвердоміра

Прилад ПМТ-3 має такі складові (рис. 6.2): штатив, предметний столик, гвинтовий окулярний мікрометр, навантажувальний механізм і спеціальний освітлювач.



- 1 – основа;
- 2 – руків'я повороту столик на 180° ;
- 3 – зразок;
- 4 – оправка з алмазною пірамідою;
- 5 – механізм навантаження;
- 6 – механізм навантаження;
- 7 – стійка;
- 8 – гайка макрорегулятора висоти;
- 9 – кронштейн;
- 10 – гвинт;
- 11 – мікроподача тубусу мікроскопу;
- 12 – макроподача тубусу мікроскопу;
- 13 – барабан регулювання перехрещених штрихів;
- 14 – вимірювальний мікроскоп;
- 15 – окуляр;
- 16 – тубус мікроскопа;
- 17 – руків'я навантаження;
- 18, 19 – гвинти центрування приладу;
- 20 – об'єктив;
- 21 – предметний столик;
- 22, 23 – регулювальні гвинти координатного переміщення предметного столика

Рисунок 6.2 – Прилад ПМТ-3 для вимірювання мікротвердості

Штатив складається з основи 1, стійки 7, по якій гайкою 8, за ослаблення гвинта 10, можна переміщати кронштейн 5 з тубусом 16 мікроскопу. Кронштейн 9 має направляючі, по яких можна переміщувати тубус 16. Тубус 16 може переміщуватися вгору і вниз завдяки обертанню гвинта 12 (макроподача), а регулюватися чи здійснювати мале переміщення за допомогою обертання гвинта 11 (мікроподача). Тубус має похилу трубку з окуляром 15 і об'єктив 20. До тубуса прикріплено механізм навантаження 6 з індентором – алмазною пірамідою 4. На основі 1 кріпиться предметний столик 21. Верхня частина сто-

лика пересувається у двох взаємно перпендикулярних напрямках за допомогою мікрометричних гвинтів 22 і 23. Максимальний хід столика 10 мм. Ціна поділки шкали барабана мікрометричного гвинта дорівнює 0,01 мм. Руків'ям 2 столик можна повернути на 180° від одного упору до іншого.

На столик 21 встановлюють зразок 3. Центрування приладу здійснюється гвинтами 18, 19. Для навантаження застосовують спеціальні вантажі у формі шайб з вирізом масою 5, 10, 20, 50, 100, 200 і 500 г. При випробовуванні, один з вантажів (шайба 5) встановлюють вирізом на шток механізму навантаження 6. Втискання алмазної пірамідки 4 у підготовлену поверхню зразка 3 під дією вантажу, що є на штоці, здійснюється поворотом руків'я 17 приблизно на півоберта. Діагональ отриманого відтиска вимірюють окулярем мікроскопом 14.

Методика підготовки і проведення випробовувань

Послідовне розташування механізмів для підготовки і проведення випробовувань подано на рис. 6.3.

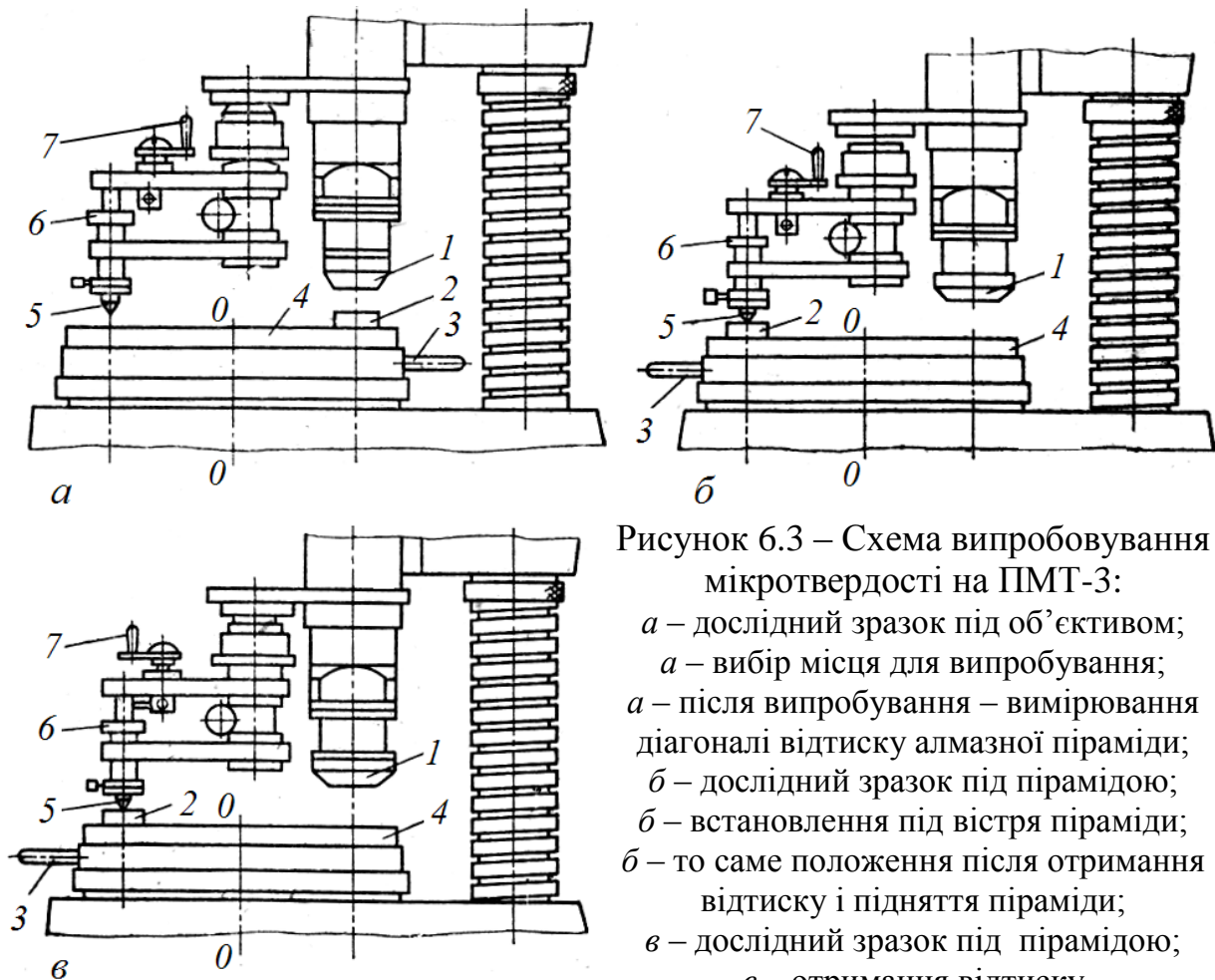


Рисунок 6.3 – Схема випробовування мікротвердості на ПМТ-3:

- а* – дослідний зразок під об'єктивом;
- а* – вибір місця для випробування;
- а* – після випробування – вимірювання діагоналі відтиску алмазної пірамідки;
- б* – дослідний зразок під пірамідкою;
- б* – встановлення під вістря пірамідки;
- б* – то саме положення після отримання відтиску і підняття пірамідки;
- в* – дослідний зразок під пірамідкою;
- в* – отримання відтиску

1 – об'єктив; 2 – шліф зразка; 3 – руків'я столика; 4 – предметний столик;
5 – алмазна пірамідка; 6 – вантаж; 7 – важіль арретіра

1. Установити і закріпити зразок чи шліф 2 (рис 6.3, *a*) на предметному столику 4 під об'єктивом 1; столик має бути в крайньому правому положенні, обмеженому упором.

2. Відрегулювати освітлювання досліджуваної площини предмета та навести на фокус поверхню зразка 2 обертанням гвинтів 12 і 11 (рис 6.2) макро- та мікроподачі. Для регулювання освітлення у схемі живлення є реостат.

3. Установити на різкість нитки окулярного мікрометра шляхом обертання окулярної лінзи 15 (рис 6.2).

4. Обертанням барабану 13 (рис 6.2) встановити перехрещені нитки окулярного мікроскопа в центр поля зору на поділці 4 шкали (рис 6.4, *a*). Повний оберт барабана (100 малих поділок на барабані) відповідає переміщенню перехрещених ниток.

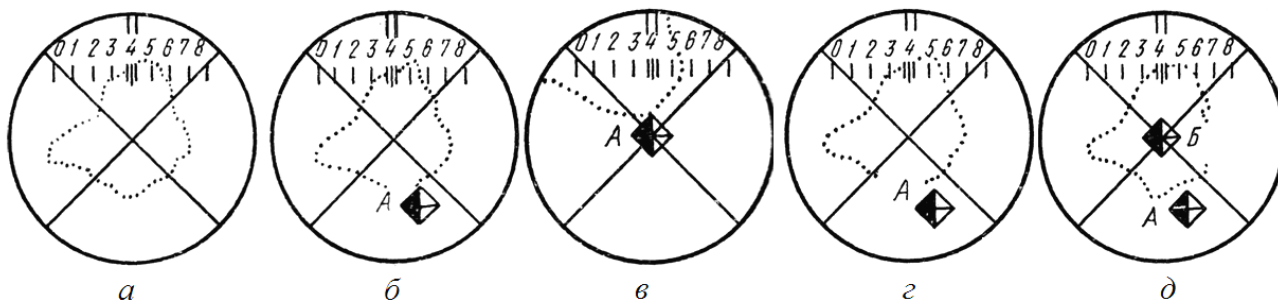


Рисунок 6.4 – Центрування приладу ПМТ-3:

a – розташування подвійного штриха окулярного мікроскопа в центрі поля зору на поділці 4 шкали;

б – відтиск *A* при неправильно відцентрованому приладі;

в – відтиск *A* при правильно відцентрованому приладі;

г – встановлення приладу для отримання наступного відтиску *Б*;

д – послідовне отримання відтисків *A* і *Б*

5. Вибрати на зразку 2 (рис 6.3, *a*) місце для нанесення відтиску і підвести його переміщенням столика гвинтом 22 і 23 (рис 6.2) під перехрестя ниток (рис 6.4, *a*, *г*).

6. Точно навести на фокус поверхню зразка 2 плавним обертанням гвинта 11 (рис 6.2) мікроподачі.

7 Вибрати вантаж *б* (рис 6.3, *a*) і помістити його на шток механізму навантаження. Навантаження записати в протокол випробовувань.

8. Повернути руків'ям 3 предметний столик навколо осі *00* у крайнє ліве положення до упору (рис 6.3, *б*), при цьому повертати необхідно обережно без удару об упор, щоб не змістити зразок.

9. Здійснити втискування алмазної піраміди 5, для чого повільно і рівномірно, одним пальцем, повертати на себе руків'я 7 арретіра (рис 6.3, в).

10. Витримати зразок під навантаженою пірамідою 4 – 7 с.

11. Зняти навантаження, для чого рівномірно, одним пальцем, повертати від себе руків'я 7 арретіра (рис 6.3, б).

12. Повернути руків'ям 3 предметний столик навколо осі 00 у крайнє праве положення до упору (рис 6.3, а), при цьому повертати необхідно обережно без удару об упор, щоб не змістити зразок. Вигляд отриманого відпечатку та системи відтисків подано на рис 6.4, в, д.

13. Виміряти окулярним мікроскопом діагональ отриманого відтиска.

Методика вимірювання діагоналі відтиска алмазної піраміди

Окулярним гвинтом мікрометра вимірюють величину зображення. У фокусній площині окуляра мікрометра розміщена нерухома скляна пластинка зі шкалою від 0 до 8 мм, кожна поділка якої відповідає 1мм.

Схема вимірювання діагоналі відтиска індентора – алмазної піраміди зображена на рис. 6.5.

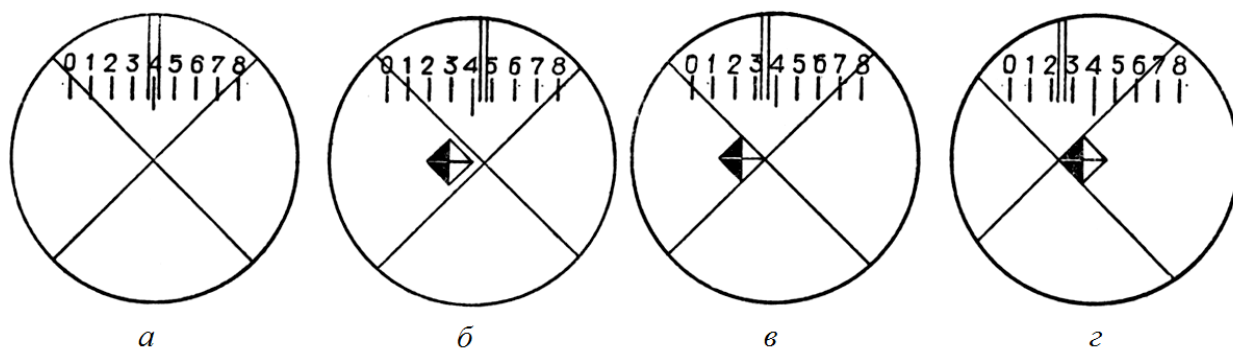


Рисунок 6.5 – Схема вимірювання діагоналі відтиска індентора окулярним мікроскопом:

а – положення відлікових штрихів і шкали перед нанесенням відтиска;

б – підведення ниток (справа наліво) до правого кута відтиска;

в – положення ниток при вершині правого кута відтиску для першого відліку (нитки підведені справа);

г – положення ниток при вершині лівого кута відтиску для другого відліку (нитки підведені зліва)

1. Нитки приладу розмістити відносно відтиска, як показано на рис. 6.5, б.

2. Обертанням барабана 13 окулярного мікроскопа 14 (рис. 6.2) лівий кут перехресних ниток перемістити (справа наліво) до правого кута відтиска так, щоб товщина ниток залишилася справа від контуру відтиска (рис. 6.5 в).

3. Зробити відлік показників шкали і лімба барабана окулярного мікроскопа; спостерігаючи в окуляр, визначити, між якими цифрами шкали розташувалося перехрестя ниток; до цього числа додати показники лімба барабана. Коли подвійний штрих розмістився між цифрами шкали, то зліва від індексу цифра покаже сотні, а цифри на лімбі барабана – десятки й одиниці. Записати отримані дані в протокол випробовувань.

Приклад, подвійний штрих є між цифрами 3 і 4 (рис. 6.5 в), що відповідає числу 300, а на лімбі барабана – числу 56, тоді сума буде:
 $300 + 56 = 356$.

4. Обертанням барабана окулярного мікрометра правий кут ниток перемістити до лівого кута відтиска (рис. 6.5 з) і записати відлік показів шкали і лімба барабана окулярного мікрометра за аналогом до п.3.

Приклад, подвійний штрих є між цифрами 2 і 3 (рис. 6.5 з), що відповідає числу 200, а на лімбі барабана – числу 26, тоді сума буде:
 $200 + 26 = 226$.

6. Від першого числа 356 відняти друге число 226. Знайдемо різницю 130 і це буде довжиною діагоналі відтиска. У цьому випадку довжина діагоналі відтиску дорівнює 130 поділкам лімба барабана окулярного мікрометра.

7. Для визначення довжини діагоналі відтиска у мікрометрах необхідно знайдену довжину в поділках помножити на ціну однієї поділки лімба барабана окулярного мікрометра, яка дорівнює 0,3 мкм ($130 \times 0,3 = 39,0$ мкм).

Примітка. Для визначення ціни поділки барабана використовують окулярний мікрометр, тобто окуляр, в якому встановлена скляна пластина, з поділками через 0,01 мм. Тоді, ціна однієї поділки барабана (K) дорівнює:

$$K = \frac{z \cdot T}{A},$$

де z – ціна поділки окулярного мікрометра;

T – число поділок окулярного мікрометра; A – число поділок барабана.

Приклад: якщо число поділок окулярного мікрометра дорівнює 10, а барабана 320 і ціна однієї поділки окулярного мікрометра – 0,01 мм, то

$$K = \frac{0,01 \cdot 10}{320} = 0,00031 \text{ мм, тоді збільшення мікроскопа: } M = \frac{z \cdot 10}{K},$$

$$M = \frac{0,01 \cdot 10}{0,00031} = 320 \text{ разів.}$$

Число твердості визначають за спеціальними таблицями, які розраховані на навантаження 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 2; 5 Н (додаток Е).

Приклад: якщо вказана вище довжина діагоналі відпечатку 39 мкм була отримана при навантаженні 1 Н, то для цієї діагоналі відтиска число твердості (в МПа) дорівнює $H_{\square}1220$.

Заувага

При випробовуваннях необхідно максимально знизити вплив вібрації, ретельно готувати поверхню мікрошліфів, акуратно і плавно здійснювати регулювання механізмів!

У міру зменшення навантаження всі похибки зростають. Тому не рекомендується працювати з вантажами, які дають відбитки з $d < 8 - 9$ мкм.

Юстування за висотою здійснюють таким чином, щоб при опусканні ненавантаженого індетора на поверхню шліфа з якого-небудь м'якого металу (алюміній, олово), не з'являвся відтиск, а при навантаженні 0,005 Н з'явився дуже маленький. Юстування можна здійснювати на еталоні (на кристалі NaCl)

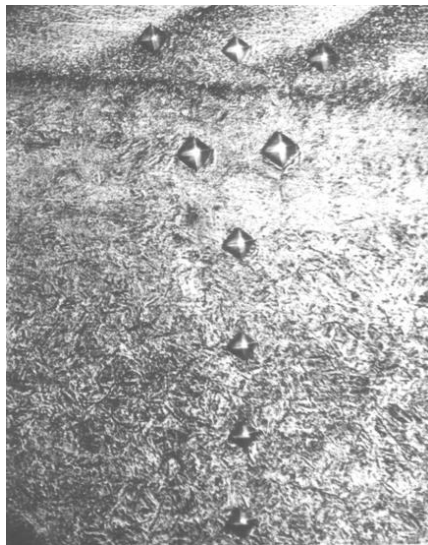
Для випробовування різних структурних складових сплавів можна орієнтуватися даними отриманими В. К. Григоровичем (табл. 6.1).

Таблиця 6.1 – Мікротвердість (МПа) структурних складових сталей і чавуну (В. К. Григорович)

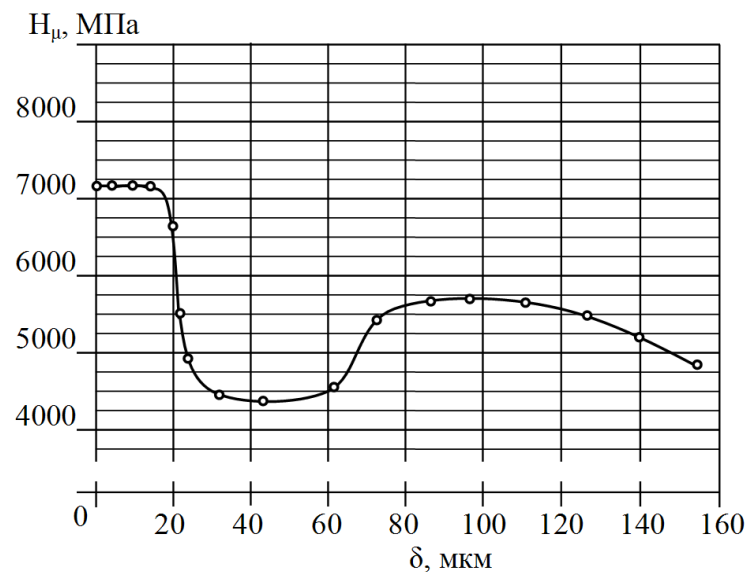
Сплав	Ферит	Перліт зернистий	Перліт пластинчатий	Карбідна фаза	Аустеніт	Ледебурит
Сталь 08	1250	–	–	–	–	
Сталь 30	2750-3150	–	3250-3450	–	–	–
Сталь У7	2550	–	2750-3300	–	–	–
Сталь ШХ15	–	2150-2850	–	–	–	–
Сталь Х12	–	2950-3400	–	11560-13700	–	7500-8500
Сталь Х12М	–	2750-3100	–	11560-12500	5200	–
Сталь 12Х18Н9Т	–	–	–	–	1750	–
Чавун	–	–	3000-3650	9000-11500	4250-4950	10000-11250

Ілюстрацією застосування випробовувань на мікротвердість є подані на рисунку 4.6 результати досліджень ефективності застосування механоультразвукового зміцнення на розподіл мікротвердості від поверхні до серцевини на сталі 40Х. На мікрофотографії протравленого мікрошліфа чітко видно відтиски алмазної піраміди. Тут поверхневі шари мають дрібнозернисту структуру мартенситу, далі йде ділянка з грубішою структурою відпущеного мартенситу, троститу. Відповідно мікротвердість у поверхневих шарах (механоультразву-

кове зміцнювальне оброблення) є максимальна, у відпущеній ділянці – мінімальна, наближається до твердості серцевини, а далі спостерігається рівень твердості, сформований при гартуванні та низькому відпуску.



a



б

Рисунок 6.6. – Мікроструктура ($\times 200$) з відтисками алмазної піраміди (*a*) та розподіл мікротвердості від поверхні в серцевину (*б*) загартованої і сталі 40X (низький відпуск + зміцнення механоультразвуковим обробленням)

Порядок виконання роботи

1. Підготувати зразок (мікрошліф). Поверхня мікрошліфа шліфується, полірується і протравлюється для виявлення мікроструктури.
2. Установити на предметний столик так, щоб досліджувана поверхня була паралельна до площини столика. Зразок фіксують по боках пластиліном.
3. Мікрошліф розглядають через окуляр, центрують і вибирають на ньому ділянку для вимірювання мікротвердості.
4. Установити тягарці відповідно до твердості вимірювальної ділянки (що більша твердість фази, то важчим має бути тягарець).
5. Плавню, за допомогою руків'я, повертають столик на 180° (від упора до упора) для підведення вибраної ділянки під алмазну піраміду.
6. Повільним повертанням (впродовж 10 – 15 с) поворотом руків'я опускають шток з алмазною пірамідою так, щоб вершина алмазної піраміди доторкнулася поверхні зразка. У цьому положенні зразок є під навантаженим індентором протягом 10 – 15 с, після чого повертають руків'я у вихідне положення, піднімаючи шток.
7. Повертають столик на 180° . Підводять зразок під об'єктив для вимірювання діагоналі відтиска.

8. Здійснюють вимірювання діагоналей відтиска піраміди. Повертаючи окуляр на 90° , визначають також довжину діагоналі. Вимірювання одержаного відтиску проводять не менше трьох разів.
9. Усі дані: вибраний вантаж, розміри діагоналей відтиска піраміди, а також результати обчислень мікротвердості записують у звітні таблиці результатів досліджень (табл. 6.2).
10. За результатами вимірювань мікротвердості окремих фаз, роблять висновки про властивості матеріалів.

Таблиця 6.2 – Результати випробувань мікротвердості

№ з/п	Сплав	Фаза або структурна складова сплаву	Навантаження P , Н	Довжина діагоналей відтиска					Твердість, H_{\square}	
				d_1 , у поділках барабану	d_1 , мкм	d_2 , у поділках барабану	d_2 , мкм	Середнє значення довжини діагоналей $\frac{d_1 + d_2}{2}$, мм	Розрахована	За таблицею

Питання для самоконтролю

1. У чому полягає суть методу вимірювання мікротвердості?
2. Яка мета вимірювання мікротвердості?
3. Який прилад застосовують для вимірювання мікротвердості у цій роботі та з яких основних частин він складається?
4. У чому полягає суть методики підготовки і проведення випробувань мікротвердості?
5. У чому полягає суть методики вимірювання діагоналі відтиска алмазної піраміди?
6. Де використовується метод вимірювання мікротвердості?

Література

1. Рудик Д. Ф. Технологія металів та інших конструкційних матеріалів. Лабораторний практикум. / Рудик Д. Ф. – К.: Видавниче об'єднання «Вища школа» Головне видавництво, 1975. – С. 42 – 49.
2. Сиротюк А. М. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів: методичні матеріали до виконання лабораторних робіт [для студентів вищих навчальних закладів]. Частина I / А. М.Сиротюк, О. В. Матієчко. – Дрогобич: Редакційно-видавничий відділ Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка, 2008. – С. 10 – 14.
3. Яким Р. С. Матеріалознавство: лабораторний практикум / Яким Р. С. – Дрогобич: Коло, 2013. – С. 38 – 48

ЗВІТ

про виконану лабораторну роботу № 6

Тема. ВИМІРЮВАННЯ МІКРОТВЕРДОСТІ МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи: вивчити будову мікротвердоміра ПМТ-3 та його роботу; освоїти методики визначення твердості окремих структурних складових сплавів.

Обладнання та матеріали: мікротвердомір ПМТ-3, набір готових мікрошліфів, зразки (стрічка, фольга, цементовані і загартовані сталі), набір зразків для самостійного виявлення мікроструктури, матеріали для виготовлення мікрошліфів, реактиви для виявлення мікроструктури, таблиці для визначення мікротвердості.

ЗВІТНА ТАБЛИЦЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Протокол. Результати випробувань мікротвердості

№ з/п	Сплав	Фаза або структурна складова сплаву	Навантаження P , Н	Довжина діагоналей відтиска				Твердість, H_{\square}	
				d_1 , у поділках барабану	d_1 , мкм	d_2 , у поділках барабану	d_2 , мкм	Середнє значення довжини діагоналей $\frac{d_1 + d_2}{2}$, мм	Розрахована

Висновки

1. Яке значення для техніки і науки має вимірювання мікротвердості матеріалів?
2. Що подібне і що відмінне в методах вимірювання мікротвердості та твердості за Віккерсом?
3. Які дані про властивості матеріалів дають результатами вимірювань мікротвердості окремих фаз металевих сплавів?

Тема. ВИВЧЕННЯ ДІАГРАМИ СТАНУ ЗАЛІЗО – ЦЕМЕНТИТ

Мета роботи: вивчити фазові та структурні перетворення, що протікають в залізовуглецевих сплавах при нагріванні і охолодженні.

Обладнання та матеріали: діаграма стану залізо – цементит, інструкція.

Теоретичні відомості

Діаграму стану залізовуглецевих сплавів будують у межах концентрації вуглецю від 0 до 6,67%, тобто до утворення першої хімічної сполуки карбіду заліза (Fe_3C) (рис 7.1). Сплави з концентрацією вуглецю, що перевищує 6,67%, практично не використовуються через їхні незадовільні механічні властивості. Компонентами залізовуглецевих сплавів є два хімічні елементи – *залізо* та *вуглець*. *Вуглець* може перебувати в сплавах у цементиті Fe_3C , у твердих розчинах проникнення, а також у вигляді графіту. Фази системи залізо – вуглець:

Рідкий розчин Р – однорідна рідина, що складається із заліза та вуглецю. Рідкий розчин існує як окрема фаза, що є над лінією ліквідує, а між лініями ліквідує та солідус він перебуває у рівновазі з кристалічною фазою (феритом, аустенітом або цементитом).

Ферит Ф – твердий розчин проникнення вуглецю в α -залізі. Максимальна розчинність вуглецю у фериті становить 0,02%. Така незначна розчинність пояснюється малими розмірами порожнин в об'ємноцентрованому кубі заліза проти розмірів атома вуглецю.

Аустеніт А – твердий розчин проникнення вуглецю в γ -залізі з максимальною розчинністю 2,14%С. Атом вуглецю може перебувати в центрі ГЦК. Аустеніт не магнітний, досить пластичний і має твердість *НВ*170...220.

Цементит Ц – хімічна сполука заліза з вуглецем Fe_3C , яка відповідає концентрації вуглецю 6,67%. Твердість цементиту дуже висока (*НВ*800), його температура плавлення становить 1260°C.

Перліт П – механічна суміш (*евтектоїд*) фериту та цементиту, яка утворюється при евтектоїдному розпаді аустеніту (0,8%С).

Ледебурит Л (4,3%С) – механічна суміш (*евтектика*) аустеніту або перліту та цементиту. Нижче 727°C аустеніт перетворюється у перліт, при цьому утворюється суміш перліту та цементиту.

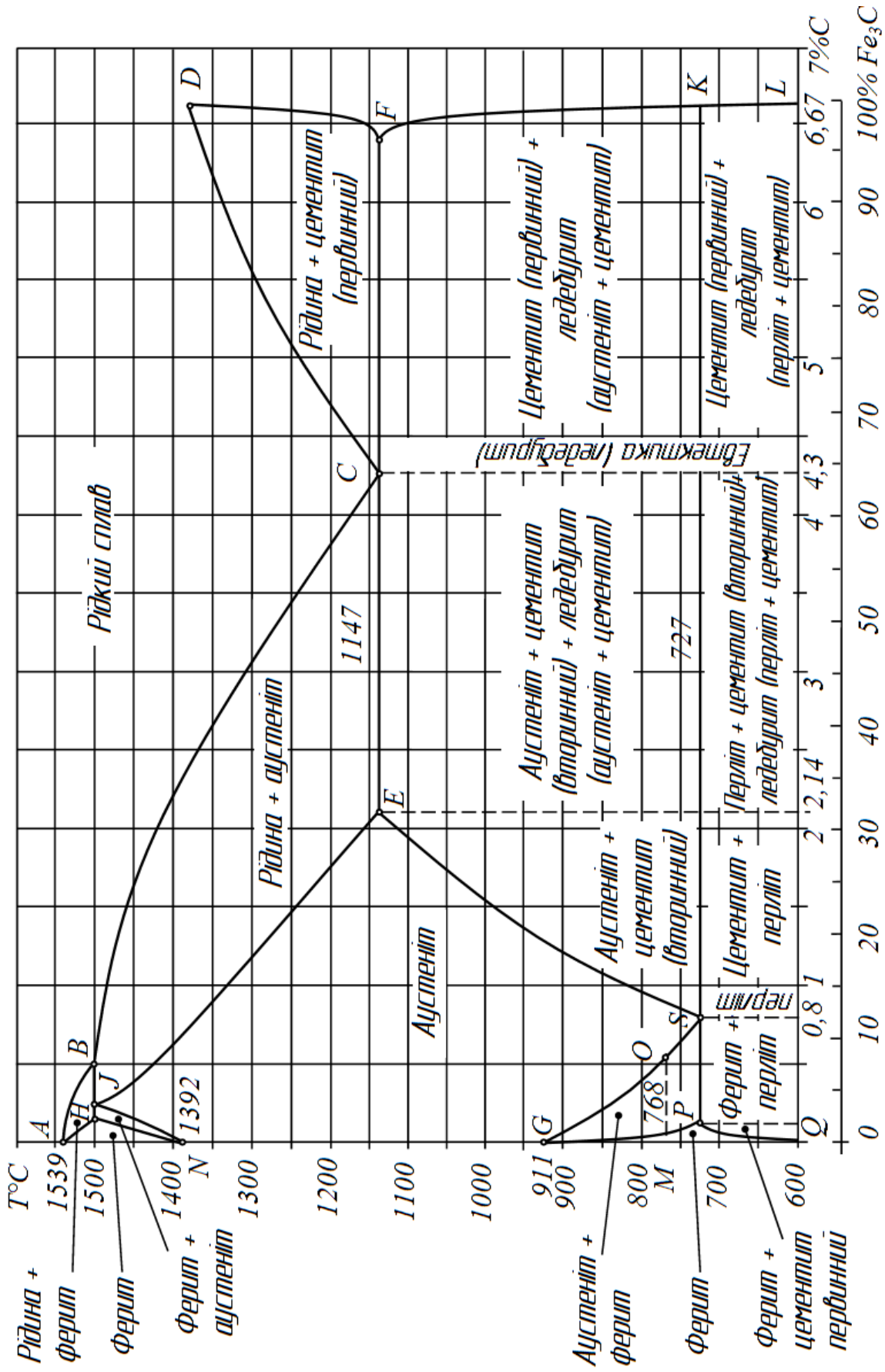


Рисунок 7.1 – Діаграма стану залізовуглецевих сплавів

Діаграма залізо – вуглець характеризує структурні перетворення, які відбуваються у залізобуглецевих сплавах при їх охолодженні. По лінії *ліквідус* ACD маємо початок, а на лінії *солідус* $AECF$ – кінець кристалізації. Тут на ділянці AC лінії ліквідус, рідкий розчин переходить в аустеніт, а на ділянці CD – у цементит первинний C_I . Кристалізація аустеніту закінчується на ділянці AE лінії солідус. При температурі 1147°C (лінія ECF) з рідкого розчину P концентрації складу точки C ($4,3\%C$) утворюється дрібна механічна суміш – *ледебурит*.

Отже, на лінії солідус закінчується *первинна кристалізація* і нижче від цієї лінії починається *вторинна кристалізація*. *Вторинна кристалізація* зумовлена поліморфізмом заліза та температурною зміною розчинності вуглецю в аустеніті. На лінії GS аустеніт перетворюється у ферит.

Розчинність вуглецю в аустеніті і фериті залежить від температури. Зі зниженням температури від 1147°C (точка E) до 727°C (точка S) максимальна розчинність вуглецю в аустеніті зменшується від $2,14$ до $0,8\%$. Вуглець виділяється із γ -заліза з утворенням *вторинного цементиту* C_{II} . Таке перетворення називають *евтектоїдним* (розпад твердого розчину). В результаті цього розпаду утворюється дуже дрібна двофазна ферито-цементитна структура, яка називається *перлітом* P . Це перетворення завершується по лінії PSK .

Якщо розглядаються процеси, що відбуваються при охолодженні сплавів, тоді критичні точки додатково позначаються літерою «г». Якщо розглядаються процеси, що відбуваються при нагріванні сплавів, тоді критичні точки додатково позначаються літерою «с».

Зміна розчинності вуглецю у фериті (Φ), залежно від температури, відповідає лінії PQ . При охолодженні в умовах рівноваги ця лінія відповідає температурам початку виділення третинного цементиту (C_{III}), а при нагріванні – повній його розчинності.

Розглянемо кристалізацію сплавів $Fe-Fe_3C$:

Лінія AB (лінія *ліквідус*) показує температуру початку кристалізації фериту (Φ) із рідкого сплаву.

Лінія BC (лінія *ліквідус*) відповідає температурі початку кристалізації аустеніту (A) із рідкого сплаву.

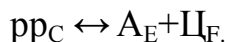
Лінія CD (лінія *ліквідус*) відповідає температурі початку кристалізації первинного цементиту ($Fe-Fe_3C$) із рідкого сплаву.

Лінія HA (лінія *солідус*) є температурною межею зони рідкого сплаву і фериту (Φ).

Лінія HJB – лінія перитектичного нонваріантного перетворення ($C = 0$); при охолодженні до температури 1499°C протікає перитектична реакція (рідкий розчин складу точки В взаємодіє з феритом (Φ) складу точки Н з утворенням аустеніту (А) точки J.

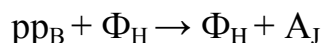


Лінія ECF (лінія *солідус*) відповідає кристалізації евтектики – ледебурит



У сплавах що містять $0,1 \dots 0,16\%C$, при охолодженні до температури, що відповідають лінії АВ, із рідкої фази починають виділятися кристали фериту (Φ) і сплав стає двофазним (рідина і кристали фериту (Φ)).

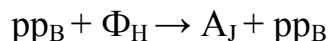
При 1499°C протікає перитектична реакція:



У сплаві, що містить $0,16\%C$ (точка J) реакція протікає так:



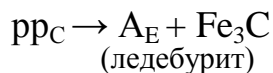
У сплавах, що містить $0,16 \dots 0,51\%C$ при перитектичній температурі в результаті взаємодії між феритом (Φ) і рідкою фазою утворюється аустеніт (А):



Сплави, що містять від $0,51$ до $2,14\%C$, кристалізуються в інтервалі температур, обмежених лініями ВС і JE. Нижче лінії ВС сплави складаються із рідкого розчину (pp.) і аустеніту (А). У процесі кристалізації склад рідкого розчину (pp.) змінюється по лінії *ліквідус*, а аустеніту (А) – по лінії *солідус*.

При кристалізації доевтектичних сплавів, що містять $2,14 \dots 4,3\% C$, із рідкого розчину (pp.) при охолодженні до температури, що відповідають лінії *ліквідус* ВС, спочатку виділяються кристали аустеніту (А). Склад рідкого розчину (pp.) в інтервалі температур кристалізації визначається лінією ВС, а аустеніту (А) – лінією JE.

При температурі евтектики (лінія ECF) існує нонваріантна ($C = 0$) рівновага – аустеніту складу точки Е (A_E), цементиту (Fe_3C) і рідкої фази складу точки С (pp_C) У результаті кристалізації рідкого розчину (pp.) складу точки С утворюється евтектика – *ледебурит*, яка складається із аустеніту точки Е і цементиту:



Заевтектичні сплави ($4,3 \dots 6,6\%C$) починають тверднути, при температурах, що відповідають лінії CD. При цьому із рідини починають виділятися

кристали цементиту. Концентрація вуглецю в рідкому сплаві при пониженні температури зменшується по лінії CD.

На рис. 5.2 подано типову структуру залізовуглецевих сплавів.

Залізовуглецеві сплави з концентрацією вуглецю до 2,14% називають **сталями**. За структурою у рівноважному сталі розрізняють доевтектоїдні, евтектоїдні та заевтектоїдні сталі (рис. 7.2).

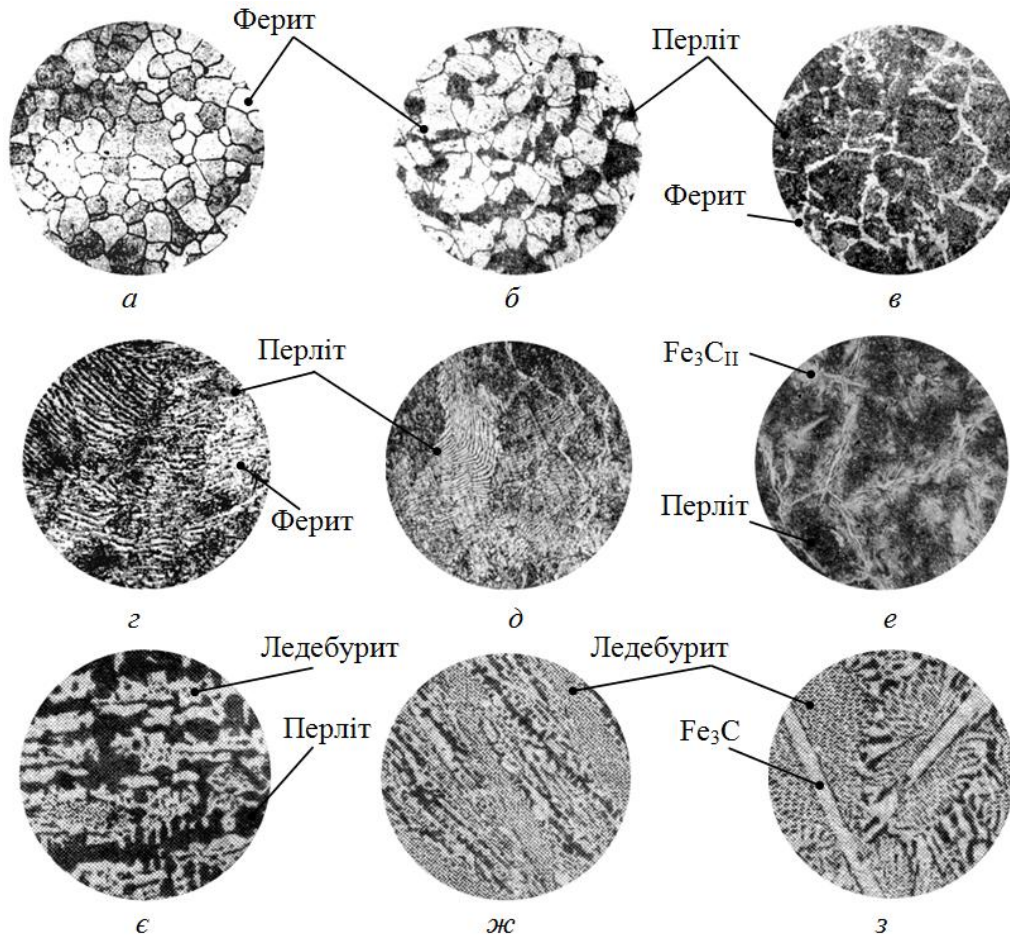


Рисунок 7.2 – Мікроструктури залізовуглецевих сплавів ($\times 200$):

- a* – технічно чисте залізо (0,02%С);
- б* – доевтектоїдна сталь (0,3%С); *в* – доевтектоїдна сталь (0,7%С);
- г* – евтектоїдна сталь із структурою пластинчатого перліту (0,8%С);
- д* – заевтектоїдна сталь (1,2%С); *е* – заевтектоїдна сталь (1,5%С);
- є* – доевтектоїдний чавун – ледебурит + перліт (3%С);
- ж* – евтектоїдний чавун – ледебурит (4,3%С);
- з* – заевтектоїдний чавун – ледебурит + первинний цементит (5%С)

Доевтектоїдні сталі містять до 0,8 % вуглецю і мають феритно-перлітну структуру у вигляді світлих зерен фериту і темних зерен перліту.

Евтектоїдна сталь містить 0,8%С, її структура – зерна перліту, що складаються здебільше із пластинок цементиту та фериту. Пластинки цементиту порівняно тонші й світліші.

Заевтектоїдні сталі містять від 0,8 до 2,14%С. У структурі цих сталей є зерна перліту темного кольору і тонка світла мережа вторинного цементиту по границях зерен перліту.

Фазові та структурні перетворення в сплавах. Поліморфні перетворення в залізі і зміна розчинності вуглецю в аустеніті (А) і фериті (Ф) при пониженні температури викликають фазові й структурні перетворення.

У сплавах, що містять менше 0,1%С, поліморфні перетворення А→Ф починаються з лінії HN, закінчуються по лінії JH. Сплави після перетворень мають однофазну аустенітну структуру, як і всі інші сплави (зона NJESG).

У сплавах з вмістом вуглецю менше 0,8%С поліморфні перетворення А→Ф починаються при переохолодженні нижче лінії GS (A_{r3})

У технічному аналізі перетворення закінчується по лінії PQ повною перебудовою А у Ф. Зниження температури по лінії PQ приводить до виділення третинного цементиту (Ц_{III}) у фериті (Ф), що пов'язане зі зменшенням розчинності вуглецю Fe_α .

У доевтектоїдних сплавах (0,02...0,8%С) у результаті А→Ф перетворення кількість аустеніту (А), буде зменшуватися. Частково він збережеться до лінії PSK (727°C). Переохолодження заевтектоїдних сталей (0,8...2,14%С) нижче лінії ES(A_{cr}) приводить до виділення Ц_{II} по границях зерен А, що пов'язане зі зменшенням розчинності вуглецю а А (Fe_γ).

У всіх сталях, переохолоджених нижче лінії PSK, призводить до евтектоїдного розпаду аустеніту (А). Тому структура евтектоїдної сталі *перліт* (П), доевтектоїдної – ферито-цементитна (Ф+П), заевтектоїдної сталі – перліто-цементитна (П+ Ц_{II}).

Залізовуглецеві сплави з концентрацією вуглецю від 2,14% до 6,67% називають **чавунами**.

Перетворення в чавунах у твердому стані. У доевтектичних чавунах є вільний цементит (Ц) і цементит, що входить в склад ледебуриту (Л).

Цементит (Ц) є і в заевтектичному, і в евтектичному чавунах. При охолодженні нижче PSK (A_{r1}) у зв'язку з Ф→ α перетворенням протікає евтектоїдний розпад. Структура доевтектоїдних чавунів перліто-цементитно-ледебуритна (П+Ц+Л), евтектичних – ледебурит (Л), заевтектичних – ледебурит і цементит (Л і Ц).

Якщо весь вуглець у чавунах перебуває у вигляді хімічної сполуки Fe_3C , то такі чавуни називають **білими**. У структурі білих чавунів наявний ледебу-

рит, що утворився на лінії *ECF* під час евтектичної реакції. Чавуни, розташовані зліва від точки *S*, після закінчення первинної кристалізації мають структуру первинного аустеніту та ледебуриту, а, відповідно, чавуни справа від точки *S* – структуру первинного цементиту і ледебуриту. Під час охолодження в інтервалі температур від 1147°C (лінія *ECF*) до 727°C (лінія *PSK*) гранична розчинність вуглецю в аустеніті зменшується від 2,14% до 0,8% з утворенням вторинного цементиту.

За структурою білі чавуни поділяються на (рис. 5.2):

- *евтектоїдні* (4,3%С) з структурою – ледебурит;
- *доевтектоїдні* (2,14...4,3%С), структура: перліт + вторинний цементит + ледебурит;
- *заевтектоїдні* (4,3...6,67%С), структура: первинний цементит + ледебурит.

Отже, залізовуглецеві сплави після кристалізації мають різноманітну структуру. Відносну кількість структурних складових у сплавах з різним вмістом вуглецю можна визначити за діаграми. Фазовий вміст усіх сплавів однаковий: при температурах нижче 227°C вони складаються із фериту і цементиту.

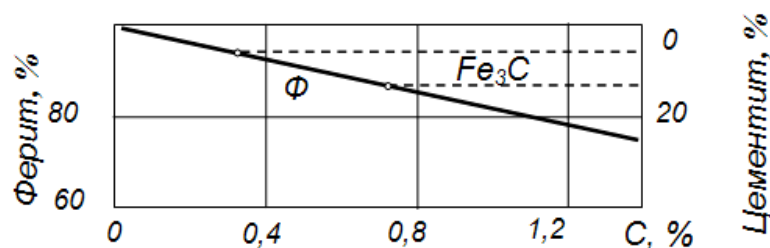


Рисунок 7.3 – Вплив вуглецю на фазовий склад її структури

Приклад: Структура доевтектоїдної сталі – ферит + перліт (перліту 30%), встановити вміст вуглецю в такій сталі (рис. 7.3).

Оскільки доевтектоїдні сталі мають вміст вуглецю від 0,02% до 0,8%, то можна визначити вміст вуглецю, який є у перліті. Вважаючи, що 100% перліту – це 0,8%С, а 30% перліту – це $X\%C$. Тепер

$$(30\%П \times 0,8\%C) : 100\% = 24\% : 100\% = 0,24\%C.$$

Порядок виконання роботи

1. Накреслити у масштабі діаграму Fe – Fe₃C.
2. Вказати фази й структурні складові в різних зонах діаграм.

3. Написати реакції, що протікають у залізовуглецевих сплавах при їх охолодженні (нагріванні).
4. Побудувати схематично криву охолодження для одного із сплавів і описати перетворення, що протікають при охолодженні із стану рідини до кімнатної температури. Вказати структуру і схематично зобразити її.
5. Використовуючи правило відрізків, підрахувати масові співвідношення присутніх у сплавах фаз при заданій температурі.

Питання для самоконтролю

1. Яких поліморфних перетворень зазнає залізо при нагріванні? Назвіть їх кристалічні решітки.
2. Дайте визначення основних фаз залізовуглецевих сплавів: фериту, аустеніту, цементиту.
3. Дайте визначення структурних складових залізовуглецевих сплавів: перліту, ледебуриту. З яких фаз вони складаються?
4. У чому відмінність між евтектикою і евтектоїдом?
5. Покажіть на діаграмі Fe-Fe₃C положення критичних точок для сталі. Назвіть лінії критичних точок.
6. Які структурні перетворення відбуваються у сталях, що містять 0,4...1,2%С, при повільному охолодженні з розплавленого стану?
7. Які структурні перетворення відбуваються в білих чавунах, що містять 3...5%С?

Література

1. Рудик Д. Ф. Технологія металів та інших конструкційних матеріалів. Лабораторний практикум. / Рудик Д. Ф. – К.: Видавниче об'єднання «Вища школа» Головне видавництво, 1975. – С. 49 – 53.
2. Основи матеріалознавства / [Сиротюк М., Чернець М., Опеляк М., Сиротюк А.]; за заг. ред. Чернеця М. В., Сиротюка А. М. – Дрогобич: Вид. Дрогобицького держ. педагогічного уні-ту ім. Івана Франка; Коло, 2007. – С. 131 – 139.
3. Гуляєв А. П. Металловедение: [учебн. для вузов]. – [6-е изд. перераб. и доп.]. / Гуляєв А. П. – М.: Металлургия, 1986. – С. 142 – 160.
4. Яким Р. С. Матеріалознавство: лабораторний практикум / Яким Р. С. – Дрогобич: Коло, 2013. – С. 49 – 61.

ЗВІТ

про виконану лабораторну роботу № 7

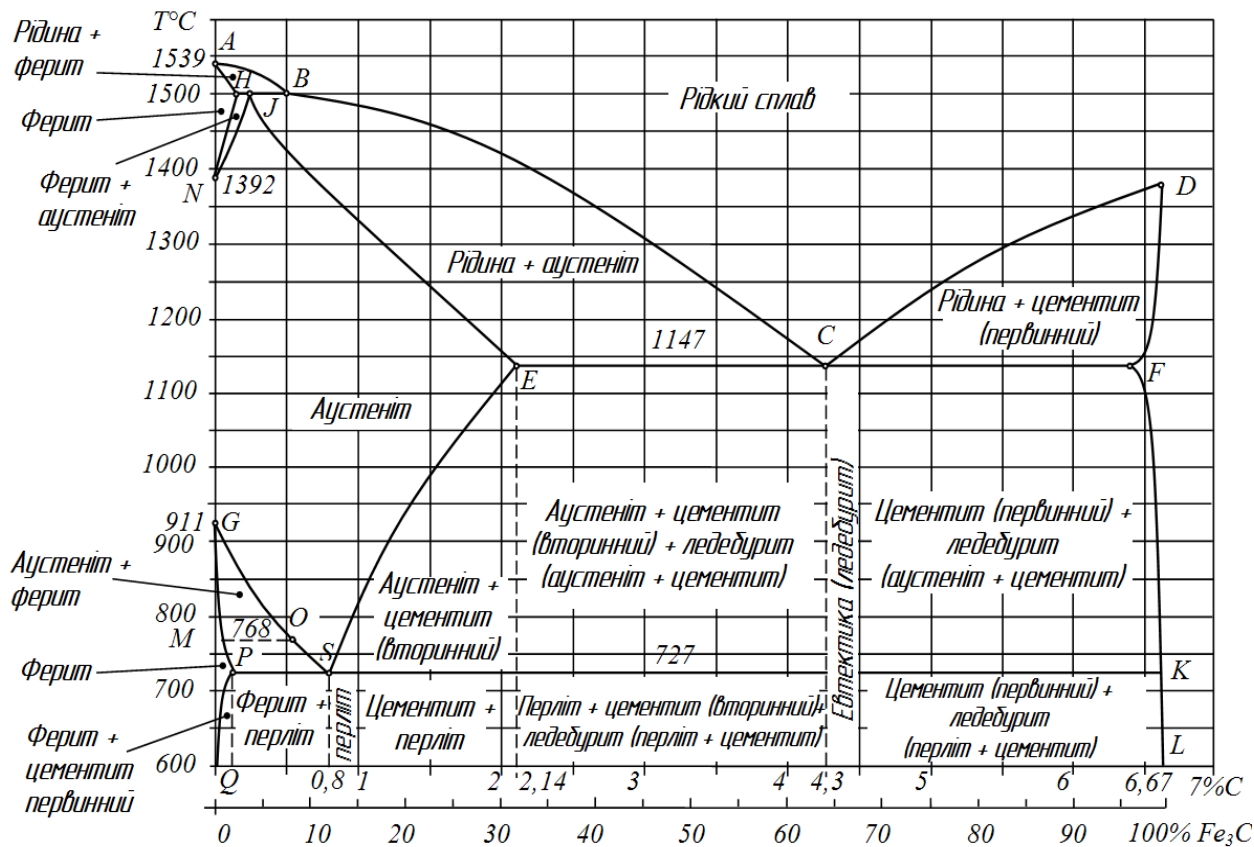
Тема. ВИВЧЕННЯ ДІАГРАМИ СТАНУ ЗАЛІЗО – ЦЕМЕНТИТ

Мета роботи: вивчити фазові та структурні перетворення, що протікають в залізовуглецевих сплавах при нагріванні і охолодженні.

Обладнання та матеріали: діаграма стану залізо – цементит, інструкція.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Накреслимо у масштабі діаграму Fe – Fe₃C:



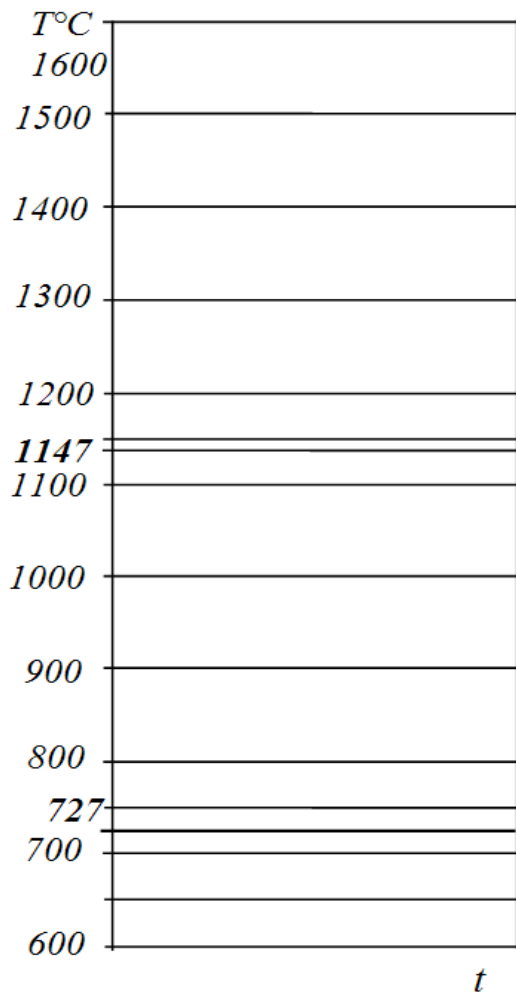
Діаграма залізовуглецевих сплавів

2. Дослідження здійснюється над залізовуглецевим сплавом з _____%C при температурі _____°C і _____°C.

3. При охолодженні сплаву відбуваються реакції:

- _____;
- _____;
- _____;

Зарисовується графік поліморфних перетворень



4. Склад фаз:

а) На діаграмі помічаємо точки **с**, **м**, **к**, через які проводимо лінію – важіль.

Рідка фаза в т. **м** містить _____%С, цементит в т. **к** містить _____%С.

$$Q_{\text{рідини}} = \frac{ск}{мк} \times 100\% = \text{---} \times 100\% =$$

$$Q_{\text{тверд. фаза}} = \frac{мс}{мк} \times 100\% = \text{---} \times 100\% =$$

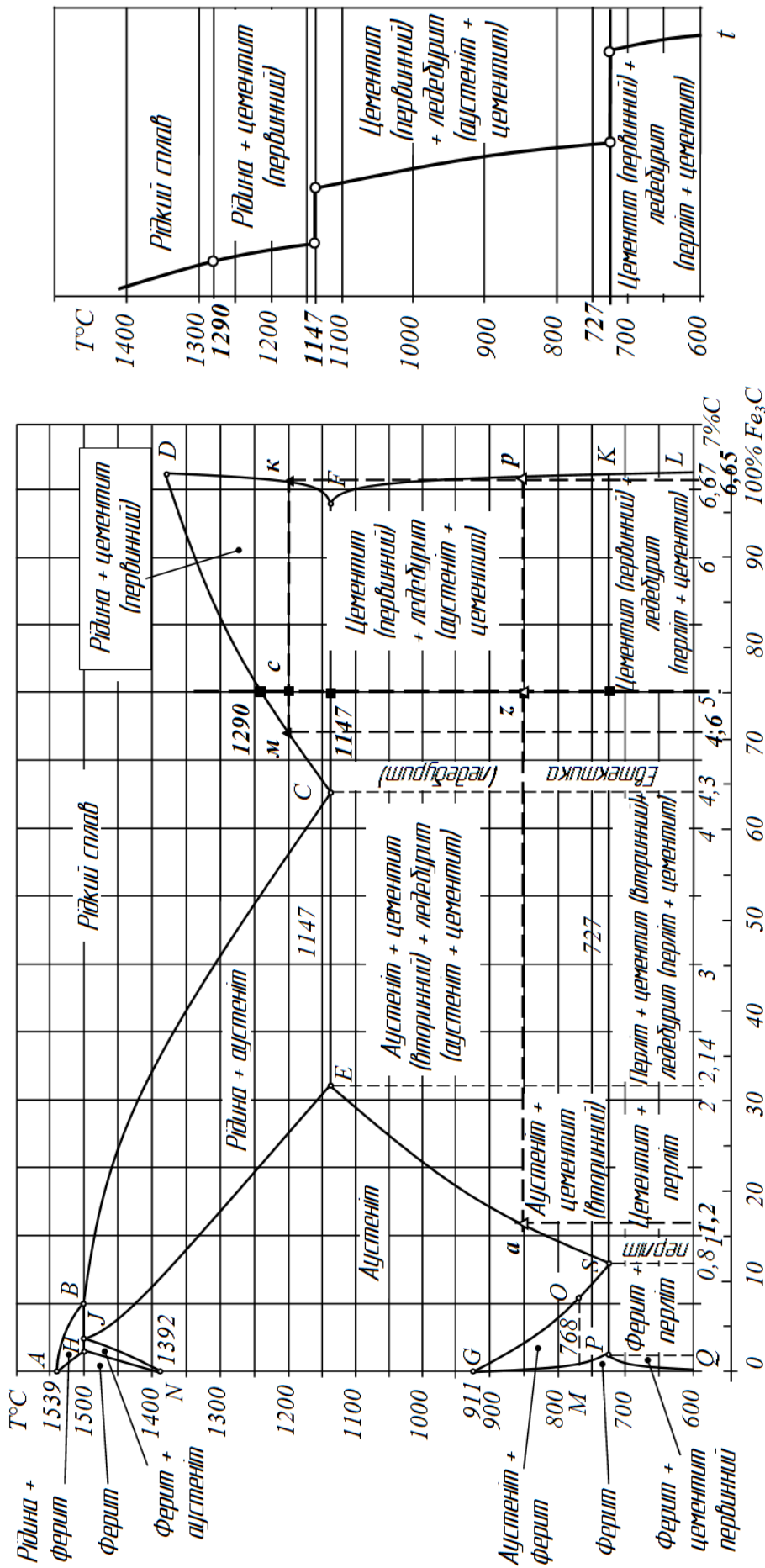
б) На діаграмі помічаємо точки **а**, **z**, **p**, через які проводимо лінію – важіль.

Твердий сплав містить:

в т. **а** аустеніт містить _____%С, в т. **p** цементит містить _____%С.

$$Q_{\text{аустеніт}} = \frac{zр}{ар} \times 100\% = \text{---} \times 100\% =$$

$$Q_{\text{цементит}} = \frac{аз}{ар} \times 100\% = \text{---} \times 100\% =$$



а

б

Рисунок 7 – II – Діаграма стану залізовуглецевих сплавів з даними дослідження поліморфних перетворень для сплаву з 5%С

- а – діаграма з проведеними важелями по точках **с, м, к**, та **а, з, р**;
- б – діаграма поліморфних перетворень у досліджуваному сплаві

3. При охолодженні сплаву відбуваються реакції:

– перитектична при 1499°C $\text{pp}_B + \Phi_H \rightarrow A_J$;

– евтектична при 1147°C $\text{pp}_C \rightarrow A_E + \text{Ц}_F$;

– евтектична при $A_S \rightarrow \Phi_P + \text{Ц}_K$.

Діаграма поліморфних перетворень у досліджуваному сплаві подана на рис. П.5,б.

4. Склад фаз (рис. П.5, а):

а) На діаграмі помічаємо точки **c**, **m**, **k**, через які проводимо лінію – важіль.

Рідка фаза в т. **m** містить 4,6%С, цементит в т. **k** містить 6,65%С.

$$Q_{\text{рідини}} = \frac{ck}{mk} \times 100\% = \frac{1,7}{2,0} \times 100\% = 0,85 \times 100\% = 85\% ,$$

$$Q_{\text{тверд. фаза}} = \frac{mc}{mk} \times 100\% = \frac{0,3}{2,0} \times 100\% = 0,15 \times 100\% = 15\%$$

б) На діаграмі помічаємо точки **a**, **z**, **p**, через які проводимо лінію – важіль.

Твердий сплав містить:

в т. **a** аустеніт містить 1,2%С, в т. **p** цементит містить 6,65%С.

$$Q_{\text{аустеніт}} = \frac{zp}{ap} \times 100\% = \frac{1,7}{5,9} \times 100\% = 0,29 \times 100\% = 29\% ,$$

$$Q_{\text{цементит}} = \frac{az}{ap} \times 100\% = \frac{4,2}{5,9} \times 100\% = 0,71 \times 100\% = 71\% .$$

Тема. ВИВЧЕННЯ МІКРОСТРУКТУРИ ДЕРЕВИНИ

Мета роботи: вивчити мікроскопічну будову деревини хвойних та листяних порід на основних перерізах.

Обладнання та матеріали: мікроскоп біологічний МБР-1 або іншого типу, м'який пензлик, препарати тонких зрізів деревини: а) сосни; б) дуба; в) берези.

Теоретичні відомості

Стовбур деревини є найпоширенішим конструкційним матеріалом, з якого виготовляють різноманітні пиломатеріали. Вивчають структуру стовбура, за трьома головними розрізами: поперечним і двома поздовжніми – радіальному і тангентальному (рис. 8.1). Площина одного з поздовжніх розрізів проходить через серцевину стовбура по радіусу торця – радіальний розріз, площа другого розрізу – тангенціального – направлена по дотичній до округлостей, що утворюються шарами річного приросту. На поперечному розрізі можна виділити радіальні й тангентальні напрямки, а на поздовжніх розрізах – напрямки вздовж волокон і радіальний чи тангентальний.

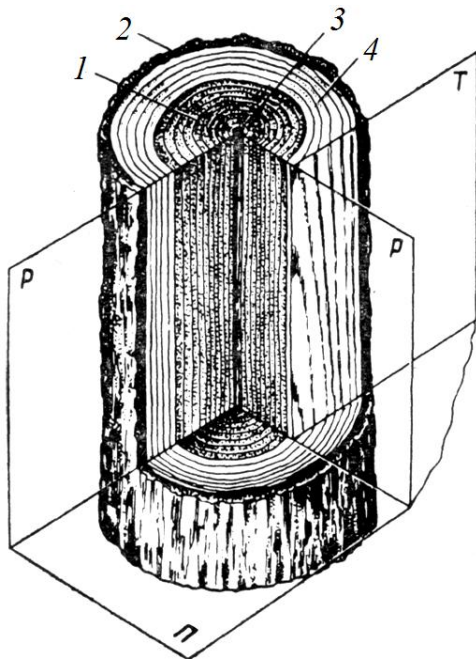


Рисунок 8.1 – Основні частини стовбура деревини та головні розрізи:

- П* – поперечний;
- Р* – радіальний,
- Т* – тангентальний,
- 1 – ядро,
- 2 – кора,
- 3 – серцевина,
- 4 – заболонь

Основні анатомічні частини стовбура легко виявити на його поперечному розрізі. Зовнішня частина – кора різко відрізняється за зовнішнім виглядом від наступної за нею деревини, що займає найбільший об'єм стовбура. Деревина

оточує дуже невелику центральну ділянку – серцевину. Розташований між деревиною й корою тонкий шар камбію для неозброєного ока є непомітним.

Деревиною, особливо у верхній частині стовбура, пронизують сучки, які є залишками гілок (рис. 8.2).

При перерізуванні анатомічних елементів на поверхні поздовжніх розрізів утворюється той чи інший рисунок. Особливо характерний рисунок – текстуру утворюють серцевинні промені. Наприклад, за текстурою поверхні тангенціального розрізу бука (рис. 8.3) ця порода деревини визначається безпомилково.

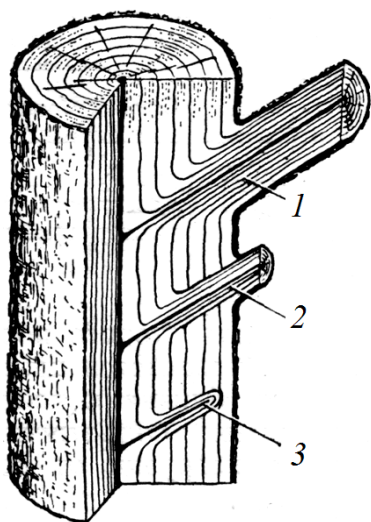


Рисунок 8.2 – Схема утворення сучків:

- 1 – сучок від живої гілки;
- 2 – сучок, що заростає від живої гілки, яка відмерла,
- 3 – сучок, що заріс

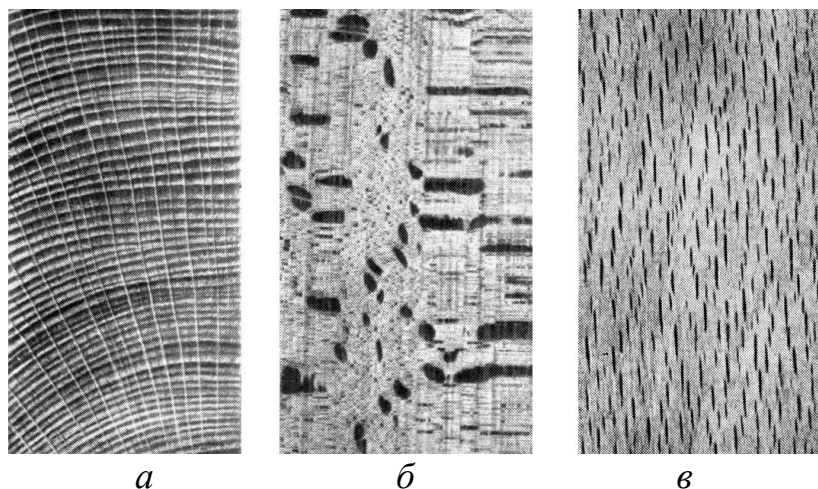


Рисунок 8.3 – Серцевинні промені бука:

- а – на поперечному розрізі,
- б – на радіальному розрізі,
- в – на тангентальному розрізі

Мікроскопічна будова деревини значно впливає на її фізико-механічні властивості, а мікроскопічний аналіз дає змогу точно визначити її породу. Для мікроаналізу виготовляють зрізи (товщиною 5 – 10 мкм) деревини, тобто сукупність клітинних стінок. Препарати бувають тимчасовими й постійними, однак краще користуватися постійними. Препарати зберігають у вертикальному положенні в щільно закритій коробці.

Мікробудову деревини треба вивчати на основних перерізах – поперечному, радіальному та тангентальному. Мікроструктури слід вивчати на типових представниках трьох головних груп порід деревини: сосни (хвойна порода), дуба (кільцепорові листяні) і берези (розсіянопорові листяні).

Мікроскопічна будова деревини хвойних порід. Деревина хвойних порід складається з двох основних (простих) елементів: трахеїду та паренхімних клітин, схема яких зображена на рис. 8.4. Трахеїди – це основна маса деревини хвойних порід (приблизно 94%), це волокнисті клітини. Трахеїди поділяються на два типи: тонкостінні з широкою порожниною, яка розміщена в ранній зоні річних шарів, і товстостінні з малою порожниною в пізній зоні річних шарів (перші виконують провідні функції, а другі – механічні).

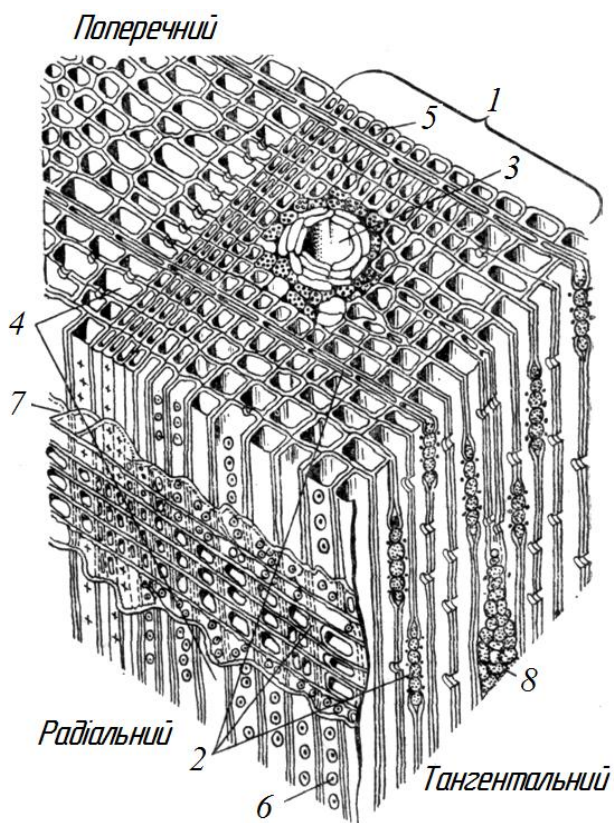


Рисунок 8.4 – Схема мікроскопічної будови деревини сосни (за В. Є. Вихровим):

- 1 – річний шар;
- 2 – серцевинні промені;
- 3 – вертикальний смоляний хід;
- 4 – ранні трахеїди;
- 5 – пізні трахеїди;
- 6 – облямована пора;
- 7 – променеві трахеїди;
- 8 – багаторядний промінь з горизонтальним смоляним ходом.

На поперечних перерізах деревини трахеїди мають вигляд квадратних або прямокутних клітин, розміщених радіальними рядами (рис. 8.5). На радіальному перерізі видно довгі волокна ранніх і пізніх трахеїд, на стінках яких помітні облямовані пори, що мають форму концентричних кіл.

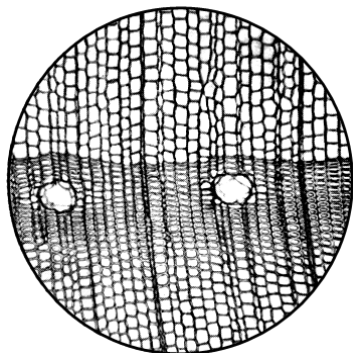


Рисунок 8.5 – Мікρο-структура поперечного перерізу сосни ×60

На тангентальному перерізі видно тільки ранні або пізні трахеїди, залежно від того, в якій зоні річного шару зроблено переріз деревини. На цьому перерізі вони мають вигляд довгих волокон переважно з гладенькими стінками.

Паренхімні клітини утворюють складні елементи: смоляні ходи та серцевинні промені. Смоляні ходи – це канал, оточений паренхімними клітинами. Вони бувають і вертикальними, і горизонтальними (які проходять по серцевинних променях).

На поперечному перерізі деревини вертикальний смоляний хід має вигляд порожнистого каналу круглої форми, який оточений трьома рядами паренхімних клітин: внутрішній складається з живих клітин, які виділяють смолу, другий – з мертвих клітин, третій – також з живих клітин.

На радіальному перерізі деревини вертикальний смоляний хід має вигляд довгого каналу, який оточений паренхімними клітинами, що розміщені паралельно до трахеїд. Серцевинні промені хвойних порід дуже вузькі і в різних породах побудовані неоднаково. На поперечному перерізі деревини є серцевинні промені, які мають вигляд вузьких смуг, що розходяться радіально. На цих смугах виділяються поперечні перегородки, які відокремлюють по довжині променя одну клітину від іншої.

На тангентальному перерізі серцевинні промені розміщені паралельно до довжини трахеїда. Вони мають вигляд вертикальних ланцюжків.

Мікроскопічна будова деревини листяних порід. Деревина листяних порід має складнішу будову, ніж деревина хвойних порід, і складається з таких простих елементів: провідних – судин і трахеїдів; механічних – волокон лібриформу і трахеїдних волокон; нагромаджувальних – паренхімних клітин і замінників волокон, а також складних – серцевинних променів.

Судини мають вигляд вузьких, довгих вертикальних трубок, які утворилися внаслідок з'єднання клітин, розміщених поздовжніми рядами. Якщо між клітинами немає поперечних перегородок, судина має просту перфорацію (один великий отвір круглої форми), а якщо є поперечні перегородки з отворами, судини мають ступеневу перфорацію. Це характерно для малих судин. На поперечному перерізі деревини судини мають вигляд отворів круглої або овальної форми.

У деревині кільцесудинних порід (дуб) великі судини розміщені в ранній частині річного шару (рис. 8.6) і утворюють кільце в один або кілька шарів, а малі судини – в пізній, де утворюють радіальне, тангентальне або розсіяне групування.

У деревині розсіяносудинних порід (береза) усі судини малі (рис. 8.7), приблизно рівномірно розсіяні по річному шару і місцями – по декілька поряд,

утворюючи радіальне або тангентальне групування. На поздовжніх перерізах судини мають вигляд вертикальних каналів різної ширини, облямованих опорами, на стінках яких є потовщення.

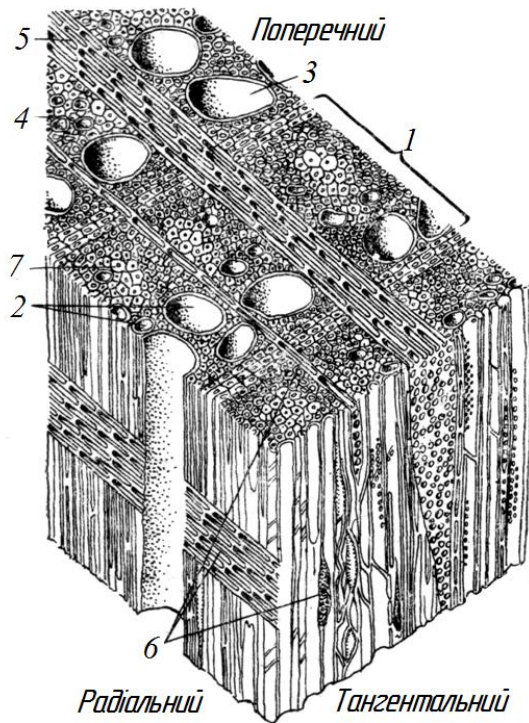


Рисунок 8.6 – Схема мікроскопічної будови деревини дуба (по В. Є. Вихровим):

- 1 – річний шар; 2 – судини;
- 3 – велика судина в ранній частині;
- 4 – вузька судина в пізній частині;
- 5 – широкий серцевинний промінь;
- 6 – вузький серцевинний промінь;
- 7 – лібриформ

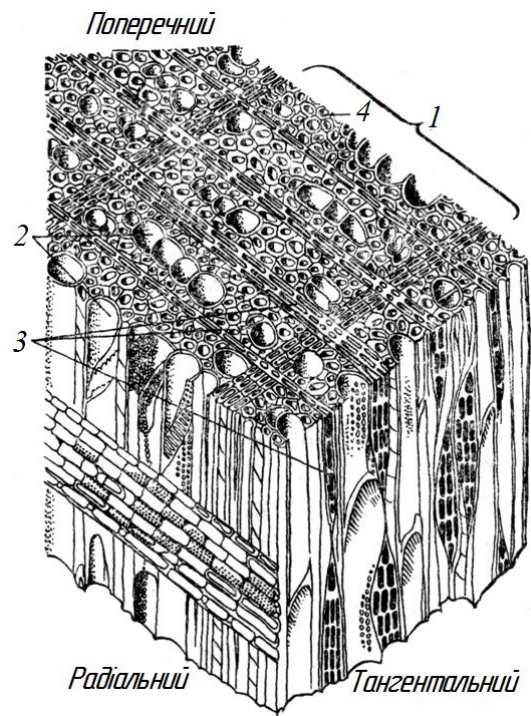


Рисунок 8.7 – Схема мікроскопічної будови деревини берези (по В. Є. Вихровим):

- 1 – річний шар;
- 2 – судини;
- 3 – серцевинні промені;
- 4 – лібриформ

Основну масу деревини листяних порід становлять волокна лібриформу. На поперечному перерізі лібриформ має вигляд круглих або кутастих клітин з просвітом, а на поздовжньому – форму довгих волокон. Стінки клітин волокон гладенькі, товсті і вкриті щільновидними порами.

З паренхімних клітин деревини утворюються серцевинні промені і деревина паренхіми. Серцевинні промені бувають вузькими, широкими й обманно-широкими і складаються з паренхімних клітин прямокутної форми. На поперечному перерізі вузькі промені мають вигляд радіальних хвилястих смуг, широкі промені – вигляд радіальних широких смуг, а обманноширокі – вигляд груп близько розташованих одна від одної вузьких радіальних смуг. На радіальному перерізі промені мають вигляд вузьких і широких смуг, які спрямовані впопе-

рек волокон деревини, на тангентальному – вигляд великих або малих сочевиць. Деревина паренхіми (волокна) на поперечному перерізі має вигляд круглих або кутастих клітин з просвітом (рис. 8.8), а на поздовжньому – вигляд довгих вертикальних волокон з перегородками. Паренхімні клітини містять речовину темного кольору, а тому вони добре помітні серед елементів деревини.

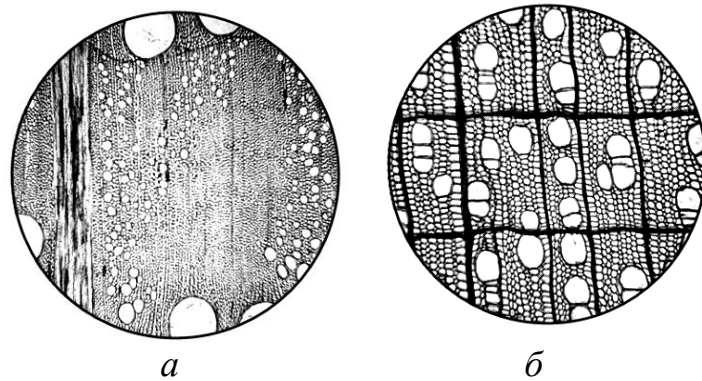


Рисунок 8.8 – Мікроструктури на поперечному розрізі $\times 60$
a – деревини дуба, *б* – деревини берези

Порядок виконання роботи

1. Отримати три препарати тонких зрізів деревини (сосни, дуба і берези).
2. Підготувати мікроскоп до роботи. Для цього слід:
 - підібрати об'єктив та окуляр, щоб забезпечити відповідне збільшення.

При вивченні мікробудови деревини під мікроскопом доцільно поперечний і тангентальний зрізи розглядати при збільшенні у 70 – 100 разів, а радіальний – у 200 – 300 разів;

- вибрані об'єктиви й окуляр встановити в тубус мікроскопа і повернути його колонкою до себе, а дзеркалом – до джерела світла;
 - одержати яскраве освітлення поля зору мікроскопа за допомогою повертання дзеркала в різні сторони;
 - на предметному столику в центрі поля зору закріпити за допомогою держаків препарат;
 - тубус з окуляром і об'єктивом наблизити до препарату. Тубус опускати гвинтом (але не дотикатися до препарату), а потім, дивлячись в окуляр, тим самим гвинтом повільно піднімати тубус доти, доки буде більш-менш чітке зображення предмета. Мікрометричним гвинтом здійснити таке наведення до ясного зображення предмета.
3. При вивченні мікробудови деревини хвойних порід звернути увагу на поперечний переріз сосни, а саме: на межу між річними шарами, на ранні і пізні трахеїди, серцевинні промені та на вертикальні смоляні ходи.

4. Роздивитись будову сосни в радіальному та тангентальному перерізах. Зарисувати три основних перерізи сосни.

При вивченні мікробудови деревини листяних порід звернути увагу на будову в *поперечному перерізі*: на межу між річними шарами, на великі та малі судини і їхнє групування, на вузькі та широкі серцевинні промені, волокна лібриформу та на клітини деревної паренхіми. На *радіальному перерізі* розглянути судини і тип перфорацій у них, волокна лібриформу та паренхіми, вигляд серцевинних променів.

5. Зарисувати й описати будову деревини листяних порід у трьох основних перерізах. Результати спостереження записати в звітну таблицю:

рисунок мікробудови рекомендується робити у колах діаметром 50мм кольоровими олівцями. На рисунках цифрами показати елементи мікробудови, а в останній графі таблиці коротко охарактеризувати їх.

Питання для самоконтролю

1. Які є основні перерізи деревини, щоб вивчити їхню мікроструктуру?
2. Які є основні типи клітин деревини хвойних порід?
3. З яких клітин складається деревина листяних порід?
4. Які основні відмінності в структурі трьох основних перерізів хвойних порід деревини?
5. Які відмінності в структурах між деревиною берези та дуба?

Література

1. Рудик Д. Ф. Технологія металів та інших конструкційних матеріалів. Лабораторний практикум. / Рудик Д. Ф. – К.: Видавниче об'єднання «Вища школа» Головне видавництво, 1975. – С. 91 – 95.
2. Основи матеріалознавства / [Сиротюк М., Чернець М., Опеляк М., Сиротюк А.]; за заг. ред. Чернеця М. В., Сиротюка А. М. – Дрогобич: Вид. Дрогобицького держ. педагогічного уні-ту ім. Івана Франка; Коло, 2007. – С. 297–306.
3. Сиротюк А.М. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів: методичні матеріали до виконання лабораторних робіт [для студентів вищих навчальних закладів]. Частина II / А. М. Сиротюк, В. Д. Попович, О. В. Матієчко. – Дрогобич: Редакційно-видавничий відділ Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка, 2011. – С. 29 – 32.
4. Яким Р. С. Матеріалознавство: лабораторний практикум / Яким Р. С. – Дрогобич: Коло, 2013. – С. 129–140.

Лабораторія матеріалознавства і ТКМ

ЗВІТ

про виконану лабораторну роботу № 8

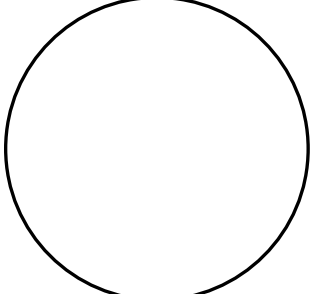
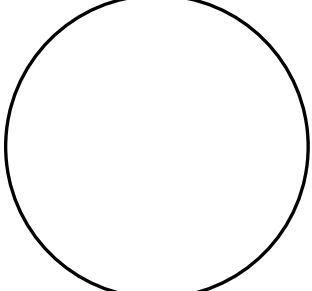
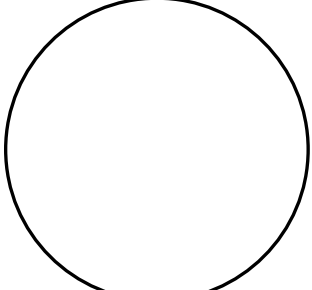
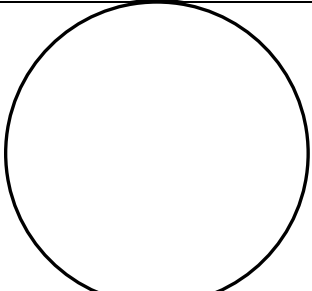
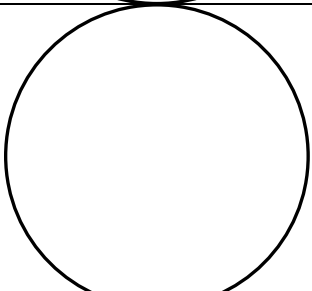
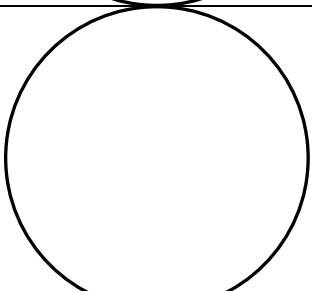
Тема. ВИВЧЕННЯ МІКРОСТРУКТУРИ ДЕРЕВИНИ

Мета роботи: вивчити мікроскопічну будову деревини хвойних та листяних порід на основних перерізах.

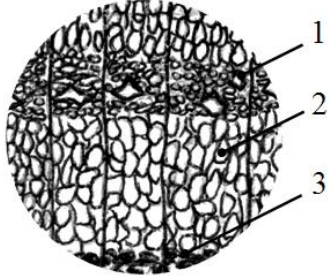
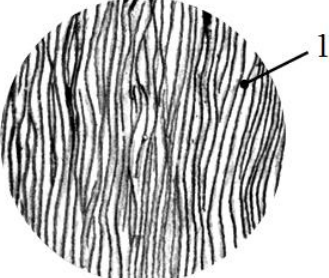
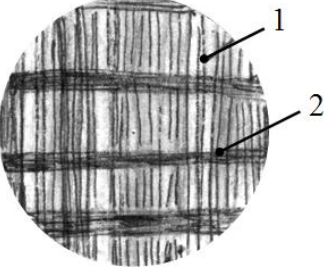
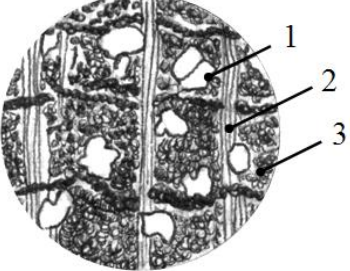
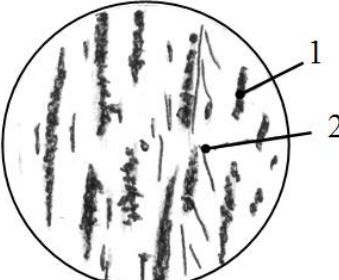
Обладнання та матеріали: мікроскоп біологічний МБР-1 або іншого типу, м'який пензлик, препарати тонких зрізів деревини: а) сосни; б) дуба; в) берези.

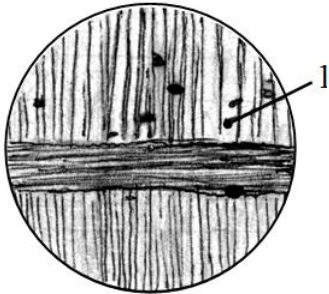
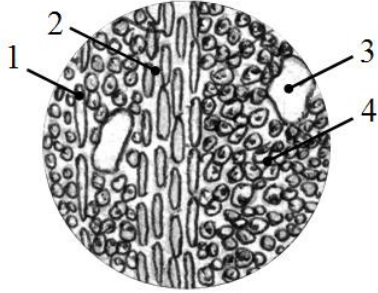
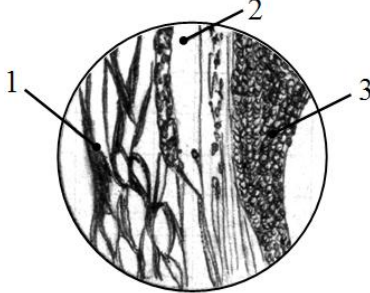
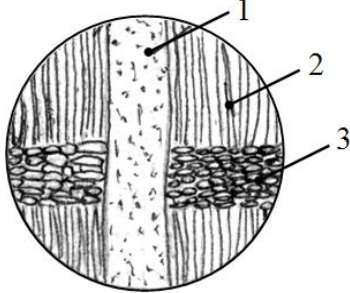
ЗВІТНА ТАБЛИЦЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

№	Порода деревини	Переріз	Рисунок мікроструктури	Назва і характеристика складових мікроструктури
1	2	3	4	5
1		Поперечний		<hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>
2		Тангентальний		<hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>
3		Радіальний		<hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>

1	2	3	4	5
4		Поперечний		<hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>
5		Тангентальний		<hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>
6		Радіальний		<hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>
7		Поперечний		<hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>
8		Тангентальний		<hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>
9		Радіальний		<hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>

Приклад варіанту заповнення звітної таблиці

№	Порода деревини	Переріз	Рисунок мікроструктури	Назва і характеристика складових мікроструктури
1	2	3	4	5
1	Хвойні Модрина	Поперечний		1 – смоляні ходи, 2 – трахеїди, 3 – промені серцевинні
2	Хвойні Модрина	Танген- тальний		1 – вузький серцевин- ний промінь
3	Хвойні Модрина	Радіальний		1 – ранні трахеїди, 2 – промені серцевин- ні
4	Листяні Береза	Поперечний		1 – судини, 2 – промені серцевин- ні, 3 – лібриформ
5	Листяні Береза	Танген- тальний		1 – промені серцевин- ні, 2 – судини

1	2	3	4	5
6	Листяні Береза	Радіальний		1 – судини
7	Листяні Дуб	Поперечний		1 – судини, 2 – лібриформ, 3 – вузький серцевин- ний промінь
8	Листяні Дуб	Танген- тальний		1 – вузький серцевин- ний промінь, 2 – широкий серцевинний промінь, 3 – судини, 4 – лібриформ
9	Листяні Дуб	Радіальний		1 – вузький серцевин- ний промінь, 2 – вузька судина в пізній частині, 3 – широкий серцевинний промінь

Лабораторна робота № 9

Тема. ВИЗНАЧЕННЯ ВАД ДЕРЕВИНИ

Мета роботи: вивчити та визначити вади деревини за зовнішніми ознаками.

Обладнання та матеріали: зразки з різними вадами деревини, плакати або альбом з вадами деревини, масштабна лінійка з ціною поділки 0,5мм, лупа складна ЛШ-7, щуп.

Теоретичні відомості

Зміни зовнішнього вигляду деревини, порушення правильності будови, цілості тканини або клітинних оболонок та інші дефекти, які знижують якість і цінність деревини, створюють труднощі при обробленні та для практичного застосування, називаються вадами деревини. Виникають вади деревини через зміну її будови, механічні пошкодження, ураження грибками, пошкодження комахами та ін. За ГОСТ 2140-81, усі вади деревини поділяються на такі групи:

- 1) сучки;
- 2) грибкові забарвлення і гнилі;
- 3) хімічні, забарвлення;
- 4) пошкодження комахами;
- 5) деформації і розтріскування;
- 6) вади форми стовбура;
- 7) вади будови деревини;
- 8) рани;
- 9) нормальні відкладення в деревині;
- 10) механічні пошкодження та дефекти оброблення.

Сучками називають розміщені в деревині стовбура основи живих або відмерлих гілок (див рис. 9.2). Вони трапляються у деревині всіх порід і є найпоширенішими вадами деревини.

Деревина сучків має самостійні річні шари і порівняно темне забарвлення. Сучки поділяються на різновиди за формою, ступенем зростання з деревиною та за станом деревини (рис. 9.1).

За формою, сучки бувають круглими, овальними та довгастими. За ступенем зростання з деревиною, сучки поділяються на дві основні групи: зрілі (повністю або частково) і незрілі.

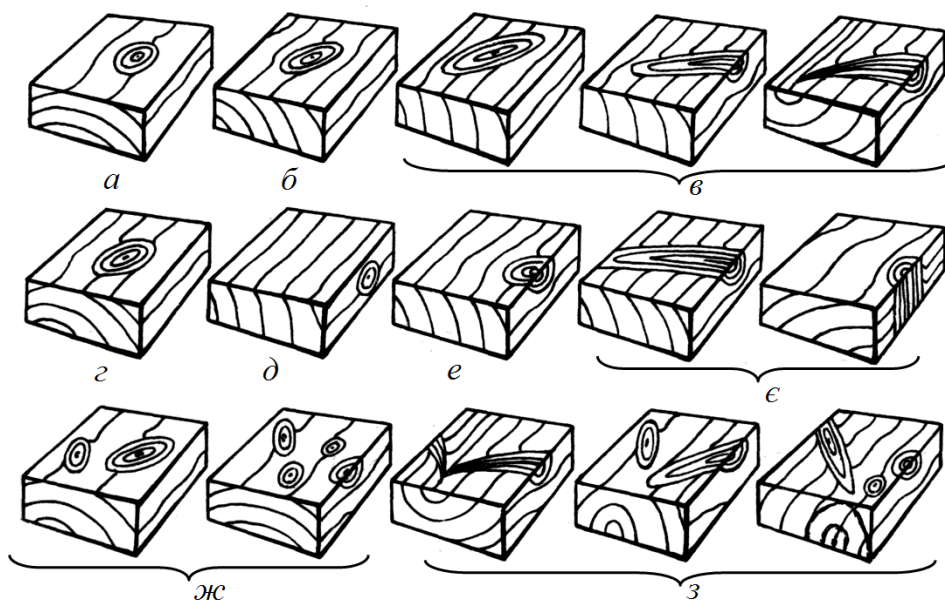


Рисунок Рис. 9.1 – Різновиди сучків:

a – круглий; *б* – овальний; *в* – поздовжній; *г* – пластовий; *д* – кромковий; *е* – ребровий; *е* – зшивний; *ж* – групові; *з* – розгалужені

Зростлі сучки можуть бути здоровими, роговими та забарвленими.

Незростлі сучки характеризуються тим, що вони або випадають, або утворюють гнилі ділянки, які послаблюють деревину. Такі сучки поділяються на випадні тверді, крихкі та порохняві.

Зшивні сучки спостерігаються при поздовжньому розрізі двох сучків. Вони розміщені на поверхні дошки у вигляді клиноподібних смуг, спрямованих до серцевини (рис. 9.2).

Лапчасті сучки, як і зшивні, спостерігаються при поздовжньому розрізі двох сучків, розміщених в одній площині. Вони виходять на поверхню дошки у вигляді двох смуг, розміщених симетрично до серцевини, або дуже витягнутих овалів (рис. 9.3).

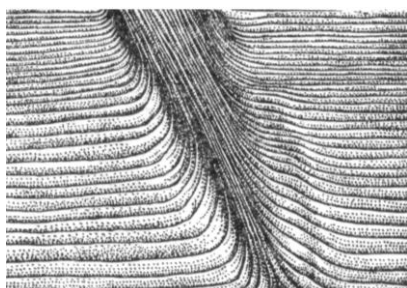


Рисунок 9.2 – Зшивний сучок

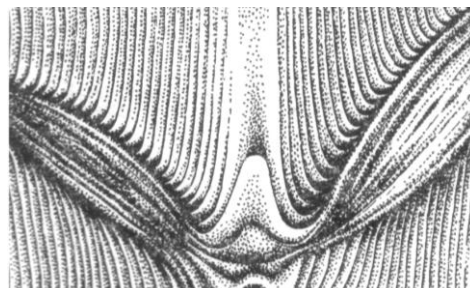


Рисунок 9.3 – Лапчастий сучок

Грибкові забарвлення і гнилі змінюють нормальний колір деревини, що веде до гниття (початкова стадія). У кінцевій стадії змінюється структура деревини і вона починає поступово руйнуватися.

Грибкові забарвлення та гнилі поділяються на такі види: внутрішню тріщину; внутрішню гниль – строкато-ситову гниль, буру тріщинувату, білу мармурову плісняву; заболонне грибкове забарвлення – синяву, кольорові забарвлені плями; задихання; заболонну гниль; зовнішню гниль – трухляву.

Хімічні забарвлення виникають внаслідок різних хімічних процесів на свіжозрубленій або силовій деревині і відрізняються від забарвлення грибкового походження більшою рівномірністю розташування в поверхневих шарах деревини. Після просушування деревини ці забарвлення більшою або меншою мірою вигоряють. Залежно від кольору і причини виникнення, забарвлення поділяються на продубину, дубильні потьоки та сплавну жовтизну.

Пошкодження комахами. Різні комахи (жучки та їхні личинки) пошкоджують деревину, утворюючи в ній отвори й ходи, які йдуть від поверхні вглиб деревини (рис. 9.4). Ці отвори називаються червоточиною. За глибиною отворів, розрізняють червоточину поверхневу (глибиною не більше кількох міліметрів), неглибоку (від 10 до 50 мм) та глибоку (понад 50 мм). Поверхнева червоточина утворюється жучками-короїдами. Найпоширенішим і найнебезпечнішим є шашіль. Він пошкоджує суху деревину та меблі.

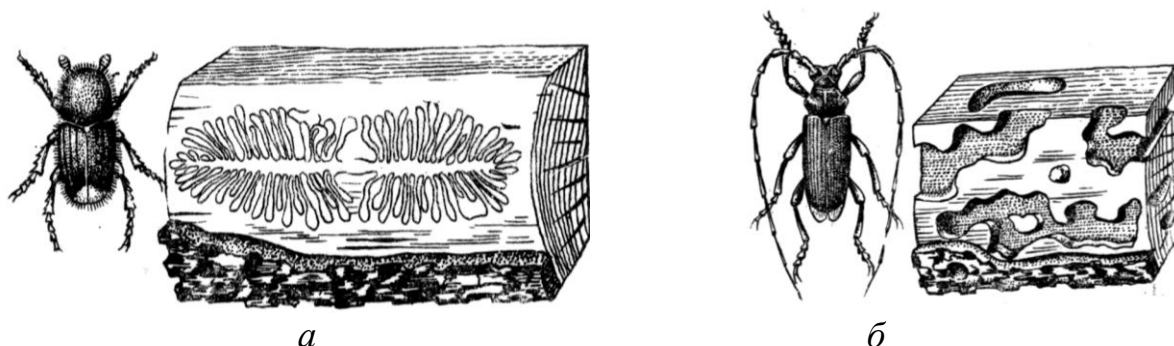


Рисунок 9.4 – Червоточина:
а – поверхнева; б – глибока

Тріщини – це розриви деревини вздовж волокон. Вони поділяються на зовнішні (морозовина) і внутрішні (метик, відлупина).

Морозовина здебільшого буває на стовбурах листяних порід у вигляді зовнішньої тріщини, яка поступово звужується від поверхні стовбура до його центра. Утворюється під впливом сильних морозів.

Метик – внутрішня поздовжня тріщина, яка йде в радіальному напрямку (рис. 9.5).

Відлупина – внутрішня тріщина, що утворюється між річними шарами. На торцях відлупина має вигляд дугоподібних тріщин (рис. 9.6).

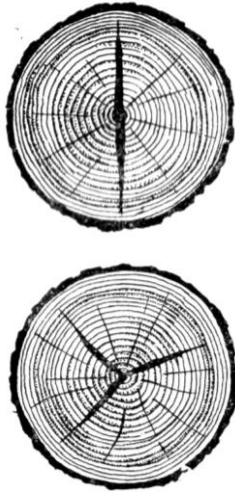


Рисунок 9.5 – Метик простий (зверху) і променистий (знизу)

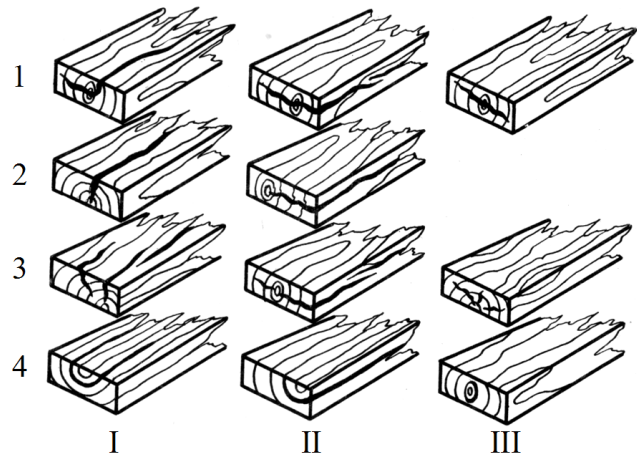


Рисунок 9.6 – Різновидності тріщин: I – пластові, II – кромкові, III – торцеві
1 – метикові, 2 – морозні, 3 – тріщини всихання, 4 – відлупні

Покоробленість залежно від характеру викривлення сортименту, буває поперечною, поздовжньою та гвинтовою. Покоробленість змінює форму пиломатеріалів та спричиняє труднощі їх використання за призначенням.

Вадами форми стовбура і будови деревини є збіжність, кривизна, косошарість, збиток, завилькуватість, напливи, серцевинна трубка тощо. Ці вади обмежують застосування круглих лісоматеріалів у виробництві й ускладнюють їх переробку.

Збіжність (рис. 9.7, а) – це поступове зменшення діаметра стовбура на всій довжині від відземку до вершини. Збіжність стовбура, що не перевищує 1%, вважається нормальною.

Кривизна є найпоширенішою вадю форми стовбура, яка буває в усіх породах. Кривизна буває односторонньою (коли спрямована в одну сторону) і різносторонньою (коли вісь стовбура має різностороннє викривлення).

Ройка (рис. 9.7, б) – це заглиблення у відземку, яке надає поперечному перерізу форми зірки. Буває ройка в усіх породах. Вона знижує вихід пиломатеріалів, лущеного шпону, а іноді утворює штучну косошарість, яка також знижує сортність матеріалу.

Напливи (рис. 9.7, в) – це нарости на стовбурах деревини сосни, берези, польового клена, чорної вільхи, ясена, білої тополі, дрібнолистяної липи, волоського горіха. Деревина напливів з чорною текстурою (горіх, явір) використовується як опоряджувальний матеріал для художніх виробів.

Косошарість (рис. 9.7, *г*) – це спіральне розташування волокон відносно серцевини. Ця вада найбільш характерна для таких порід: сосни, ялини, граба та модрина. Косошарість зменшує міцність деревини. Така деревина легко жолобиться і розтріскується.

Звиток (рис. 9.7, *д*) – це місцеве викривлення волокон деревини, що утворюється від появи сучків. Звиток знижує деякі механічні властивості деревини.

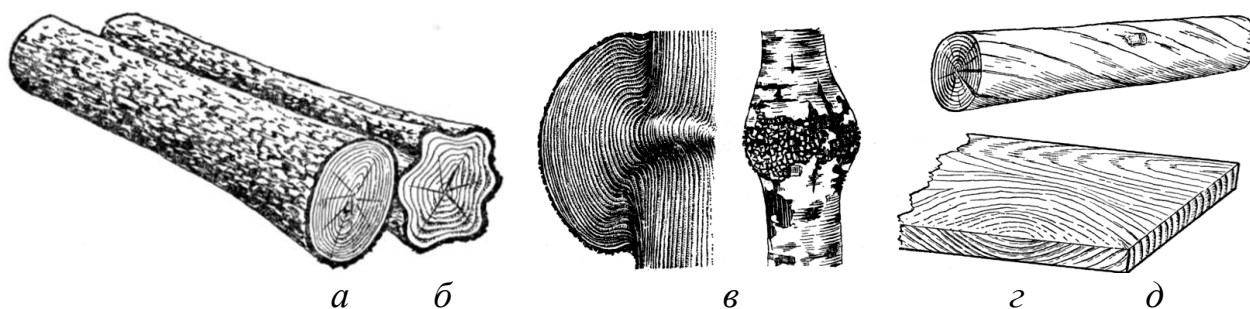


Рисунок 9.7 – Деякі вади форми стовбура і будови деревини:
а – збіжність, *б* – ройка, *в* – напливи, *г* – косошарість, *д* – звиток

Завилькуватість – це звивистості або перерозташування волокон, яке буває переважно у листяних породах. Розрізняють хвилясту завилькуватість, коли волокна розташовані хвилеподібно і плутано, і хаотичну, коли волокна хаотично переплутані. Ця вада знижує міцність деревини та ускладнює механічне оброблення її. Завилькуватість порід клена, волоського горіха, берези і ясена має гарну текстуру і використовується як опоряджувальний матеріал.

Внутрішня заболонь – це кілька річних шарів деревини в ядрі, які за кольором і властивостями подібні на заболонь. Внутрішня заболонь характерна для деревини дуба.

Подвійна серцевина (рис. 9.8) утворюється при розгалуженні стовбура, виглядає як дві серцевини із самостійними системами річних шарів. Переріз стовбура при подвійній серцевині емітований. Подвійна серцевина знижує сортність стовбура та зменшує вихід пиломатеріалів.

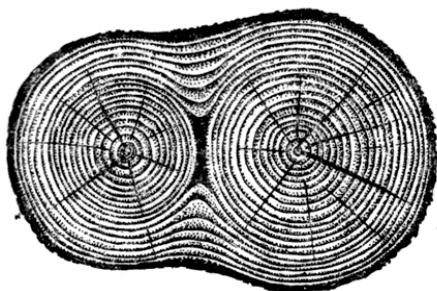


Рисунок 9.8 – Подвійна серцевина

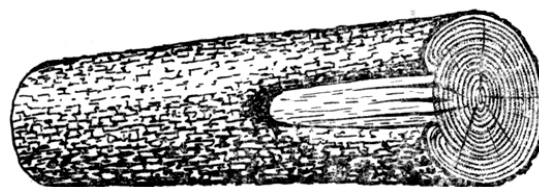


Рисунок 9.9 – Сухобочина

Пасинок – це товстий сучок (гілка), що розгалужується під гострим кутом до осі стовбура і пронизує його на досить великій ділянці. Переважно це друга вершина, яка відстала в рості.

Рани деревини утворюються внаслідок різних пошкоджень стовбура. До цього виду вад належать сухобочина, прорість (відкрита та закрита), рак і корра. Часто рани порушують цілість деревини та правильність форми круглих лісоматеріалів, сприяють викривленню річних шарів.

Сухобочина (рис. 9.9) – одностороннє оголення стовбура від кори, переважно з напливами по краях. Сухобочина буває на бокових поверхнях круглих сортиментів і має вигляд омертвілої і зогнилої деревини, яка за кольором темніша від нормальної. Вона може супроводжуватись червоним забарвленням або гнилизною.

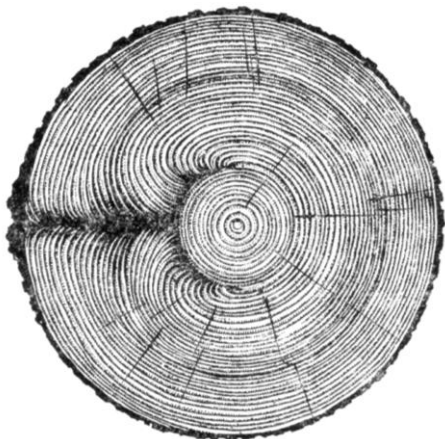


Рисунок 9.10 – Прорість

Прорість (рис. 9.10) – це повністю або частково зарослі поверхневі пошкодження стовбура. Прорість буває закритою і відкритою. Відкрита прорість має вигляд вузької сухобочини, коли пошкодження ще повністю не заросло. Прорість порушує цілість річних шарів та викривляє їх. Вона часто загниває. Цей вид вад знижує сортність деревини і зменшує вихід пиломатеріалів.

Смоляний рак буває на стовбурах сосни, це ураження верхньої частини стовбура дерева, що росте, іржавим грибок. На місці ураження грибок утворюється западина, сусідня середина потовщується та сильно просмолюється, забарвлюється в блідо-червоно-жовтий напівпрозорий колір.

Корра – рана на відземку сосни, що ще росте, завдана під час підсочування (збирання живиці).

Причиною *ненормальних відкладень* у деревині є підвищений вміст води або смоли в окремих частинах стовбура. До таких вад дерева належать водошарість, засмолення, смоляні кишеньки. Ненормальні відкладення утруднюють лицьове опорядження і склеювання деревини, знижують її механічну міцність.

Водошарість – це темні ділянки деревини, просочені надміром води в ядрі або спілій деревині (сосни, ялини, рідше берези та осики). Водошарість на торцях кругляка має вигляд мокрих, а взимку – склоподібних плям. Після висихан-

ня водошарості забарвлення зникає, але деревина покривається дрібними тріщинами, які знижують її міцність, а отже, і сортність.

Засмолок – ділянка деревини, сильно просочена смолою внаслідок пошкодження. Засмолок буває тільки в порід із смоляними ходами і має темне забарвлення. Засмолок утруднює стругання і покриття деревини.

Смоляні кишеньки найчастіше бувають на ялині. За зовнішнім виглядом нагадують тріщини, заповнені живицею. Смоляні кишеньки при невеликому скупченні знижують міцність, а при великому – сортність пиломатеріалів.

Механічні пошкодження виникають внаслідок оброблення лісоматеріалів інструментами і механізмами під час заготовки та транспортування. На круглих лісоматеріалах розрізняють такі види: обдир кори, заруб (сокирою) і запил. До вад обробки належать: риси, хвилястість, ворсистість та обзел (тупий і гострий). Ці вади теж знижують механічну міцність деревини.

Методика вимірювання розмірів сучків деревини. Приклад вимірювання сучків у круглих лісоматеріалах подано на рис. 9.11.

Відкриті сучки вимірюють за найменшим діаметром, а присучковий наплив не враховують. Закриті сучки в круглих листяних лісоматеріалах вимірюють за найбільшим діаметром ранової плями.

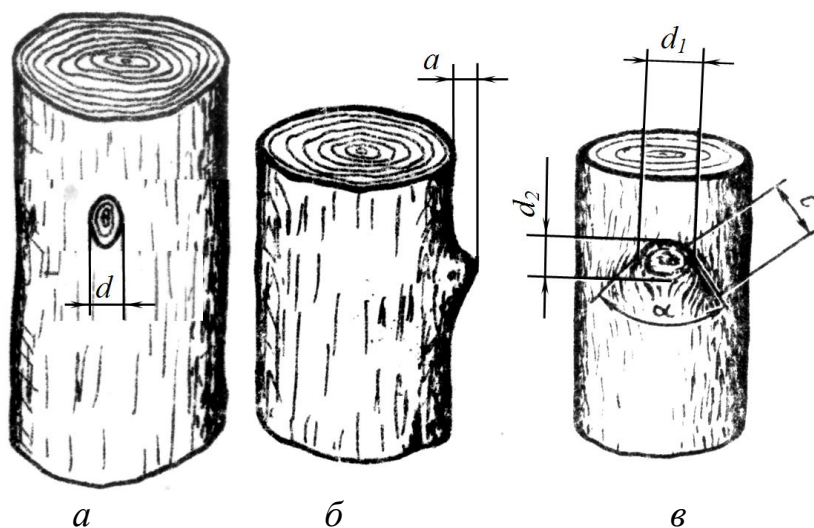


Рисунок 9.11 – Вимірювання сучків у круглих лісоматеріалах:
а – відкритого, *б* – сучка, який заріс, *в* – в лісоматеріалах листяних порід

Вимірюють сучки в пиломатеріалах і деталях в лінійних мірах чи долях відповідних розмірів сортаменту.

Сучки, які не виходять на ребро (круглі, овальні, поздовжні та розгалужені) вимірюють:

- за відстанню між дотичними і контуром сучка, що проведені паралельно до поздовжньої осі сортаменту (рис. 9.12) – розміри d_1, d_2 ;
- за найменшим діаметром перерізу сучка (рис. 9.12) – розміри a_1, a_2 .

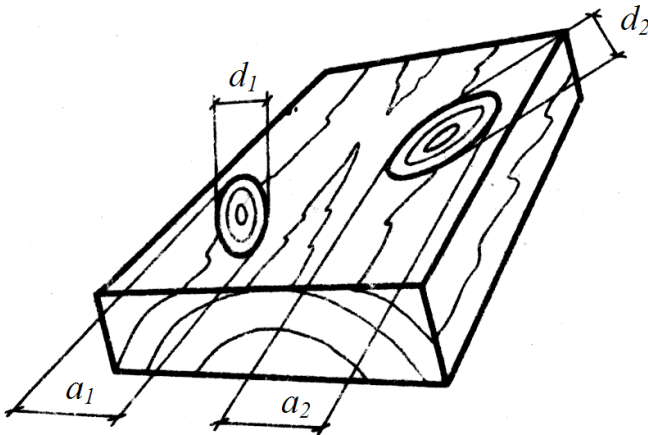


Рисунок 9.12 – Вимірювання круглих і овальних сучків

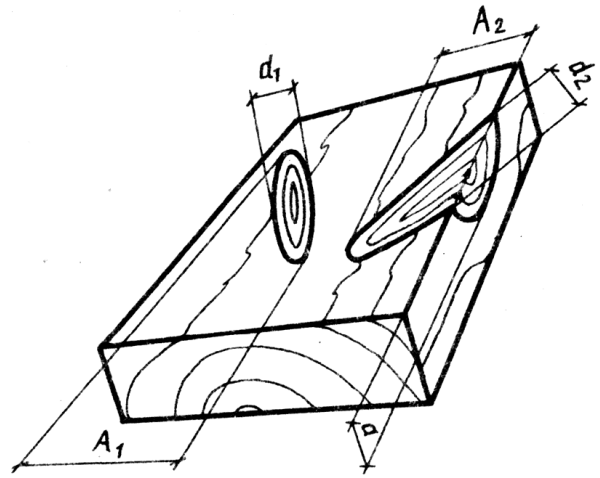


Рисунок 9.13 – Вимірювання поздовжніх і розгалужених сучків
 $z_a = a, z_b = d_1 + d_2, z_A = A_1 + A_2$

Зшивні сучки, а також ті, що виходять на ребро, поздовжні і розгалужені вимірюють:

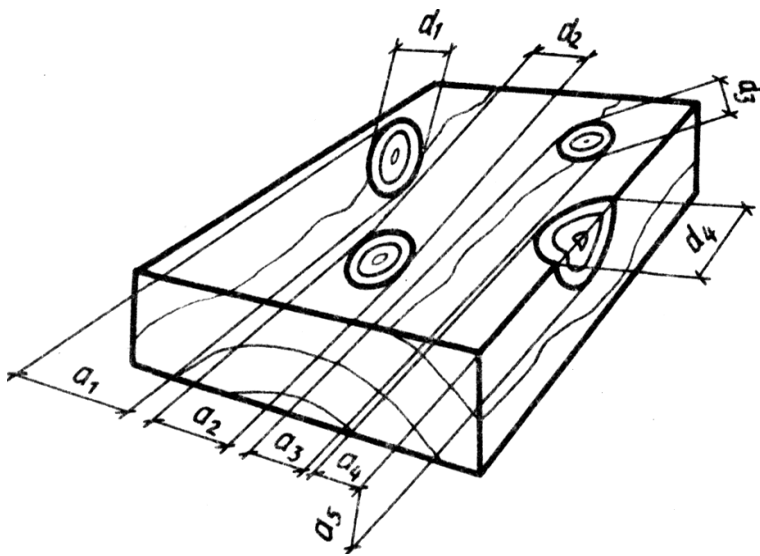


Рисунок 9.14 – Вимірювання ребрових і групових сучків

$$z_a = a_1 + a_2 + a_3 + a_4, z_b = d_1 + d_2 + d_3 + d_4$$

- за відстанню між ребром і дотичною до контуру сучка, що проведена паралельно до ребра (рис. 9.14) – розміри a_4, a_5 ;
- за довжиною сучка на ребрі (рис. 9.14) – розмір d_4 .

- за відстанню між ребром і контуром сучка, що проведені паралельно до ребра, з вимірюванням на тій стороні сортаменту, куди виходить поперечний розріз сучка (рис. 9.13) – розмір a ;
- за найменшим діаметром перерізу сучка (рис.9.13) – розміри d_1, d_2 .

Круглі й овальні сучки, які виходять на ребро вимірюють:

Групові сучки вимірюють сумуванням розмірів всіх сучків, які виходять на одну сторону сортаменту, з вимірюванням кожного сучка згідно з викладеною методикою з отриманням результуючих розмірів z_a , z_b .

Сучки оточені корою, вимірюють разом з корою згідно способу, що відповідає кожному виду сучка.

Порядок виконання роботи

1. Розглядаючи зразки, визначити вид і різновид сучків, а характерні з них зарисувати у звітній таблиці. У ній зарисувати кольоровими олівцями характерні гнилі та грибкові забарвлення, а також охарактеризувати їх.
2. Розглядаючи гриб неозброєним оком, а потім через лупу, охарактеризувати його зовнішні ознаки і зарисувати кольоровими олівцями у звітній таблиці.
3. Визначити різновиди червоточини та їхній вплив на механічні властивості деревини.
4. Визначити характер пошкодження комахами.
5. Охарактеризувати тріщини, форми та будову деревини. Описати й інші вади на зразках.
6. Результати спостережень та виміри записати у звітну таблицю

Питання для самоконтролю

1. Які є види вад деревини?
2. Як сучки можуть вплинути на механічні показники пиломатеріалів (дощок)?
3. Які є основні види тріщин лісоматеріалів і чим вони спричинені?
4. Які особливості пошкодження деревини комахами?
5. Чим небезпечні для деревини ненормальні відкладення?

Література

1. Рудик Д. Ф. Технологія металів та інших конструкційних матеріалів. Лабораторний практикум. / Рудик Д. Ф. – К.: Видавниче об'єднання «Вища школа» Головне видавництво, 1975. – С. 95 – 101.
2. Сиротюк А.М. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів: методичні матеріали до виконання лабораторних робіт [для студентів вищих навчальних закладів]. Частина II / А. М. Сиротюк, В. Д. Попович, О. В. Матієчко. – Дрогобич: Редакційно-видавничий відділ Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка, 2011. – С. 33 – 39.
3. Яким Р. С. Матеріалознавство: лабораторний практикум / Яким Р. С. – Дрогобич: Коло, 2013. – С. 141–152.

Приклад форми звіту (лабораторна робота № 9)
ДРОГОБИЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ФРАНКА
Кафедра машинознавства і матеріалознавства.

Лабораторія матеріалознавства і ТКМ

ЗВІТ

про виконану лабораторну роботу № 9

Тема. ВИЗНАЧЕННЯ ВАД ДЕРЕВИНИ



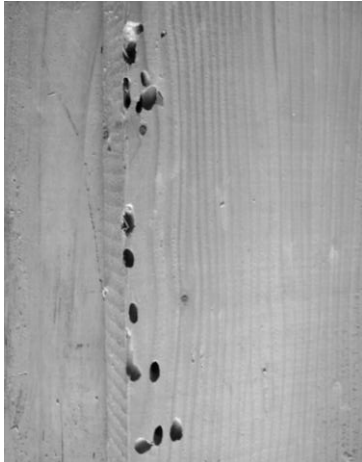
Мета роботи: вивчити та визначити вади деревини за зовнішніми ознаками.

Обладнання та матеріали: зразки з різними вадами деревини, плакати або альбом з вадами деревини, масштабна лінійка з ціною поділки 0,5мм, лупа складна ЛШ-7, щуп.

ЗВІТНА ТАБЛИЦЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

№ з/п	Порода деревини	Вид і різновид вад	Ескіз або опис вад	Розмір вад, мм	Спосіб вимірювання	Примітка

Приклад варіанту заповнення звітної таблиці

№ з/п	Порода деревини	Вид і різновид вад	Ескіз або опис вад	Розмір вад, мм	Спосіб вимірювання	Примітка
1	Сосна	На дошці два близько розталовані сучки, менший – з прилягаючою ділянкою кори		56 × 87мм, 23 × 34мм	Лінійка	Сучки проходять наскрізь дошки
2	Сосна	Сучок порохнявий з прилягаючою ділянкою кори		53 × 84мм	Лінійка	Сучок проходить наскрізь дошки, При невеликому зусиллі легко випадає з дошки
3	Сосна	Глибоке ураження комахами		Ø5мм, 5×18мм	Лінійка	Деревина стала дуже м'якою, з отворів висипається дрібний білий порошок

Тема. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИЛИВКА У
РАЗОВІЙ ПІСКОВО-ГЛИНЯНІЙ ФОРМІ

Мета роботи: практичне ознайомлення з технологічним процесом виготовлення виливка у разовій пісково-глиняній формі.

Обладнання інструменти, матеріали: модельний комплект для ручного формування, формова суміш, нагрівна піч, тигель, ливарний сплав.

Теоретичні відомості

Ливарним виробництвом називають процес одержання фасонних деталей або заготовок заливанням розплавленого металу у форми, порожнина яких відповідає конфігурації і розмірам деталей. Після затвердіння металу у формі, її розкривають або ламають і виймають вилиті деталі, які називають *виливками*. Остаточних розмірів деталі набувають зазвичай після механічного оброблення.

Форми виготовляють з різних матеріалів: пісково-глиняних сумішей, вогнетривів, металевих сплавів та інших. Найпоширенішими є разові пісково-глиняні форми, у яких і сьогодні виливають 85 – 90 % усього литва за вагою. Це пояснюється тим, що застосування разових форм не обмежене ні родом сплаву, ні температурою його виливання, ні складністю конфігурації, ні розмірами виливок. Крім цього, в індивідуальному виробництві виготовлення виливок у разових пісково-глиняних формах є найпростішим і найдешевшим способом.

Однак виливки, одержані в пісково-глиняних формах, у більшості випадків мають низьку точність, вимагають підвищення припусків на обробку. Технологія їх виготовлення пов'язана з переробкою великої кількості формувальних матеріалів, що погіршує умови праці робітників і утруднює автоматизацію технологічного процесу виготовлення виливків.

Технологічний процес виготовлення виливки в пісково-глиняній формі складається із таких операцій:

- 1) розробки креслення виливки на основі робочого креслення деталі;
- 2) виготовлення модельних комплектів;
- 3) приготування формувальних і стержневих сумішей;
- 4) виготовлення форми та стержнів;
- 5) сушіння стержнів, а іноді і форми;
- 6) складання форми;

- 7) плавлення металу;
- 8) заливання форми металом;
- 9) вибивання виливків з форми;
- 10) обрубвання та очищення литва;
- 11) термічної обробки виливків (у деяких випадках);
- 12) контролю готових виливків.

Є такі види креслеників модельно-ливарної технологічної розробки: кресленик виливка з модельно-ливарними вказівками; креслення зібраної форми в розрізі; кресленик стрижнів і каркасів; кресленик елементів модельного оснащення; кресленик елементів ливникової системи, додатків, холодильників; кресленик виливка.

Кресленик виливка можна виконувати на копії кресленика деталі, записуючи в основному надписі під найменуванням деталі слово „виливка”.

Внутрішні контури оброблюваних поверхонь на кресленику виливка (рис. 10.1) виконують тонкими лініями, на практиці зображення елементів ливарної форми виконують кольоровими лініями. Конструктивні елементи (отвори, впадини тощо), що не виконуються при литті, закреслюються суцільними тонкими лініями, як показано на рис. 10.1. Величину припусків вказують цифрою перед знаком жорсткості, наприклад, b і δ в познаках. У випадку нескладних виливок допускається вказувати тільки величину припусків без їх зображення. У випадку рознімної моделі місце рознімання вказують літерами „МФ”. Лінія роз’єднання показується і супроводжується надписом „вверх”, „вниз”.

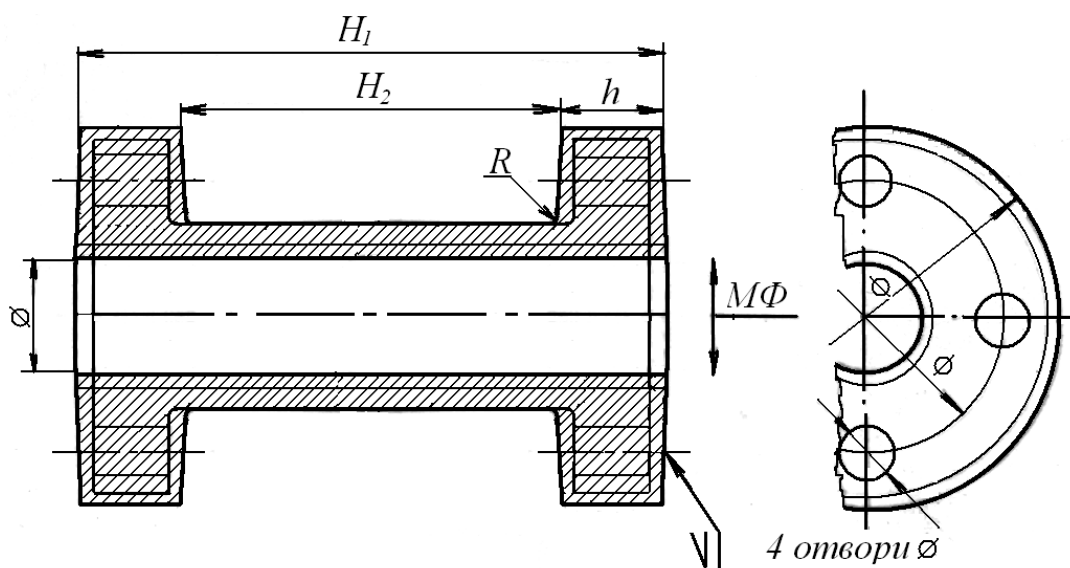


Рисунок 10.1 – Ескіз виливка

Модельні комплекти.

Для виготовлення виливків використовують модельний комплект. У модельний комплект входить: модель виливки; стержневі ящики; моделі ливникової системи; підмодельні дошки, або плити; опоки.

Модель – це пристрій, за допомогою якого у ливарній формі роблять відбиток, що за конфігурацією і розмірами відповідає виливку. Модель виготовляють з дерева або металу (переважно алюмінієвих ливарних сплавів). На рис. 10.2 показано модель виливка, ескіз якого подано на рис. 10.1.

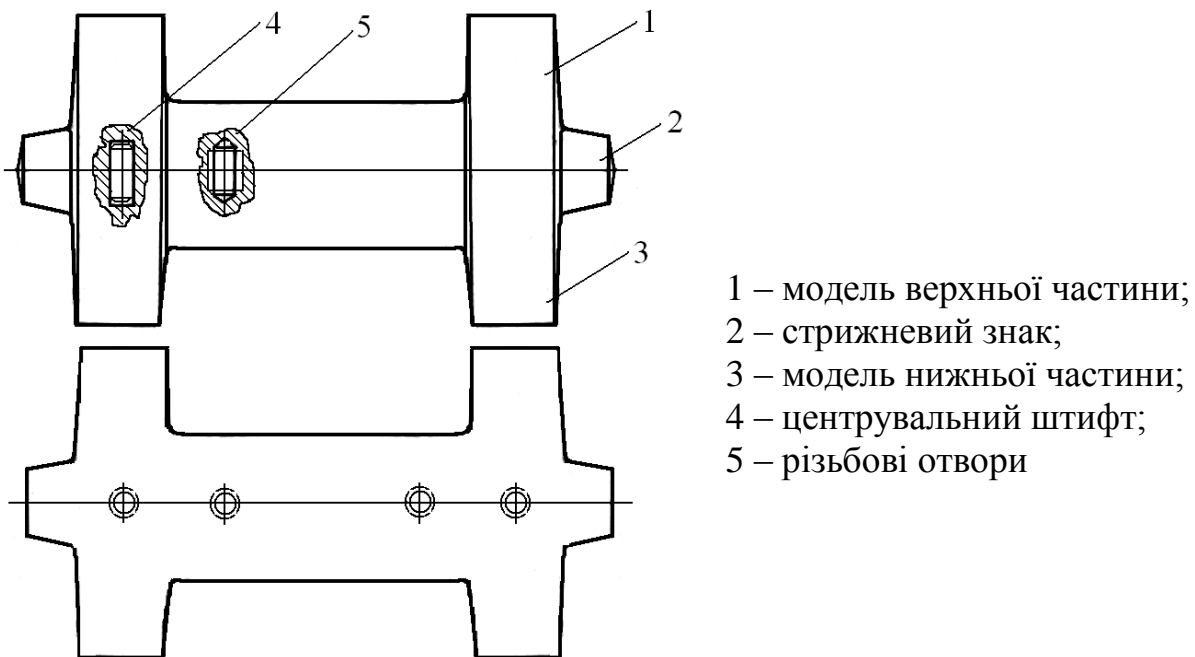


Рисунок 10.2 – Модель виливка, ескіз якого зображено на рис. 10.1

Модель виготовляють згідно з формою та розмірами деталі, але з такими відмінностями: модель має збільшені розміри на величину припусків на механічну обробку; модель має збільшені розміри на величину усадки, тому що всі метали при охолодженні зменшують свої лінійні розміри; модель має ливарні нахили для полегшення виймання моделі із формотворної суміші; модель здебільшого роз'ємна; модель для відливки пустотілих деталей має стержневі знаки 2, які дають відбитки (заглибини) у формі для розстановки стержнів; модель має ливарні округлення для плавного переходу від одного елемента деталі до іншого, щоб уникнути тріщин при вистиганні виливка.

Кожна половинка моделі має різьбові отвори для виймання із землі і центрові штирі та отвори для взаємного центрування двох половинок моделі

(рис. 10.2). Радіуси заокруглення, ливарні нахили та усадка металу здебільшого описуються технічними умовами на полі креслення.

У *стрижневих ящиках* виготовляють стрижні. За допомогою *стрижнів* утворюють порожнини (отвори, заглибини) виливка (рис. 10.1). Стрижневий ящик, подібно до моделі, також має роз'єм і центрувальні штирі. Циліндричний стрижень по краях конусний для зручності і точності його розміщення в форму

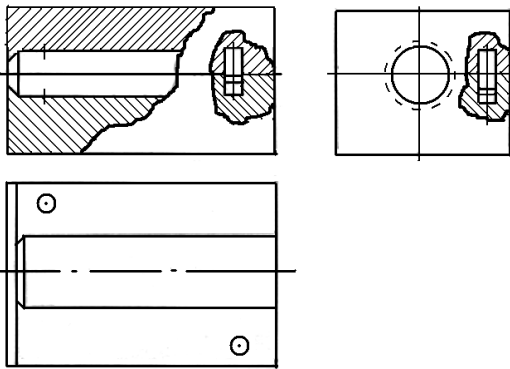


Рисунок 10.3 – Стрижневий ящик

(рис. 10.3).

Моделі ливникової системи утворюють систему каналів, по яких рідкий метал надходить у порожнину ливарної форми. Виходячи із розмірів виливка, способу заливання, властивостей ливарного сплаву, вибирають певний тип ливникової системи та проводять розрахунки окремих елементів. Розробляється креслення ливникової системи. На

рис. 10.4 зображена горизонтальна ливникова система.

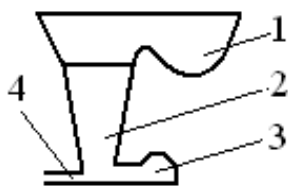


Рисунок 10.3 – Модель горизонтальної ливникової системи

- 1 – ливникова чаша;
- 2 – стояк;
- 3 – шлаковловлювач;
- 4 – живильник

На *підмодельну плиту* встановлюють моделі виливка та опори в процесі формування. *Опоки* – це металева рамка, у якій виготовляють форму.

Приготування стрижневих і формових сумішей.

У склад *формових сумішей* входять: 78 – 80 % кварцового піску, 10 – 18% глини, 4 – 6 % води, 4 – 6 % спеціальних домішок (кам'яновугільний пил, мазут, тирса та інші).

Приготування формових і стрижневих сумішей починають з підготовки вихідних матеріалів. Кварцовий пісок сушать, просівають для відділення зайвих домішок і розподіляють по бункерах над змішувачами. Глину в суміш вводять у вигляді суспензії. Коли всі вихідні компоненти підготовлені, їх змішують у бігунах. Перемішану та зволожену суміш подають до бункера-відстійника для вилежування у формі і від ливарного сплаву.

При заливанні форми розплавленим металом стрижні перебувають у важчих умовах, тому вони мають мати високу міцність, а при затвердінні металу – достатню піддатливість. *Стрижневі суміші* складаються з 91 – 97 % кварцового піску, 3 – 4 % глини, з добавками рідкого скла, або інших в'язучих речовин (наприклад, фенолформальдегідних смол). Для масивних стрижнів використовують суміш, яка складається з 90 – 93 % кварцового піску, 7 – 10 % глини, яка є основним в'язучим матеріалом. Для підвищення газопроникності в такі суміші додають 1 – 2 % сульфітно-спиртової барди й тирсу.

У виробництві сталевих, чавунних і бронзових виливків використовують також *швидкотверднучі суміші*. Такі суміші мають можливість застосовувати швидкісні методи формування, скоротити цикл виробництва у 3 – 5 разів, зекономити паливо на сушінні форм, а також підвищити точність виливків. У склад цих сумішей входять кварцовий пісок і рідке скло. Форми та стрижні, у яких як укріплювач використовують рідке скло, твердіють при обробці їх вуглекислим газом, або при короткочасному сушінні на повітрі.

Останнім часом широко застосовують на заводах рідкі самотверднучі суміші (РСС). Основна складова – кварцовий пісок. Особливість РСС полягає в тому, що речовини які утворюють піну, навіть при низькій вологості (5 – 6 %) переходять у рідкий рухливий стан. Внаслідок чого швидко заповнюють усі порожнини стержневого ящика або моделі.

Виготовлення форм і стрижнів (ручне)

При виготовленні виливків значних розмірів і маси (станини верстатів, прокатних станів тощо), а також в індивідуальному виробництві дрібних і середніх виливків формування виконують вручну, оскільки машинне формування було б економічно не вигідним.

Найпоширеніше ручне формування у двох опоках (рис. 10.5) за розмірною моделлю. Формування починають з виготовлення нижньої половини форми і виконують у такій послідовності.

1. На підмодельну дошку площиною донизу укладають нижню половину моделі і покривають опокою (рис. 10.5, а).

2. На модель наносять шар облицьовувальної суміші, а потім – суміші наповнення.

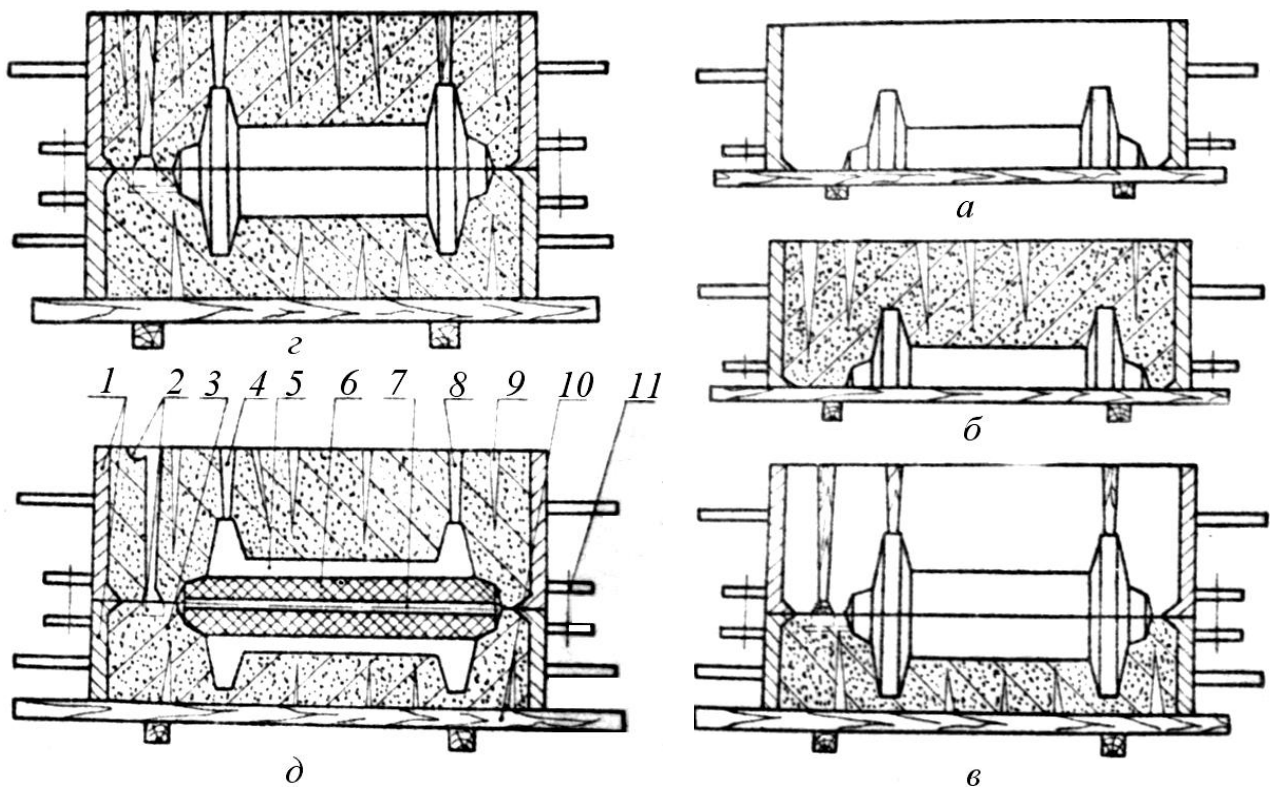


Рисунок 4.5 – Формування у двох опоках за рознімною моделлю:
 1 – опоки, 2 – елементи ливникової системи, 3 – нижня півформа,
 4 – випор, 5 – порожнина форми, 6 – стрижень,
 7 – металевий каркас, 8 – верхня півформа, 9 – вентиляційний канал,
 10 – підмодельна дошка, 11 – штир центрування

3. Трамбівкою ущільнюють формову суміш, а надлишок суміші зрізують лінійкою на рівні верхньої кромки опоки і для збільшення газопроникності форми наколюють її вентиляційними голками (рис. 4.5, б).

4. Приготовлену півформу повертають на 180° і на нижню половину моделі встановлюють верхню.

5. Накривають нижню півформу верхньою опокою і опоки з'єднують між собою за допомогою штирів.

6. Установлюють моделі ливникової системи, а поверхню роз'єму посипають розділювальним піском (рис. 4.5, в).

7. Заповнюють верхню опоку сумішшю і також ущільнюють її, після чого витягають моделі ливникової системи (рис. 4.5, г).

8. Знімають верхню півформу з нижньої і також повертають її на 180° площиною рознімання догори.

9. Формову суміш навколо моделі злегка зволожують водою, моделі розштовхують у всі боки і за допомогою підйомника видаляють з форми.

10. Випрямляють і згладжують зруйновані частини форми оброблювальним інструментом.

11. Кладуть стрижень у форму, складають форму і скріплюють опоки замком (рис. 10.5, д).

12. Виготовлення стрижня проводиться одночасно з формовкою.

Робочі поверхні стрижневого ящика протирають ватою, змазаною гасом, половинки стрижневого ящика скріплюють струбциною, ящик заповнюють стрижневою сумішшю, встановлюють армуючий стрижень і ущільнюють трамбуванням. Після набивання струбцина знімається, ящик укладають горизонтально і легко постукують. Потім верхня половинка ящика знімається і стрижень обережно перекладається у сушильну шафу.

Плавлення металу

Найпоширенішим агрегатом для плавлення чавуну в ливарних цехах є вагранка. Використовують і індукційні печі. Для плавлення сталі в ливарних цехах застосовують мартенівські, електричні дугові та індукційні печі, а також малі бесемерівські конвертори.

Для плавлення кольорових сплавів застосовують тигельні, електричні та полум'яневі печі місткістю від 5 кг до 5–10 т. Якість виливків значною мірою залежить від ливарних властивостей сплавів. До найважливіших ливарних властивостей сплавів належать рідкоплинність, усадка та ліквация.

Рідкоплинність – це властивість металів і сплавів швидко заповнювати складні порожнини ливарної форми. Рідкоплинність сплавів визначають за технологічною пробою. Широко застосовується спіральна проба. Довжина спіралі виражена в міліметрах і є характеристикою рідкоплинності. Найбільшу рідкоплинність має сірий чавун, олов'яна бронза, силумін, найменшу – сталь (особливо легована) і чисті метали.

Усадка – це властивість металів і сплавів зменшувати об'єм і лінійні розміри у процесі кристалізації, коли метал переходить з рідкого стану з більшим об'ємом у твердий стан з меншим об'ємом. Унаслідок нестачі металу в процесі кристалізації у виливку може утворитися усадочна раковина.

Об'ємна усадка визначається за формулою:

$$\Delta V = \frac{V_{\delta} - V_B}{V_{\delta}} \cdot 100\%,$$

де V_{ϕ} і V_B – об'єм порожнини форми та об'єм виливка відповідно.

Лінійна усадка металу відбувається при охолодженні виливка в твердому стані до кімнатної температури. Лінійна усадка супроводжується зменшенням лінійних розмірів виливка. Вона визначається за формулою:

$$\Delta l = \frac{l_{\delta} - l_B}{l_{\delta}} \cdot 100\%,$$

де l_{δ} , l_B – лінійні розміри форми та виливка відповідно.

Ліквация – неоднорідність хімічного складу металу в різних частинах виливка. Ліквация може бути дендритною (внутрішньокристалічною) і зональною. *Дендритна ліквация* виникає внаслідок неоднорідності хімічного складу первинних і наступних частин кристалів, які утворюються при кристалізації сплавів, компоненти яких значно відрізняються питомою вагою. *Зональна ліквация* – це неоднорідність виливка в цілому об'ємі. Термічною обробкою зональну ліквацию усунути неможливо.

Заливання форми металом

Після виготовлення форми і її складання, форму заливають металом. Перед заливанням метал треба витримати в ковші, щоб неметалеві включення впливали на поверхню у шлак. Розливати треба спокійно, не перериваючи струменя металу, і так, щоб ливникова чаша постійно була заповнена металом.

Вибивання виливки з форми

Після повного затвердіння і достатнього охолодження виливок вибивають з форми, руйнуючи її. Виливок з ливниковою системою після вибивання з форми показано на рис. 4.4.

Обрубання ливникової системи

Обрубують ливникову систему в дрібних виливках молотком. Залишки, нерівності поверхні зачищають абразивним кругом.

Послідовність виконання роботи

1. Виготовити ручну разову ливарну форму в двох опоках за рознімною моделлю.
2. Виготовити стрижень.
3. Зібрати форму.
4. Розплавити метал і залити його у форму (плавлення і заливання форми металом проводиться лаборантом під керівництвом викладача).
5. Вибити виливок з форми.

6. Описати технологічний процес виготовлення форми і стрижня та виконати креслення вилівка, моделі, стрижневого ящика, операцій формовки; технічний рисунок вилівка з ливниковою системою.

7. Описати якість вилівка, форми та стрижня.

Питання для самоконтролю

1. Перерахуйте недоліки вилівок, одержаних у разових формах.
2. Що таке усадка металу?
3. Як контролюється рідкоплинність розплавленого металу?
4. Охарактеризуйте модельний комплект.
5. Яка різниця між вилівком і моделлю?
6. Яким вимогам мають відповідати формувальні та стрижневі суміші?
7. Охарактеризуйте основні складники формувальних і стрижневих сумішей.

Література

1. Атаманюк В. В. Технологія конструкційних матеріалів / Атаманюк В. В. – К.: Кондор, 2009. – 528 с.
2. Технологія матеріалів, зміцнення та виготовлення деталей машин / [М. Сиротюк, М. Чернець, М. Опеляк та ін.]. – Дрогобич: РВВ Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка, 2009. – 263 с.
3. Алаи С. И. Практикум по машиноведению: [учебн. пособие для студентов пед. институтов]. / Алаи С. И., Ежевская Р. А., Антоненко У. И.; под общ. ред. Ежевской Р. А. – М.: Просвещение, 1985. – 304 с.
4. Технологія конструкційних матеріалів / [М. А. Сологуб, І. О. Рожнецький, О. І. Некоз та ін.]; за ред. М. А. Сологуба – К.: Вища школа, 2002. – 374 с.
5. Нікіфоров В. М. Технологія металів і конструкційні матеріали / Нікіфоров В. М. – К.: Вища школа. Головне видавництво, 1984. – 344 с.
6. Рыбкин В. А. Ручное изготовление литейных форм / Рыбкин В. А. – [2 изд., перераб. и доп.]. – М.: Высшая школа, 1986 – 199 с.
7. Технологія конструкційних матеріалів: лабораторний практикум / Попович В. Д., Яким Р. С., Сиротюк А. М.; під ред. Р. С. Якіма. – Дрогобич: Редакційно-видавничий відділ Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка, 2015. – С.20 – 27.

Приклад форми звіту (лабораторна робота №10)
ДРОГОБИЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ФРАНКА

Кафедра машинознавства і матеріалознавства.

Лабораторія матеріалознавства і ТКМ

ЗВІТ

про виконану лабораторну роботу №10

Тема. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИЛИВКА У
РАЗОВІЙ ПІСКОВО-ГЛИНЯНІЙ ФОРМІ

Мета роботи: практичне ознайомлення з технологічним процесом виготовлення вилівка у разовій піскОВО-глиняній формі.

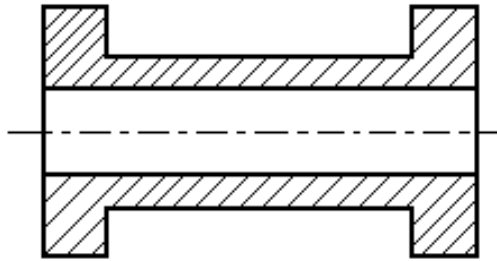
Обладнання інструменти, матеріали: модельний комплект для ручного формування, формова суміш, нагрівна піч, тигель, ливарний сплав.

КРЕСЛЕННЯ ДЕТАЛІ

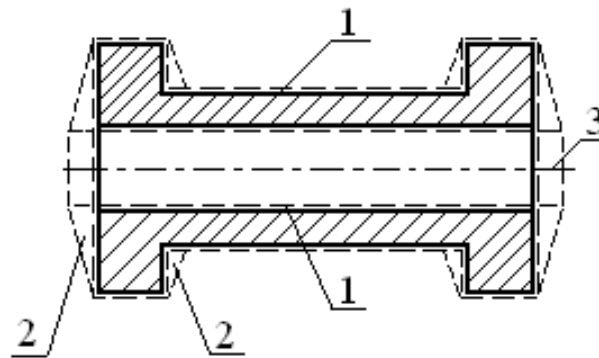
КРЕСЛЕННЯ ВИЛИВКА

КРЕСЛЕННЯ МОДЕЛІ

Приклад креслення деталі

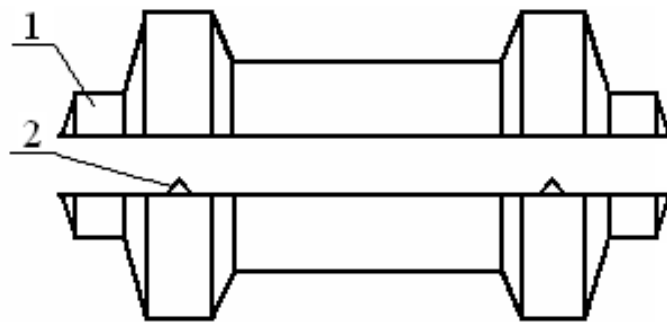


Приклад креслення моделі



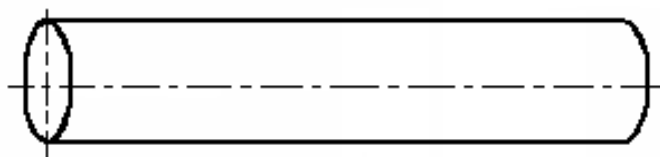
1 – припуск на механічну обробку й усадку; 2 – ливарні ухили;
3 – площина роз'єма

Приклад креслення моделі вилівка



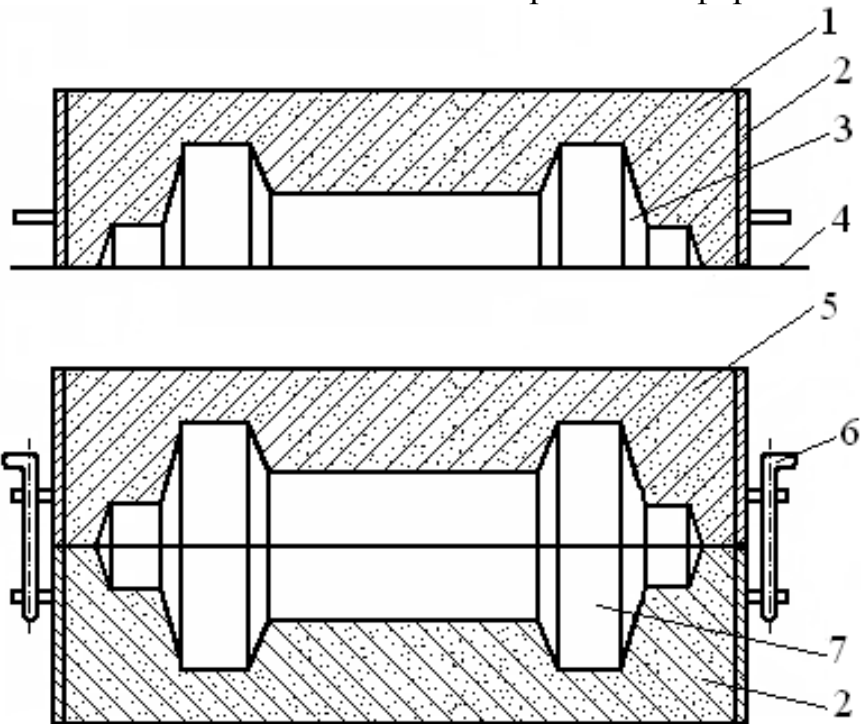
1 – стрижневі знаки; 2 – фіксатори

Приклад креслення стрижня

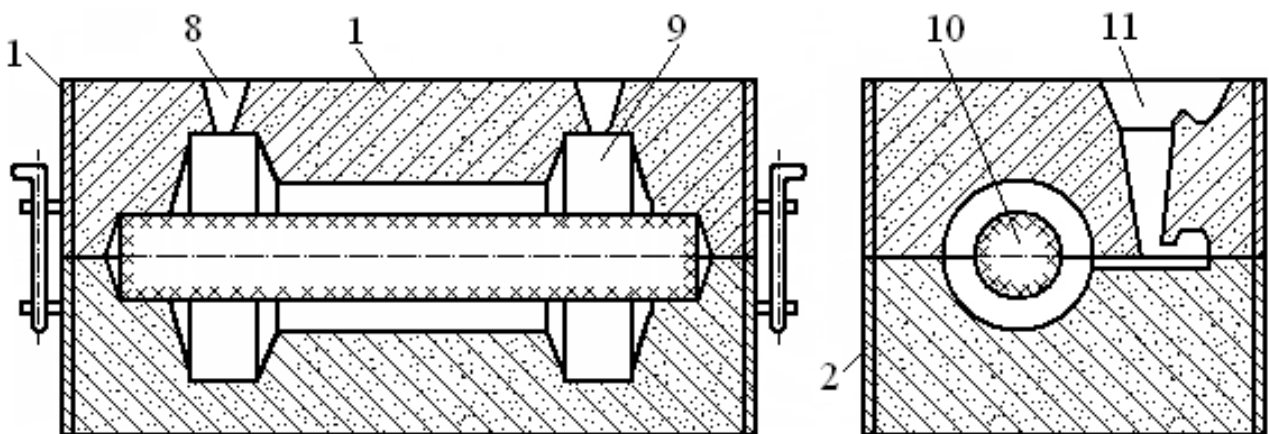


Приклад ескізу операцій формовки

Виготовлення нижньої і верхньої півформ

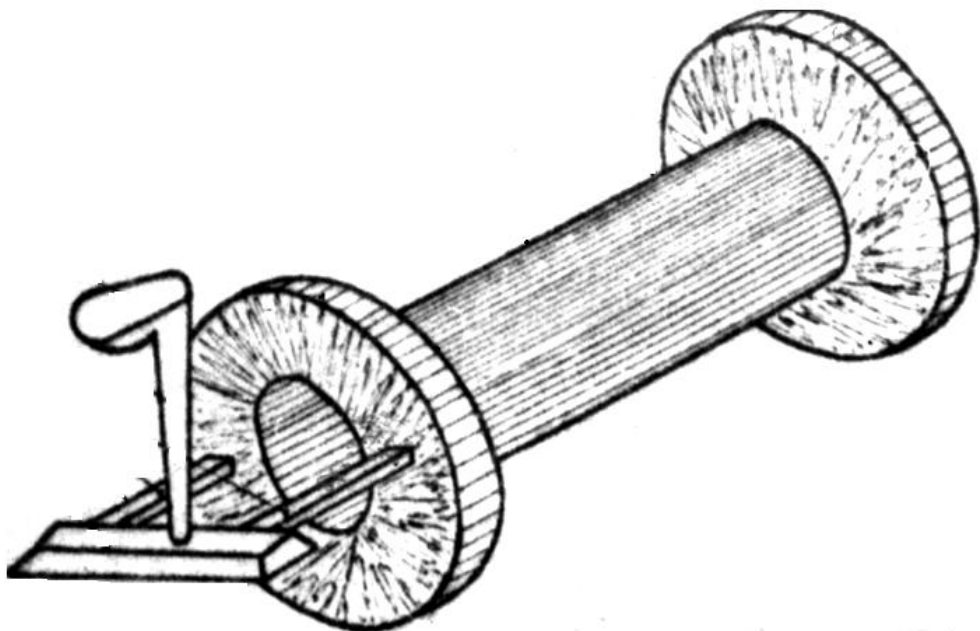


Зібрана ливарна форма



- 1 – формова суміш; 2 – нижня опока; 3 – нижня частина моделі; 4 – підмодельна дошка; 5 – верхня опока; 6 – пристрій для центрування опок; 7 – модель; 8 – випор (вентиляційний канал); 9 – порожнина форми; 10 – стрижень; 11 – ливникова система

Приклад технічного ескізу вилівка з ливниковою системою



Тема. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИЛИВОК У
МЕТАЛЕВИХ ФОРМАХ

Мета роботи: ознайомитися з методом лиття у металеві форми, будовою металевих форм і особливостями технології виготовлення виливків у металевих формах.

Обладнання інструменти, матеріали: кокілі різної конструкції, електропіч для плавлення алюмінієвих сплавів, ківш для плавлення і заливання сплаву, зубило, молоток, алюмінієвий сплав, рукавиці, захисні окуляри, халат.

Теоретичні відомості

Виливки, виготовлені у разовій піщаній формі, мають невисоку точність розмірів і недостатню чистоту поверхні, великі припуски на механічну обробку, крупнозернисту структуру. Для виготовлення виливків вищої якості широко впроваджуються спеціальні способи лиття. Вони підвищують точність і чистоту поверхні виливків, зменшують припуски на механічну обробку. На практиці використовують багато методів виготовлення виливків підвищеної точності, в тому числі лиття у металеві форми, лиття під тиском, відцентрове лиття, лиття в оболонкові форми, вакуумним всмоктуванням та інші.

Лиття в *металеві форми* полягає в тому, що замість разової піщаної ливарної форми використовують багаторазову металеву форму, яку називають *кокілем*. Для утворення у виливку внутрішніх порожнин або отворів, роблять стержні, які часто також є металевими. У кокілях одержують виливки з кольорових сплавів, чавуну, і рідше, зі сталі.

Кокільне лиття, порівняно з литтям у піщані разові форми, має такі переваги: не потрібні формові (а часто – стержневі) суміші та модельно-опокова оснастка; підвищуються точність і чистота поверхні виливків; зменшується кількість пилу в ливарних цехах, поліпшуються умови праці; обслуговування металевих форм не потребує високої кваліфікації робітників; підвищується продуктивність праці. Проте найбільш вагомою перевагою кокільного лиття є багаторазове використання форми, висока якість і щільність виливків. Щільний метал і дрібнозерниста структура утворюються завдяки значній швидкості

охолодження і кристалізації розплаву, яка в десятки разів більша ніж в піщаній формі через вищу теплопровідність металу.

Водночас із значними перевагами кокільне лиття має ряд недоліків: висока вартість металевих форм, чим пояснюється їх застосування лише в серійному і масовому виробництві; невіддатливість металевих форм, що збільшує небезпечність утворення тріщин у виливках; чавунні виливки в металевих формах мають вибілену поверхню, це призводить до того, що необхідно застосувати їх відпал виливків, що значно здорожує процес.

Будова металевих форм.

Металеві форми виготовляють із сірого, високоміцного та легованого чавуну або із сталі. Конструктивно кокілі можуть бути виконані нерознімними і рознімними з вертикальним або горизонтальним роз'ємом (рис. 11.1).

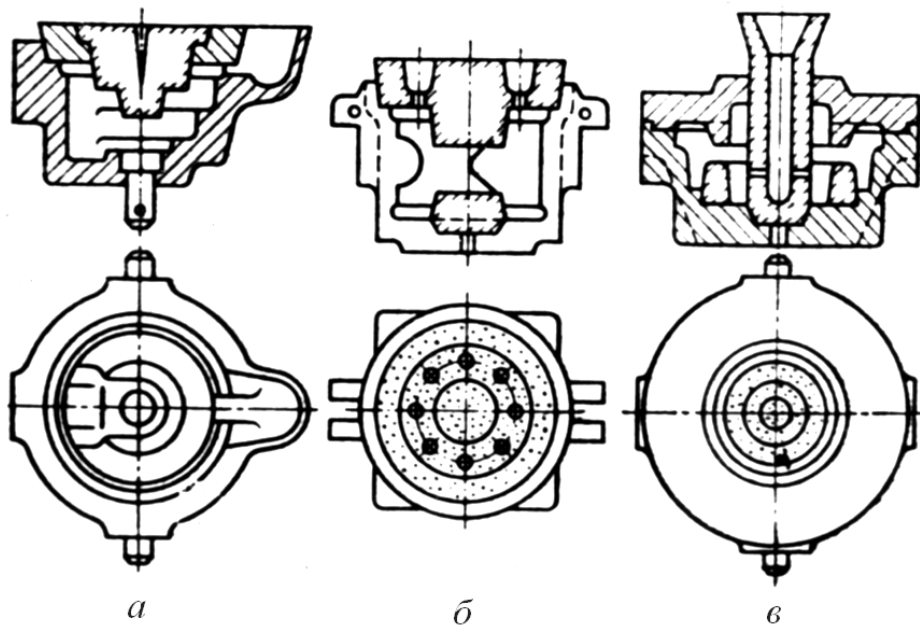


Рисунок 11.1 – Конструкції кокілів:

a – нерознімні; *б* – з вертикальним роз'ємом; *в* – з горизонтальним роз'ємом

Рознімний кокіль складається з двох половин, у яких є порожнина. Ливникову систему – чашу, стояк, живильник і випор – виконують у площині роз'єму. Метал заливають у ливникову чашу, який по стояку через живильник поступає в порожнину форми. Розкривають форму і виштовхують готовий виливок вручну або механізованим способом. Вручну розкривають кокілі для дрібних виливків або дуже складні за конструкцією кокілі з кількома

роз'ємами. Якщо внутрішні порожнини виливка мають складні обриси, то металеві стрижні виготовляють з кількох частин або замінюють на піщані.

Наприклад, внутрішню порожнину автомобільного поршня із алюмінієвого сплаву одержують металевим стрижнем, який складається із трьох частин: центрального стрижня 2 і двох бокових 1 і 3 (рис. 5.2, а).

Після заливання кокілю сплавом і утворення достатньо міцної оболонки у виливниці, виймають центровий клиноподібний стрижень 2 (рис. 11.2, б), потім бокові 1 і 3, а також стрижні 4 і 5, за допомогою яких в поршні одержують отвори.

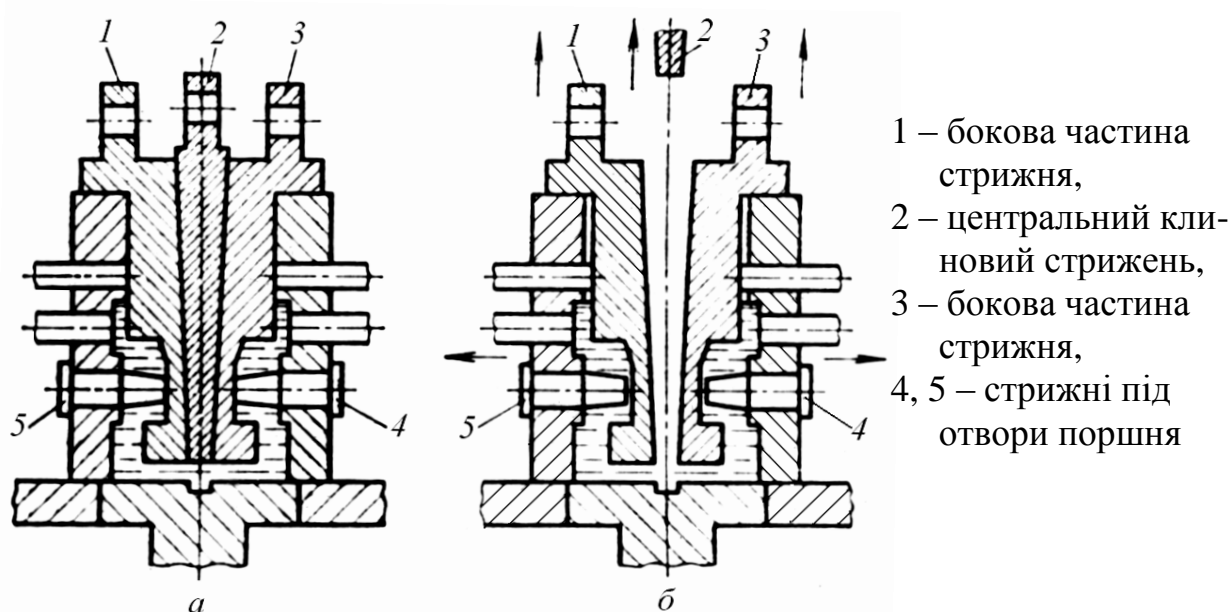


Рисунок 11.2 – Кокіль для виливки поршня з рознімним металевим стрижнем:

а – зі вставленим центральним клиновим стрижнем;
 б – центральний клиновий стрижень витягнуто

Особливості технології виготовлення виливків у металевих формах.

Перед заливанням металу внутрішню поверхню металевої форми покривають спеціальною фарбою для ізолювання форми від контакту з рідким металом. Це роблять для того, щоб збільшити строк її служби або зменшити швидкість охолодження. Щоб запобігти вибілюванню чавунних виливків, треба підібрати відповідний хімічний склад чавуну, який би забезпечив процес графітизації в умовах підвищеної швидкості охолодження у металевій формі. Крім того, перед заливанням чавуну кокіль нагрівають до 250 – 300°C і час витримки виливка у кокілю скорочують до мінімуму. При виготовленні в металевих формах

випливу із силуміну відпадає потреба модифікувати їх натрієм, оскільки швидке охолодження подрібнює кремній в евтектиці. При литті в кокіль мідних сплавів порожнину форми покривають жирними фарбами, внаслідок чого між металом і кокілем утворюється газовий прошарок. Це усуває можливість виникнення пригару і сприяє утворенню гладенької поверхні виливка.

Технологічний процес кокільного лиття складається з таких послідовних операцій:

- 1) очищення кокілю від старого облицювання;
- 2) підігрівання форми;
- 3) фарбування форми;
- 4) укладання стрижнів;
- 5) складання форми;
- 6) заливання металом і видалення виливка з форми.

Послідовність виконання роботи

1. Ознайомитися з будовою кокілів. Звернути увагу на тип роз'єму форми і механізм закривання форми.
2. Контрольно закрити і розкрити кокіль з метою перевірки правильності і надійності взаємодії всіх його частин.
3. Довести температуру сплаву до 750 °С.
4. Зібрати кокіль і залити його металом.
5. Після охолодження видалити вилівок із форми.
6. Візуально оцінити якість виливка.
7. Описати конструкцію металевої форми і накреслити її ескіз.
8. Описати особливості технологічного процесу виготовлення виливка в кокілі і температурний режим його заливання.
9. Накреслити ескіз виливка або привести його фотографію, а також описати якість виливка.

Питання для самоконтролю

1. Вкажіть переваги та недоліки лиття у кокілі.
2. Опишіть будову і принцип роботи металевої форми.
3. Охарактеризуйте дефекти виливок при литті у кокілі та заходи щодо їхнього усунення.

4. Назвіть і охарактеризуйте відомі вам спеціальні види лиття.

Література

1. Атаманюк В. В. Технологія конструкційних матеріалів. / Атаманюк В. В. – К.: Кондор, 2009. – 528 с.
2. Технологія матеріалів, зміцнення та виготовлення деталей машин / [М. Сиротюк, М. Чернець, М. Опеляк та ін.]. – Дрогобич: РВВ Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка, 2009. – 263 с.
3. Алаи С. И. Практикум по машиноведению: [учебн. пособие для студентов пед. институтов]. / Алаи С. И., Ежевская Р. А., Антоненко У. И.; под общ. ред. Ежевской Р. А. – М.: Просвещение, 1985. – 304 с.
4. Технологія конструкційних матеріалів. / [М. А. Сологуб, І. О. Рожнецький, О. І. Некоз та ін.]; за ред. М. А. Сологуба – К.: Вища школа, 2002. – 374 с.
5. Нікіфоров В. М. Технологія металів і конструкційні матеріали / Нікіфоров В. М. – К.: Вища школа. Головне видавництво, 1984. – 344 с.
6. Технологія конструкційних матеріалів: лабораторний практикум / Попович В. Д., Яким Р. С., Сиротюк А. М.; під ред. Р. С. Якіма. – Дрогобич: Редакційно-видавничий відділ Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка, 2015. – С. 28 – 31.

Приклад форми звіту (лабораторна робота № 11)
ДРОГОБИЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ФРАНКА

Кафедра машинознавства і матеріалознавства.

Лабораторія матеріалознавства і ТКМ

ЗВІТ

про виконану лабораторну роботу № 11

Тема. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИЛИВОК У
МЕТАЛЕВИХ ФОРМАХ

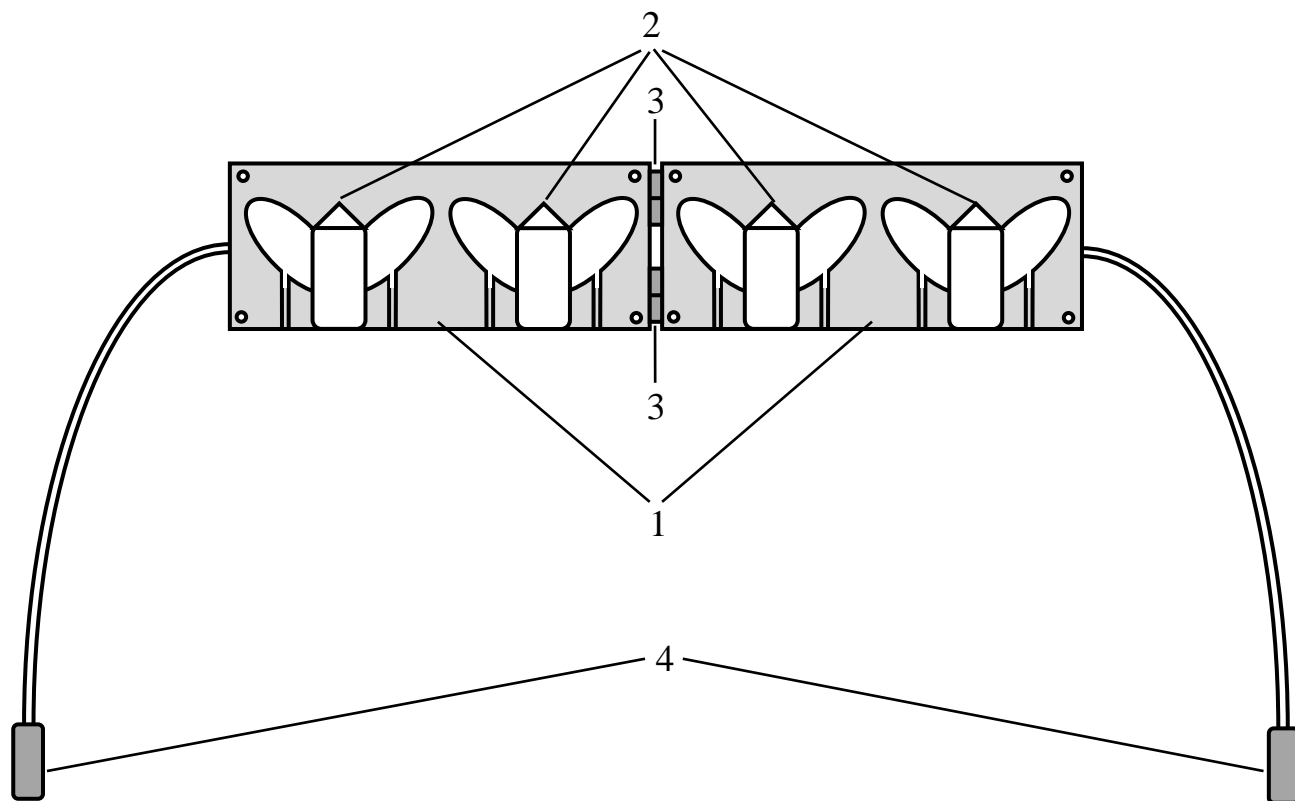
Мета роботи: ознайомитися з методом лиття у металеві форми, будовою металевих форм і особливостями технології виготовлення виливків у металевих формах.

Обладнання інструменти, матеріали: кокілі різної конструкції, електропіч для плавлення алюмінієвих сплавів, ківш для плавлення і заливання сплаву, зубило, молоток, алюмінієвий сплав, рукавиці, захисні окуляри, халат.

ЕСКІЗ ФОРМИ

ОПИС ФОРМИ

Приклад ескізу рознімного кокіля



- 1 – корпус кокіля; 2 – порожнини кокіля;
- 3 – рухомі завіси;
- 4 – ручки для закривання кокіля

Приклад вилівка



Тема. ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ
ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ ЛИСТОВИМ ШТАМПУВАННЯМ

Мета роботи: ознайомитися з основними операціями листового штампування, навчитися проводити розрахунки для визначення параметрів листового штампування і розмірів заготовок та штампів.

Обладнання інструменти, матеріали: ручний гідравлічний прес ПГПР, вирубні штампи, лінійка, штангенциркуль, штампові вироби, креслення деталей.

Теоретичні відомості

Листовим штампуванням називають процес виготовлення у штампах на пресах металевих деталей з тонкого листового, стрічкового або штабового матеріалу. Товщина деталей мало відрізняється від товщини вихідної заготовки і не перевищує 6 мм (в окремих випадках – 10 мм). Матеріалом для штампування є сталі і сплави кольорових металів.

Широке застосування листового штампування у промисловості пояснюється його позитивними якостями, а саме: високою продуктивністю (до 30 – 90 тис. деталей за зміну); можливістю використовувати малокваліфікованих робітників; точністю деталей, що забезпечує їх взаємозамінність; сприятливими умовами для автоматизації процесу. На вітчизняних заводах штампування з листового матеріалу виготовляють приблизно 60 % автомобільних деталей, наприклад, кузови автомобіля, рами, крила, щитки, деталі радіатора, фари, диски коліс та ін. Відходи при листовому штампуванні – 15 – 40 %, а вартість листового матеріалу – до 70 % загальної вартості виробів.

Технологічні операції і штампи для листового штампування

Технологічні операції листового штампування можна поділити на дві групи: *відокремлювальні* (відрізання, вирубання, пробивання, зачищення, надрізування, обрізування) і *формозмінювальні* (гнуття, витягування, холодне видавлювання, обтискання, формування, випучування, розбортування, карбування та ін.).

Відрізання – поділ заготовки на частинки за допомогою ножів або штампів. Найчастіше цю операцію застосовують як заготовочну (різання заготовок).

Відрізання листа або штаби по прямій лінії виконують листовими ножицями. При цьому лист (рис. 12.1, а) кладуть на нижній лист 5 і просувають до упора 4, верхній ніж 2 закріплюють у повзуні ножиців або преса. При перекриванні кромки ножів лист розрізається. Притискач 1 забезпечує затискання листа при відрізання. Застосовують ножиці з поступальним рухом різальних кромки ножів (паралельні, гільйотинні) і обертальним (дискові або роликові). Роликовими ножицями можна різати по кривій лінії.

Вирубвання (вирізання) – різання по замкнутому контурі, при якому від заготовки відокремлюється деталь чи виріб 3 (рис. 12.1, б).

Пробиванням називається різання по замкнутому контурі, при якому утворюється наскрізний отвір у виробі з видаленням частини матеріалу у відхід 4 (рис. 12.1, в).

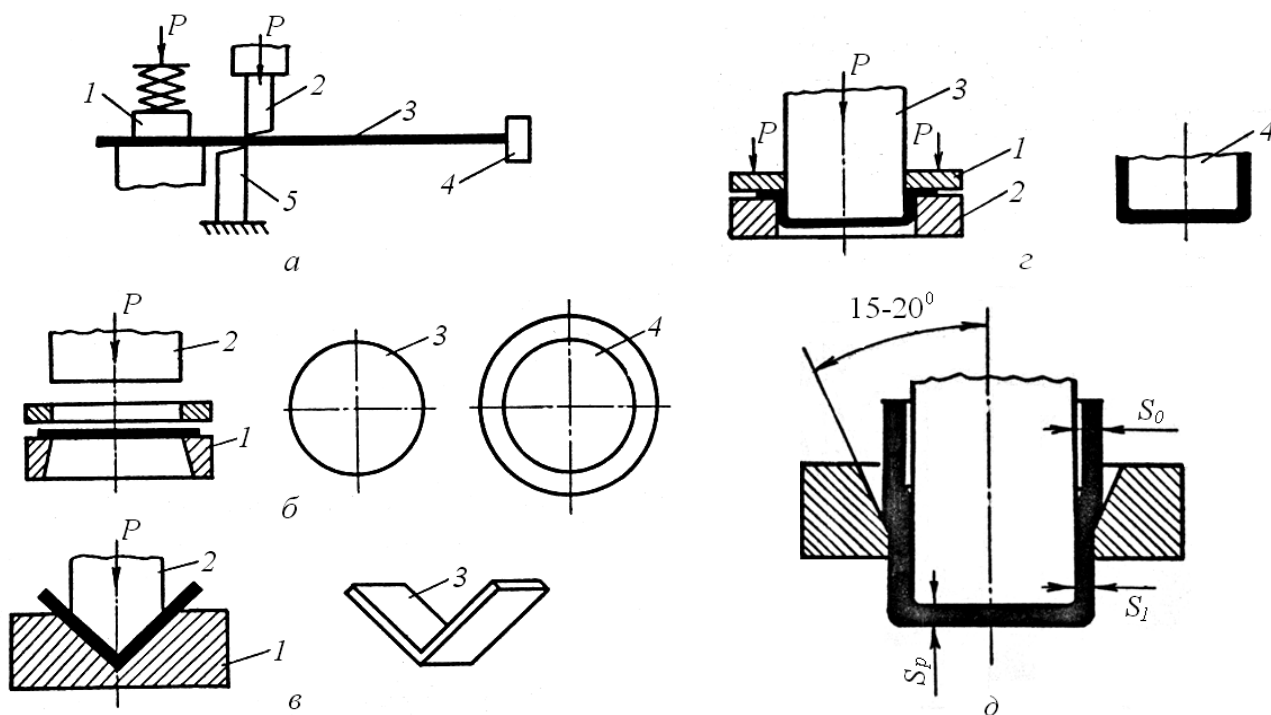


Рисунок 12.1 – Схеми основних видів технологічних операцій листового штампування:

а – відрізання; б – вирубвання (вирізання); в – гнуття;
 г – витягування без потоншення стінок; д – витягування з потоншенням стінок

Вирубвання виконують за допомогою пуансона 2 (рис. 12.1, б) і матриці 1, які працюють як ножі замкнутої форми. Пуансон вдавлює відокремлювану частину заготовки в отвір матриці. Для чистого зрізання потрібно, щоб робочі кромки пуансона і матриці були гострими, а зазор (рис. 12.2) між пуансоном і отвором матриці (на один бік) дорівнював: для сталі – 6 – 20 %, для міді і

латуні – 5 – 15 % від товщини заготовки (для твердих матеріалів і товстих листів потрібний більший зазор). При нормальному зазорі бічні стінки виробу виходять рівними, а при недостатньому або надмірному можливі вирви.

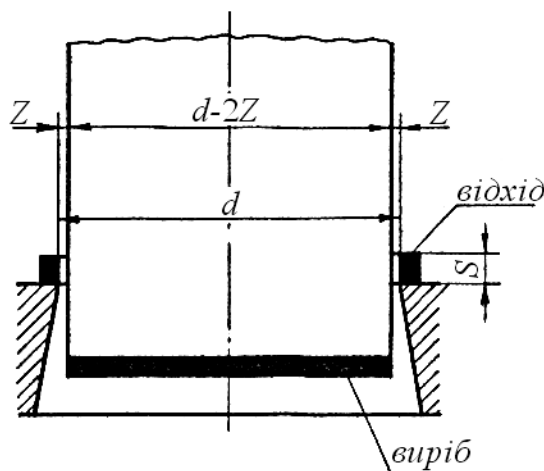


Рисунок 6.2 – Схема для вирубування і пробивання

Зусилля, яке потрібне для ножиць з паралельними кромками ножів, а також для вирізування і пробивання на пресі, визначають за формулою:

$$P = KLS\sigma_{зр},$$

де P – зусилля, Н;

K – коефіцієнт, що враховує затуплення різальних кромek ножів, або ріжучих деталей штампа ($K = 1,0-1,3$); L – периметр зрізу, м;

S – товщина листа, м;

$\sigma_{зр}$ – границя міцності при зрізі, Н/м^2 , $\sigma_{зр} \approx 0,7-0,8\sigma_B$, де σ_B границя міцності матеріалу, який вирізається.

Гнуття – це формозмінювальна операція, що змінює напрямки осі деталі. При вигинанні волокна металу, розміщені в середині кута, стискаються, а розміщені з зовнішнього боку кута – розтягуються. Враховуючи пружинення матеріалу заготовки, штамп виготовляють з таким розрахунком, щоб після розпруження деталь мала розміри, задані кресленням. Згинальні роботи бувають різні, тому створено багато конструкцій штампів: штампи прості, пружинні роликові, клинові та ін. На рис. 12.1, в показано вигинання штаби під кутом 90° . Штабу кладуть на матрицю 1; при натисканні пуансоном 2 вона набирає форми зігнутої пластинки 3.

Витягування – це процес виготовлення порожнистого виробу з плоскої листової заготовки за допомогою штампа. Витягуванням роблять кузови автомобі-

лів, каструлі, гільзи та ін. Вихідна заготовка не має мати зайвого матеріалу, тому її попередньо вирубують з листа у вигляді кружка або іншої форми. При витягуванні заготовку кладуть на матрицю (рис. 12.1, з) і затискають притискачем 1. Притискач перешкоджає підніманню країв заготовки і утворенню складок. При опусканні пуансона 3 заготовка прошовується через матрицю 2, перетворюючись у порожнистий ковпак 4.

При витягуванні без потоншення стінок зазор між пуансоном і матрицею має бути таким, щоб у нього можна було втягнути заготовку. Отже, зазор не має бути меншим за товщину матеріалу S , зазвичай приймають

$$Z = (1,2-1,3)S.$$

Витягування з потоншенням стінок (редукування) є додатковою операцією для потоншення стінок витягнутої деталі. Цього досягають тим, що зазор між пуансоном і матрицею є меншим за товщину стінки вихідної заготовки, а робочий отвір матриці у верхній частині роблять конічним (рис. 6.1, д). За рахунок потоншення бічних стінок з розміру S_0 до S_1 збільшується висота деталі. Допустиме зменшення товщини за один перехід дорівнює 40 – 60 %.

Неглибокі деталі простої форми витягують за один перехід, а деталі глибокі та складної форми – за декілька переходів. При багаторазовому витягуванні діаметр деталі при кожному переході зменшується, а глибина збільшується.

Відношення внутрішнього діаметра виготовленої деталі до діаметра заготовки називається *коефіцієнтом витягування заготовки*:

$$m = \frac{d_1}{D},$$

Для другого і подальших переходів:

$$m_2 = \frac{d_2}{d_1}; m_3 = \frac{d_3}{d_2}; \dots$$

Якщо потрібно виготовити порожнистий виріб діаметром d і висотою h із заготовки діаметром D , то необхідне число операцій витяжки (кількість переходів) знаходиться за виразом:

$$n = 1 + \frac{\lg d - \lg(m_1 D)}{\lg m_2}.$$

Значення коефіцієнтів витягування, залежно від пластичності матеріалу, відносної товщини заготовки і від способу витягування (з притисканням чи без притискання) для першої і наступної операцій наведено у таблицях 12.1 та 12.2.

Основним критерієм способу витягування є відносна товщина:

$$\Delta = \frac{S}{D} (\times 100\%).$$

Для першої операції при $\Delta < 1,5$ слід застосовувати витягування з притисканням; при $\Delta > 2$ – без притискання; при $\Delta = 1,5 \dots 2$ – можливими є обидва варіанти.

Таблиця 13.1 – Коефіцієнти витяжки циліндричних деталей без фланця із притисканням

$\Delta, \%$	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5
2,0...1,5	0,46...0,50	0,70...0,72	0,72...0,74	0,74...0,76	0,76...0,78
1,5...1,0	0,50...0,53	0,72...0,74	0,74...0,76	0,76...0,78	0,78...0,80
1,0...0,5	0,53...0,56	0,74...0,76	0,76...0,78	0,78...0,80	0,80...0,82
0,5...0,2	0,56...0,58	0,76...0,78	0,78...0,80	0,80...0,82	0,82...0,84
0,2...0,06	0,58...0,60	0,78...0,80	0,80...0,82	0,82...0,84	0,84...0,86

Таблиця 13.2 – Коефіцієнти витяжки циліндричних деталей без фланця

$\Delta, \%$	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5
1,5	0,65	0,80	0,84	0,87	0,90
2,0	0,60	0,75	0,80	0,84	0,87
2,5	0,55	0,75	0,80	0,84	0,87
3,0	0,53	0,75	0,80	0,84	0,87
понад 3,0	0,50	0,70	0,75	0,78	0,82

Обтискання – це місцеве зменшення поперечного перерізу порожнистого виробу, виготовленого витягуванням. У цій операції робочим інструментом є матриця 1 (рис. 12.3, а), у яку заштовхується заготовка виробу 2, що обтискується. Величина обтискання за один перехід становить 20 – 30 %.

Формування застосовують для того, щоб виріб набрав остаточної форми (профілю) і щоб надати попередньо вирубаному або витягнутому виробу точніших розмірів. Прикладом формування є утворення на виробах різних опуклостей, западин, орнаментів, ребер жорсткості та ін.

На рис. 12.3, б показано накладну пластину до замка, виступи якої виготовлені в рельєфному штампі.

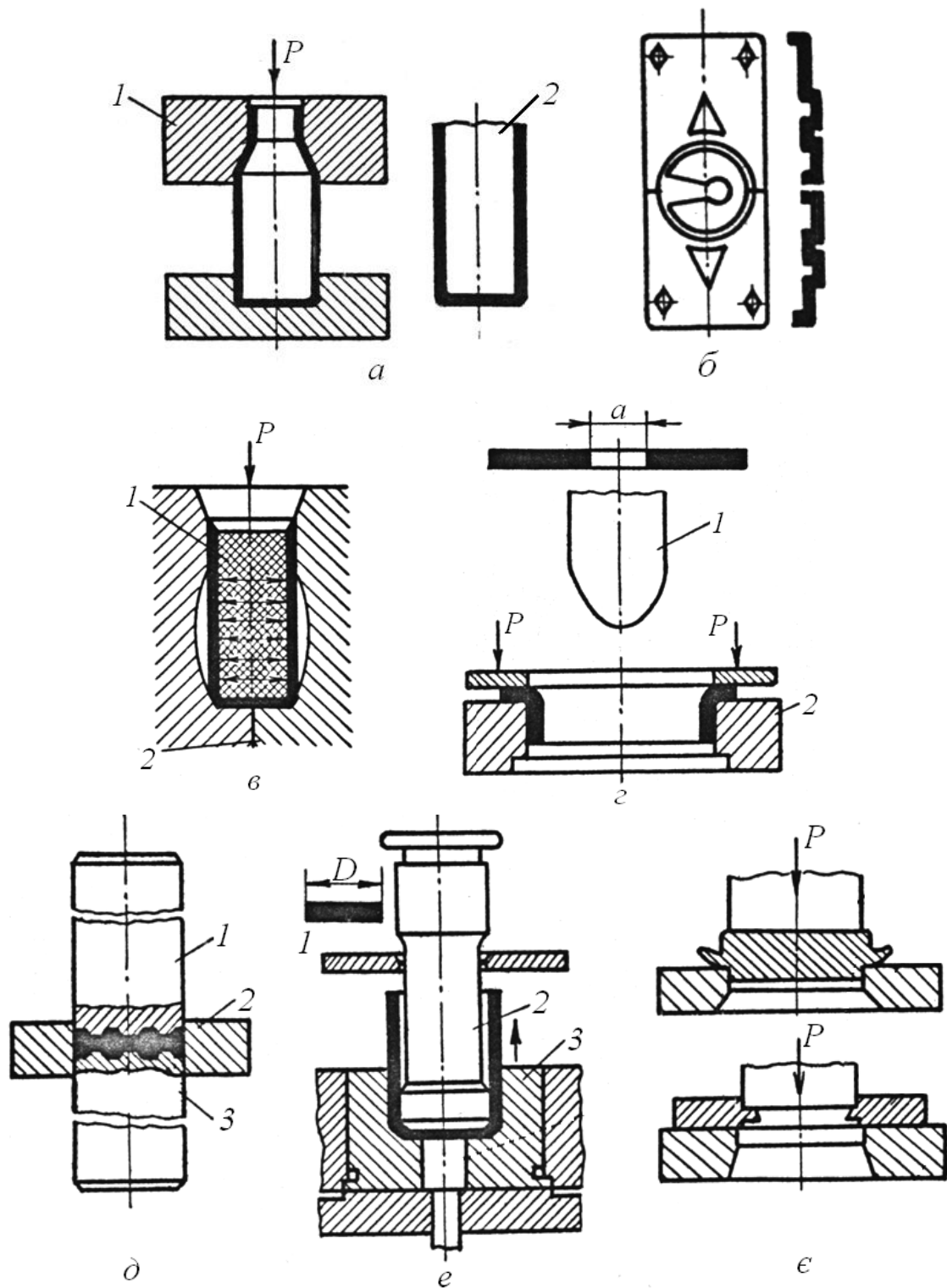


Рисунок 12.3 – Схеми основних видів технологічних операцій листового штампування:

- a* – обтискання; *б* – формування; *в* – випучування;
г – розбортовування; *д* – листове карбування;
е – холодне ударне видавлювання; *є* – зачищення

Випучування – це формування з середини, коли утворення опуклостей і орнаментів досягають дією тиском із середини гуми, рідини або сипких матері-

алів. На рис. 6.3, в показано випучування попередньо виготовленого виробу за допомогою гумового впадника 1, на який зверху тисне пуансон. Матриця для випучування має роз'єм 2, що дає змогу витягнути з неї деталь.

Розбортовування – полягає в утворенні борта в заготовці з попередньо пробитим отвором. З метою запобігання утворенню тріщин при розбортовуванні приймають таке збільшення діаметра головки.

$$K_{розб} = \frac{d_{дет}}{d_{отв}} = 1,4 - 1,6,$$

де $K_{розб}$ – коефіцієнт розбортовування;

$d_{дет}$ – діаметр отвору деталі після розбортовування;

$d_{отв}$ – діаметр отвору заготовки до розбортовування.

На рис. 12.3, з зображено розбортовування отвору, а в плоскій заготовці за допомогою пуансона 1 і матриці 2.

Листове карбування застосовують для доведення товщини плоских деталей до потрібного розміру або утворення на поверхні деталей рельєфного рисунка написів та ін. (монети, ордени, значки, емблеми), а також художніх зображень на виробах і предметах широкого вжитку. На рис. 12.3, д показано карбування медалі. Заготовку кладуть на нижній пуансон 3, який охоплюється кільцем 2. У середину кільця входить верхній пуансон 1. Обидва пуансони, що мають гравіювання, обтискають заготовку (карбують). Потім обидва пуансони, піднімаючись вгору, виводять виріб із кільця. Питомий тиск при карбуванні становить 800 – 3000 МН/м².

Холодним ударним видавлюванням виготовляють порожнисті деталі різної форми із кольорових металів і сплавів (свинцю, олова, алюмінію, міді, цинку, дуралюмінію, латуні). Можливість обробки сталевих заготовок обмежена стійкістю інструмента. Суть процесу полягає в тому, щоб металева заготовка у вигляді товстого кружка 1 (рис. 12.3, е), поміщена у порожнину матриці 3, тиском пуансона 2 видавлюється в зазор між пуансоном і матрицею, набирають потрібної форми.

Точні деталі, які мають мати чисту та гладеньку поверхню зрізу по зовнішньому або внутрішньому контуру, зачищають. *Зачищення* полягає у зрізуванні припуску спеціальним зачисним штампом (рис. 12.3, є). Припуск на одну сторону для матеріалу завтовшки 0,5 – 2,5 мм дають 0,1 – 0,5 мм, при внутрішньому зачищенні припуск дають 0,1 – 0,25 мм.

Обладнання для листового штампування

Для листового штампування використовують кривошипні, кривошипно-ексцентрикові, фрикційно-гвинтові та гідравлічні преси. Широко застосовують кривошипні та кривошипно-ексцентрикові преси. Вони дають можливість отримувати деталі складної та асиметричної форми за рахунок нецентрального навантаження.

Гідравлічні преси володіють найкращою характеристикою виконання листового штампування, оскільки дають змогу формувати листовий метал з постійною швидкістю. Ці преси допускають навантаження, що небезпечні для кривошипних пресів.

Послідовність виконання роботи

1. Накреслити ескіз одержаної штампованої деталі.

2. Розрахувати діаметр заготовки за розмірами штампованої деталі, виходячи з умов, що поверхні деталі і заготовки рівні за формулою:

$$D = \sqrt{d^2 + 4d(h + \Delta h)},$$

де D – діаметр заготовки, мм;

d – зовнішній діаметр, мм;

h – висота вирубування, мм;

Δh – припуск на обрізку, мм.

Таблиця 13.3 – Припуск на обрізку заготовки

h , мм	Величина припуску Δh при відносній висоті деталі i			
	0,5...0,8	0,8...1,6	1,6...2,5	2,5...4
10	1,0	1,2	1,5	2,0
20	1,2	1,6	2,0	2,5
50	2,0	2,5	3,3	4,0
100	3,0	3,8	5,0	6,0
150	4,0	5,0	6,5	8,0
200	5,0	6,3	8,0	10,0
250	6,0	7,5	9,0	11,0
300	7,0	8,5	10,0	12,0

Припуск на обрізку, залежно від висоти виробу та відносної висоти деталі $i = \frac{h}{d}$, задається у таблиці 13.3. Штампування ведуть без потоншення стінки.

Товщину заготовки беруть рівною товщині стінки.

3. Визначити основні розміри вирубного штампу:

Розрахований діаметр D є номінальним розміром пуансона. Між пуансоном і матрицею встановлюють зазор у межах 5 – 8 % товщини штампованого металу.

4. Підрахувати зусилля, необхідне для вирубання заготовки за формулою:

$$P = KLS\sigma_{зр},$$

де P – зусилля, Н;

K – коефіцієнт, що враховує затуплення різальних кромek ножів, або різальних деталей штампа ($K = 1,0 - 1,3$);

L – периметр зрізу, м;

S – товщина листа, м;

$\sigma_{зр}$ – границя міцності при зрізі, Н/м², $\sigma_{зр} \approx 0,7 - 0,8\sigma_B$, де σ_B границя міцності матеріалу, який вирізається.

5. Визначити кількість операцій, необхідних для витягування виробу заданих розмірів:

$$n = 1 + \frac{\lg d - \lg(m_1 D)}{\lg m_2},$$

враховуючи відносну товщину заготовки $\Delta = \frac{S}{D} (\times 100\%)$ і користуючись таблицями 13.1 та 13.2. При виборі кількості операцій необхідно керуватися тим, щоб при кожній з них не виникали напруження, котрі викликають руйнування металу. Необхідна ступінь деформації заготовки задається коефіцієнтом витягування m .

6. Розрахувати діаметри пуансонів для кожної операції згідно з формулами:

$$d_1 = m \cdot D; \dots; d_n = m_n \cdot d_{n-1}.$$

Розраховуючи діаметр матриці d_{mn} , необхідно врахувати, що потрібно отримати заданий внутрішній діаметр. Тому до діаметра пуансона d_n додають величину зазору між пуансоном і матрицею.

7. Зазор при витягуванні без потоншення стінок визначають за формулою:

$$Z = S_{max} + C \cdot S,$$

де S_{max} – максимальна товщина матеріалу (з врахуванням припуску на прокат – 0,1 мм);

S – номінальна товщина матеріалу;

C – коефіцієнт, для першої операції $C = 0,3$; для другої – 0,1.

8. Радіус заокруглення матриць r_m вибирають залежно від товщини матеріалу та розмірів виробу у межах 4 – 6 мм.

Радіус заокруглення пуансона r вибирають у межах $(0,7-1,0) r_m$.

9. Визначити зусилля преса, яке необхідне для першої операції витягування

$$P_{np} = P + Q$$

де P – зусилля витягування, МПа;

Q – зусилля притискання, МПа.

Зусилля витягування визначають згідно з формулою:

$$P = \pi \cdot d_1 \cdot S \cdot \sigma_a \cdot n,$$

де d_1 – пуансона при першій операції витягування, мм;

S – товщина металу, що витягується, мм;

σ_B – границя міцності металу, МПа;

n – коефіцієнт поправки, який залежить від m .

Зусилля притискання визначають за формулою:

$$Q_{\text{пр}} = F_n \cdot g,$$

де F_n – площа заготовки, що є під притискачем, мм²;

g – питомий тиск притискача, МПа. Для м'якої сталі товщиною $S < 0,5$ мм він становить 2...3 Н/мм², товщиною $S > 0,5$ мм – 1,5...2,5 Н/мм²; для деформованих кольорових сплавів можна приймати рівним 1...2 Н/мм².

10. Накреслити ескіз схеми штампу для першого витягування із зазначенням зусиль на витягування та притискання.

11. Накреслити ескіз схеми штампу для другого та наступних витягувань (за умови їх необхідності).

Питання для самоконтролю

1. Що таке листове штампування? За яких умов воно використовується?
2. Які основні види листового штампування ви знаєте?
3. Коротко охарактеризуйте відокремлювальні операції.
4. Коротко охарактеризуйте формозмінювальні операції.
5. Яке обладнання використовують для листового штампування.

Література

1. Атаманюк В. В. Технологія конструкційних матеріалів / Атаманюк В. В. – К.: Кондор, 2009. – 528 с.
2. Технологія матеріалів, зміцнення та виготовлення деталей машин / [М. Сиротюк, М. Чернець, М. Опеляк та Ін.]. – Дрогобич: РВВ Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка, 2009. – 263 с.
3. Алаи С. И. Практикум по машиноведению: [учебн. пособие для студентов пед. институтов]. / Алаи С. И., Ежевская Р. А., Антоненко У. И.; под общ. ред. Ежевской Р. А. – М.: Просвещение, 1985. – 304 с.
4. Технологія конструкційних матеріалів / [М. А. Сологуб, І. О. Рожнецький, О. І. Некоз та ін.]; за ред. М. А. Сологуба – К.: Вища школа, 2002. – 374 с.
5. Нікіфоров В. М. Технологія металів і конструкційні матеріали / Нікіфоров В. М. – К.: Вища школа. Головне видавництво, 1984. – 344 с.
6. Справочник металлиста. В 5-ти томах. Т. 3 / [Е. Д. Баклунов, А. К. Белопухов, М. И. Жебин и др.]; под ред. А. Н. Малова. – [изд. 3-е перераб.]. – М.: Машиностроение, 1977. – 748 с.
7. Технологія конструкційних матеріалів: лабораторний практикум / Попович В. Д., Яким Р. С., Сиротюк А. М.; під ред. Р. С. Якіма. – Дрогобич: Редакційно-видавничий відділ Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка, 2015. – С. 32 – 38.

Кафедра машинознавства і матеріалознавства.

Лабораторія матеріалознавства і ТКМ

ЗВІТ

про виконану лабораторну роботу № 12

Тема. ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ
ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ ЛИСТОВИМ ШТАМПУВАННЯМ

Мета роботи: ознайомитися з основними операціями листового штампування, навчитися проводити розрахунки для визначення параметрів листового штампування і розмірів заготовок та штампів.

Обладнання інструменти, матеріали: ручний гідравлічний прес ПГПР, вирубні штампи, лінійка, штангенциркуль, штампові вироби, креслення деталей.

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКІВ

1. Виконуємо ескіз штампованої деталі.

Ескіз штампованої деталі

2. Розраховуємо діаметр заготовки за розмірами штампованої деталі:

$$D = \sqrt{d^2 + 4d(h + \Delta h)} =$$

3. Визначаємо розміри пуансона і отвору матриці вирубного штамп:

4. Підраховуємо зусилля, необхідне для вирубування:

$$P = KLS\sigma_{zp} =$$

$$\text{Периметр зрізу } L = \pi D_n =$$

5. Визначаємо відносну товщину заготовки:

$$\Delta = \frac{S}{D} =$$

Визначаємо кількість необхідних витяжних переходів:

$$n = 1 + \frac{\lg d - \lg(m_1 D)}{\lg m_2} =$$

6. Встановлюємо діаметр пуансона штампа для операції витягування:

$$d_1 = md =$$

7. Визначаємо зазор при витягуванні:

$$Z = S_{\max} + C \cdot S =$$

Встановлюємо діаметр отвору матриці штампа для операції витягування:

$$d_i = d_r + 2Z =$$

8. Назначаємо радіус заокруглення матриці і пуансона:

9. Визначаємо зусилля витягування преса:

$$P = \pi \cdot d_1 \cdot S \cdot \sigma_a \cdot n =$$

Визначаємо зусилля притискання преса:

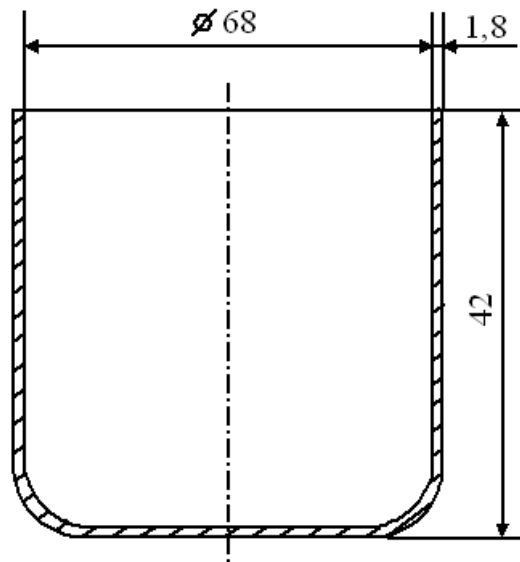
$$Q_{i\delta} = F_n \cdot g =,$$

$$\text{де площа заготовки під притискачем } F_n = \frac{\pi(D - d_i)^2}{4} =$$

Встановлюємо сумарне зусилля преса для операції витягування:

$$P_{np} = P + Q =$$

10. Виконуємо ескіз штампів для витягування із зазначенням зусиль на витягування та притискання:



Назва деталі: Ковпак
Матеріал: Сплав АМГ-2

2. Розраховуємо діаметр заготовки за розмірами штампованої деталі:

$$D = \sqrt{d^2 + 4d(h + \Delta h)} = \sqrt{71,6^2 + 4 \cdot 71,6(42 + 2)} = 133,1 \text{ (мм)}$$

3. Визначаємо основні розміри вирубного штампу:

Номінальний розмір пуансона $D_n = 133,1$ мм. Номінальний розмір отвору матриці $D_m = D + 1,1S = 133,1 + 1,1 \cdot 1,8 = 135,1$ (мм).

4. Підраховуємо зусилля, необхідне для вирубання:

$$P = KLS\sigma_{зр} = 1,1 \cdot 418,1 \cdot 1,8 \cdot 152 = 125831 \text{ (Н)} \approx 125,8 \text{ (кН)}$$

де $L = \pi D_n = 3,14 \cdot 133,1 = 418,1$ (мм); границя міцності при зрізі для сплаву АМГ-2 $\sigma_{зр} = 0,8\sigma_B = 0,8 \cdot 190 = 152$ (МПа) ($\sigma_B = 190$ МПа – границя міцності сплаву АМГ-2).

5. Визначаємо відносну товщину заготовки:

$$\Delta = \frac{S}{D} = \frac{1,8}{133,1} = 0,014 = 1,4\%$$

Визначаємо кількість необхідних витяжних переходів для $m_1 = 0,5$ і $m_2 = 0,72$:

$$n = 1 + \frac{\lg d - \lg(m_1 D)}{\lg m_2} = 1 + \frac{\lg 71,6 - \lg(0,5 \cdot 133,1)}{\lg 0,72} = 0,78 \approx 1.$$

Отже, для витягування достатньо однієї операції.

6. Діаметр пуансона штампа для операції витягування $d_i = d = 68$ мм.

Зазор при витягуванні:

$$Z = S_{\max} + C \cdot S = 1,9 + 0,3 \cdot 1,8 = 2,4 \text{ (мм)}$$

Діаметр отвору матриці штампа для операції витягування:

$$d_i = d_i + 2Z = 68 + 2 \cdot 2,4 = 72,8 \text{ (мм)}.$$

7. Радіус заокруглення матриці $r_m = 5$ мм. Радіус заокруглення пуансона $r_n = 0,8 r_m = 4$ мм.

8. Визначаємо зусилля витягування преса:

$$P_{\delta} = \pi \cdot d_1 \cdot S \cdot \sigma_{\delta} \cdot n = 3,14 \cdot 68 \cdot 1,8 \cdot 152 \cdot 1,05 = 61371 \text{ (Н)} \approx 61,4 \text{ (кН)}.$$

Визначаємо зусилля притискання преса:

$$Q_{i\delta} = F_n \cdot g = 3329 \cdot 1,5 = 4994 \text{ (Н)} \approx 5 \text{ (кН)}.$$

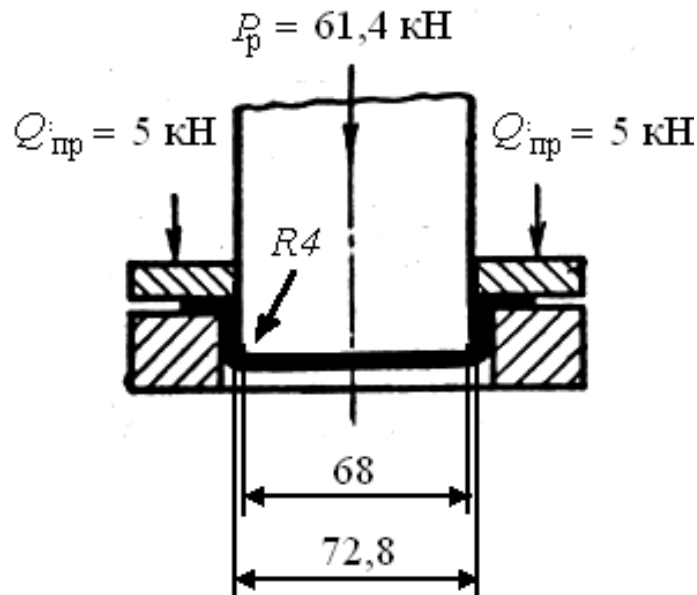
де площа заготовки під притискачем:

$$F_n = \frac{\pi(D - d_i)^2}{4} = \frac{3,14 \cdot (133,1 - 68)^2}{4} = 3329 \text{ (мм}^2\text{)}.$$

Сумарне зусилля преса для операції витягування:

$$P = P_{\delta} + Q_{i\delta} = 61,4 + 5 = 66,4 \text{ (кН)}.$$

9. Виконуємо ескіз схему штампу для витягування із зазначенням зусиль на витягування та притискання:



Ескіз штампа на витягування.

Тема. ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ
КУВАННЯ І РОЗРОБКА КРЕСЛЕНИКА КОВАНКИ

Мета роботи: ознайомитися з методикою розробки креслення кованки при гарячому об'ємному штампуванні за кресленням деталі.

Обладнання інструменти, матеріали: кресленник деталі, плакати, моделі кованок, стандарти (ГОСТ 7505-74), інструкція до лабораторної роботи.

Теоретичні відомості

Гаряче об'ємне штампування (ГОШ) заготовок і деталей машин є однією із основних різновидностей обробки металів тиском (ОМТ). Ощадливі витрати металу при виготовленні поковок закладено в самій ідеї пластичного формозмінювання обробкою тиском, яка полягає у перетворенні заготовки простої форми у поковку складнішої форми того самого об'єму.

Можливість застосування великих швидкостей деформування і невелика кількість відносно нескладних технологічних операцій зумовлюють малу тривалість робочого циклу і високу продуктивність ковальсько-штампувального виробництва. Крім того, штамповані вироби (кованки) відрізняються високими механічними й експлуатаційними властивостями. Тому в металообробній промисловості ковальсько-штампувальне виробництво є одним із основних способів виготовлення заготовок і деталей машин.

Суть і способи гарячого об'ємного штампування

Гаряче об'ємне штампування полягає у формозмінюванні заготовки під дією зовнішніх сил. Штамп є спеціальним інструментом із порожниною, яка називається рівчаком (рис. 13.1). У порожнину нижньої частини штампа встановлюють нагріту вихідну заготовку, яка деформується при русі верхнього штампа вниз. Переміщення металу заготовки в рівчаку штампа натрапляє на опір стінки і сили тертя, в результаті чого метал заповнює рівчак (порожнину) штампа. Надлишок металу витісняється у роз'єм між штампами, і утворюється задирка. Виготовлена заготовка називається *штампованою кованкою*, вона є точною копією рівчака (порожнини) штампа.

Залежно від типу штампа, розрізняють штампування у відкритих і закритих штампах. Штампування у відкритих штампах (рис. 13.1, *a*) характеризуються змінним зазором між рухомою і нерухомою частинами штампа. У нього витікає облой (задирка), який закриває вихід із порожнини штампа і змушує метал повністю заповнити порожнину. У кінцевій стадії деформуванням в облой витискається надлишок металу, який міститься в порожнині, що дає можливість не висувати особливо високих вимог до точності маси заготовки. Облой потім обрізується у спеціальних штампах. Штампуванням у відкритих штампах виготовляють поковки всіх типів. Штампування у закритих штампах (рис. 13.1, *б, в*) характеризується тим, що порожнина штампа у процесі деформування залишається закритою. Зазор між рухомою і нерухомою частинами штампа при цьому постійний і невеликий, оскільки утворення облой в ньому не передбачено. Будова такого штампа залежить від типу машини, на якій штамнують. Наприклад, нижня половина штампа може мати порожнину, а верхня виступ (на пресах) або навпаки (молотах). Закритий штамп може мати не одну, а дві взаємно перпендикулярні площини роз'єму, тобто складатися із трьох частин (рис. 13.1, *в*).

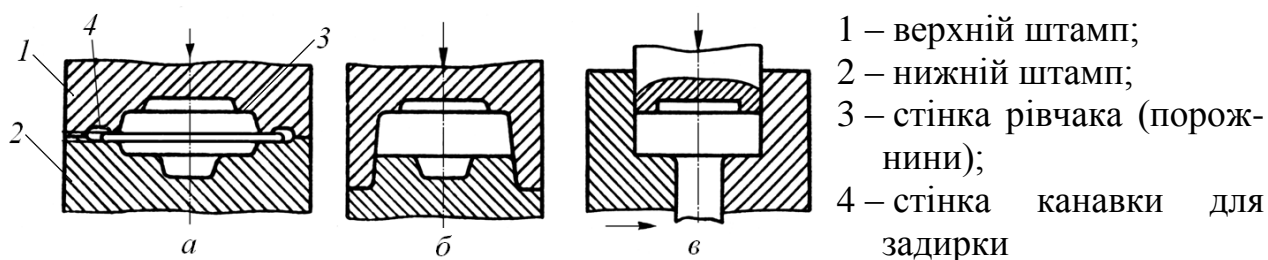


Рисунок 13.1 – Схема штампування:
a – у відкритих; *б* і *в* – у закритих штампах

При штампуванні в закритих штампах необхідно строго дотримуватися рівності об'ємів заготовки і поковки, бо інакше при нестачі металу не заповняться кути порожнини штампа, а при надлишку розмір поковки за висотою буде більшим від необхідного. Значить, у цьому випадку процес виготовлення поковки ускладнюється, оскільки процес розтікання заготовок має забезпечити високу точність.

Основна перевага штампування в закритих штампах – це зменшення витрат металу, оскільки немає затрат металу на облой. Поковки, виготовлені в закритих штампах, мають більш сприятливу макроструктуру, бо волокна майже точно йдуть за контуром поковки і не перерізаються у місцях виходу металу в облой. При штампуванні в закритих штампах метал деформується в умовах

усестороннього нерівномірного стиску при значно більших напруженнях стиску, ніж у відкритих штампах. Це дає змогу одержувати високі ступені деформації і штампувати малопластичні сплави.

Порівняно з вільним куванням, об'ємне штампування має ряд переваг. По-перше, це більша продуктивність (десятки і сотні поковок за годину). Гарячим об'ємним штампуванням можна одержувати поковки складної конфігурації без напусків, що при куванні є неможливим. Допуски на штамповану поковку у 3 – 4 рази менші за допуски на ковану, внаслідок чого значно скорочується об'єм наступної обробки різанням. Проте штамп є дорогим інструментом, і придатний тільки для виготовлення одного типу поковок. У зв'язку з цим, гаряче об'ємне штампування економічно вигідне тільки при виготовленні великої кількості однакових поковок (серійне та масове виробництво).

Розробка кресленика сталевих штампованих кованок у відкритих штампах.

Кресленик кованки розробляється на основі кресленика деталі з нанесенням припусків, напусків і штампувальних ухилів. При цьому обов'язково дотримуються вимог чинних стандартів.

Стандарт регламентує (вказує) допуски на розміри й припуски на механічне оброблення, найбільші ковальські напуски та радіуси заокруглень зовнішніх і внутрішніх кутів кованок. Стандарт передбачає категорії кованок, залежно від призначення і умов роботи деталі з поділом на два класи точності:

I клас – кованки підвищеної точності;

II клас – кованки нормальної точності.

Для визначення класу точності, величин припусків, допусків і напусків стандарт передбачає такі параметри:

1. Визначення групи сталі кованки. До групи М1 належать вуглецева або легована сталі, які містять до 0,45 % С при вмісті до 2 % легуючих елементів. До групи М2 належать більш леговані сталі.

2. Визначення класу точності кованки. Клас точності кованки встановлюють з урахуванням вимог до точності їхніх розмірів, умов і характеру виробництва (серійне, масове).

3. Визначення ступеня складності кованки (від С1 до С4). Ступінь складності кованки визначається відношенням маси (об'єму) кованки G_n до маси (об'єму) геометричної фігури G_ϕ , у яку вписується кованка (фігура може бути

циліндром або паралелепіпедом, для розрахунку беруть ту із фігур, об'єм якої менший):

$$C = G_n / G_\phi.$$

Ступінь складності С1 – від понад 0,63 до 1,00; С2 – від понад 0,32 до 0,63; С3 – від понад 0,16 до 0,32; С1 – до 0,16. Для кованок, що виготовляються на молотах і пресах, крім складності по формі, додатковим критерієм є розмір виступів: h – висота, b – основа (рис. 13.2)

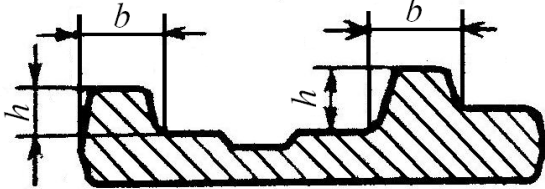


Рисунок 13.2 – Визначення ступеня складності кованок за розмірами виступів

Ступінь складності С1 – $h \leq 0,3b$; С2 – $h \leq b$; С3 – $h \leq 1,5b$; $h \geq 1,5b$.

4. Визначення конфігурації поверхні роз'єму штампа (П – плоска, И – зігнута).

Припуск – це передбачене перевищення розмірів кованки проти номінальних розмірів деталі, який забезпечує після оброблення різанням задані креслеником розміри деталі і чистоту її поверхні. Найбільші припуски на механічне оброблення, які призначаються на одну сторону за номінальними розмірами, регламентуються масою кованки (до 400 кг), ступенем складності їх виготовлення, групою сталі, видом обладнання штамповки, шорсткістю оброблюваної поверхні деталі, та вибираються згідно зі стандартам на кованки і шорсткістю поверхні. Припуски на механічне оброблення позначають, в основному, на поверхнях деталі, що підлягають з'єднанню з іншими.

Для визначення припусків, допусків і напусків за креслеником деталі виконують попередній розрахунок маси кованки з урахуванням 0,5 додатного відхилення для зовнішніх розмірів і 0,5 від'ємного відхилення для розмірів порожнин і отворів. Для того, щоб врахувати припуски та напуски, масу деталі збільшують у 1,25 раза:

$$G_n = 1,25G_\phi,$$

де G_n – маса кованки; G_ϕ – маса деталі.

Розрахункова маса кованки не містить маси тієї її частини, яка не піддається деформації, і маси облою.

Напуск – це збільшення припуску з метою спрощення конфігурації кованки у зв'язку з неможливістю або нерентабельністю виготовлення штампуванням.

До ковальських напусків належать, внутрішні радіуси заокруглень і перепонки отворів, штампувальні ухили (табл. 13.1), що полегшують виймання кованки із штампа і рівчака, їх призначають на всі поверхні деталі, які розміщені паралельно до руху інструменту. Напуски призводять до збільшення маси кованки, а, значить, і до збільшення витрат металу і витрат на оброблення різанням.

Для полегшення заповнення порожнини штампа і виймання із неї поковки бокові поверхні порожнини мають мати *штампувальні ухили*. Їх призначають поверх припуску, вони підвищують відходи металу при механічному обробленні й збільшують масу кованки. Ухил залежить від глибини і складності порожнини, обладнання, що застосовується для штампування, і перебуває для сталевих кованок у межах 3 – 10°. Внаслідок температурної усадки для зовнішніх поверхонь кованки штампувальні ухили приймають меншими, ніж для внутрішніх.

Таблиця 13.1 – Штампувальні ухили

Штампувальне обладнання	Штампувальні ухили, градуси	
	зовнішні	внутрішні
Молоти	7	10
Преси з виштовхувачами	5	7
Горизонтально-кувальні машини	5	7

Виготовлення наскрізних отворів або заглиблень у кованках, які виготовляють на пресах і молотах, є обов'язковим у тих випадках, коли осі отворів або заглиблень співпадають з напрямком руху повзуна преса або баби молота, а розміри або діаметри отворів і заглиблень більші або дорівнюють висоті кованки, але не менші за 30 мм. Заглиблення виконуються загальною глибиною, але не більшою, ніж 0,8 їх діаметра.

Усі поверхні кованки, які перетинаються, спрягаються радіусами. Це необхідно для кращого заповнення порожнини штампа і запобігання його завчасному зношуванню і руйнуванню. Внутрішні радіуси заокруглення кованок і відповідні їм радіуси виступів рівчака штампа мають бути у 2–3 рази більші від радіусів заокруглень зовнішніх кутів кованки. Найменші радіуси заокруглень зовнішніх кутів кованок наведені в табл. 13.2.

Таблиця 13.2 – Найменші радіуси зовнішніх заокруглень, мм

Маса кованки, кг	Глибина порожнини рівчака штампа, мм			
	до 10	від 10 до 25	від 25 до 50	від 50
до 1,0	1,0	1,5	2,0	3,0
від 1,0 до 6,0	1,5	2,0	2,5	3,5
від 6,0 до 16,0	2,0	2,5	3,0	4,0
від 16,0 до 40,0	2,5	3,0	4,0	5,0
від 40,0 до 100,0	3,0	4,0	5,0	7,0
від 100,0	4,0	5,0	8,0	8,0

При виготовленні штамповки у відкритому штампі потрібно правильно вибрати площину роз'єму, тобто поверхню, по якій з'єднуються між собою верхня і нижня частина штампа. Площина роз'єму має бути вибрана так, щоб поковка вільно виймалась із штампа. З метою полегшення процесу заповнення металом порожнини штампа бажано вибирати площину роз'єму таким чином, щоб порожнини штампі мали найменшу глибину. При штампіуванні можливий зсув однієї половини штампа відносно іншої. Для того, щоб такий зсув можна було легко контролювати, площина роз'єму має перетинати вертикальну поверхню кованки.

Допуск – це відхилення розміру кованки від номінального, яке зумовлене неточністю виготовлення, недоштамповуванням, зношуванням рівчака штампа і т. д. Величина допуску залежить від допуску маси кованки, ступеня її складності, групи сталі і розмірів поверхонь. Допуски на штампіовані кованки регламентуються ГОСТ 7505-74. Допуски по довжині і ширині кованки належать до розмірів тих її поверхонь, які розміщені з однієї сторони поверхні роз'єму штампа, тобто в одній його частині, і охоплюють всі відхилення.

Допуски на внутрішні розміри кованки приймають з протисненим значенням, що пов'язано зі зменшенням випусків у рівчаку штампа в результаті їх зношування.

Величина зміщення кованок по поверхні роз'єму штампа не має перевищувати вказані у ГОСТ 7505-74 значення. Допустиму величину задирки, яка залишається після обрізування облому на кованках, також визначають за цим же стандартом. Допуски на зігнутість, неплоскостність і непрямолінійність (для плос-

ких поверхонь), а також на радіальне биття (для циліндричних поверхонь) призначають відповідно до табл. 13.3.

Кресленик кованки розробляють за креслеником деталі, на якому проставлені розміри, позначені місця оброблення з позначенням параметрів шорсткості, а також базові поверхні для механічного оброблення. Крім розмірів з допусками, на кресленику кованки вказують: назву кованки; ступінь складності виготовлення; клас точності; марку сталі; спосіб нагрівання; масу кованки; величину торцевої задирки; величину незазначених на кресленику радіусів заокруглень; допустиме зміщення штампів; точність розмірів без позначення допусків; твердість металу кованки; масштаб зображення.

При оформленні креслення кованки форму деталі креслять всередині контуру кованки тонкими лініями. Це потрібно для того, щоб наочно представити об'єм металу, який піде в стружку.

Таблиця 13.3 – Допуски (мм) на зігнутість, неплоскостність, непрямолінійність і радіальне биття

Найбільший розмір кованки, мм	Клас точності кованки	
	I	II
до 60	0,25	0,4
від 60 до 100	0,4	0,6
від 100 до 160	0,5	0,8
від 160 до 250	0,6	1,0
від 250 до 360	0,8	1,2
від 360 до 500	1,0	1,5
від 500 до 630	1,5	2,0
від 630 до 800	1,8	2,5
від 800 до 1000	2,0	3,0

Послідовність виконання роботи

1. Уважно вивчити креслення деталі і звернути увагу на особливості її геометричної форми, матеріал, з якого вона виготовлена, обміркувати розміщення лінії роз'єму штампів. Визначити тип штампувального верстата.
2. Визначити ступінь складності кованки.
3. Визначити групу сталі.
4. Встановити точність виготовлення кованок.

5. За геометричними розмірами визначити об'єм деталі, а потім масу деталі.
6. Визначити масу кованки (попередню).
7. Вибрати радіуси заокруглень і штампувальні ухили, використовуючи табл. 13.1 та 13.2.
8. Призначити значення припусків на розміри кованки відповідно до вимог ГОСТ 7505-74. Після виконання креслення кованки правильність цього вибору здійснити перевірку.
9. Призначити значення допусків на розміри кованки відповідно до вимог ГОСТ 7505-74 та використовуючи табл. 13.3.
10. Виконати креслення кованки.

Питання для самоконтролю

1. Що таке гаряче об'ємне штампування? Коли його застосовують?
2. У чому суть гарячого штампування? Який його механізм?
3. Як визначається клас точності кованок?
4. Як визначаються величин припусків, допусків і напусків поковок?
5. Відтворити послідовність розрахунків при розробці технологічного процесу виготовлення поковок гарячим об'ємним штампуванням

Література

1. Атаманюк В. В. Технологія конструкційних матеріалів. / Атаманюк В. В. – К.: Кондор, 2009. – 528 с.
2. Технологія матеріалів, зміцнення та виготовлення деталей машин / [М. Сиротюк, М. Чернець, М. Опеляк та ін.]. – Дрогобич: РВВ Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка, 2009. – 263 с.
3. Алаи С. И. Практикум по машиноведению: [учебн. пособие для студентов пед. институтов] / Алаи С. И., Ежеская Р. А., Антоненко У. И.; под общ. ред. Ежеской Р. А. – М.: Просвещение, 1985. – 304 с.
4. Технологія конструкційних матеріалів / [М. А. Сологуб, І. О. Рожнецький, О. І. Некоз та ін.]; за ред. М. А. Сологуба – К.: Вища школа, 2002. – 374 с.
5. Нікіфоров В. М. Технологія металів і конструкційні матеріали / Нікіфоров В. М. – К.: Вища школа. Головне видавництво, 1984. – 344 с.
6. Технология металлов / [Кнорозов Б. В., Усова Л. Ф., Третьяков А. В., и др.]. – [2 изд., перераб. и доп.]. – М.: Металлургия, 1978. – 904 с.

7. Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски : ГОСТ 7505-74. – [действителен от 01.01.1976]. – М.: Издательство стандартов, 1977. – 28 с.
8. Справочник металлиста. В 5-ти томах. Т. 3 / [Е. Д. Баклунов, А. К. Белопухов, М. И. Жебин и др.]; под ред. А. Н. Малова. – [изд. 3-е перераб.]. – М.: Машиностроение, 1977. – 748 с.
9. Технологія конструкційних матеріалів: лабораторний практикум / Попович В. Д., Яким Р. С., Сиротюк А. М.; під ред. Р. С. Якіма. – Дрогобич: Редакційно-видавничий відділ Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка, 2015. – С. 39 – 46.

ЗВІТ

про виконану лабораторну роботу № 13

Тема. ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ
КУВАННЯ І РОЗРОБКА КРЕСЛЕНИКА КОВАНКИ

Мета роботи: ознайомитися з методикою розробки креслення кованки при гарячому об'ємному штампуванні за кресленням деталі.

Обладнання інструменти, матеріали: кресленик деталі, плакати, моделі кованок, стандарти (ГОСТ 7505-74), інструкція до лабораторної роботи.

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКІВ

1. Вивчаємо креслення деталі й визначаємо тип штампувального верстата.
2. Визначаємо точність виготовлення кованки.

3. Визначаємо групу сталі кованки:

4. Визначаємо об'єм деталі за її геометричними розмірами:

4. Визначаємо об'єм заготовки за найбільшими геометричними розмірами кованки:

5. Визначаємо масу деталі за формулою:

$$G_d = V_d \cdot \rho =$$

6. Визначаємо масу заготовки за формулою:

$$G_z = V_z \cdot \rho =$$

7. Визначаємо ступінь складності кованки за формулою:

$$C = G_n / G_\phi =$$

8. Визначаємо масу (попередню) кованки:

$$G_n = 1,25 \cdot G_\phi =$$

9. Вибираємо радіуси заокруглень кутів:

10. Вибираємо площину роз'єму штампа:

11. Встановлюємо штампувальні ухили.

12. Визначаємо розмір плівки під пробивання отвору:

$$S = 0,1 \cdot D_n =$$

13. Призначаємо припуски на розміри кованки:

14. Призначаємо допуски на розміри кованки:

15. Виконуємо кресленик кованки.

Висновки

1. Чому при об'ємному штампуванні заготовку нагрівають? Які матеріали є непридатними для даного виду ОМТ?
 2. Як мінімізують імовірність утворення тріщин при гарячому об'ємному штампуванні?
 3. Зважаючи на які критерії, вибирають форму та розмір заготовки при гарячому об'ємному штампуванні? Площину роз'єму штампа?
-
-
-
-
-

« ____ » _____ 20 р. _____ / _____ група _____
Дата виконання роботи Прізвище та ініціали студента / підпис студента

Оцінювання роботи

Допуск до роботи	Виконання роботи	Захист роботи	За роботу

Робота прийнята _____ / _____

Приклад виконання обчислень

Кованка шестерня штампується на кривошипно-штампувальному пресі. Розрахунок виконуємо на основі даних, наведених на кресленнях деталі.

1. Визначаємо точність виготовлення кованки. Для нашої деталі точність виготовлення кованки II клас.

2. Визначаємо групу сталі згідно ГОСТ 7505-74. Група сталі – М2 (12ХН3А).

3. Визначаємо масу деталі за даними розмірами креслення за формулою:

$$G_d = V_d \cdot \rho,$$

де V_d – об'єм деталі, см^3 ; ρ – густина сталі 12ХН3А (густина сталі приймаємо рівною $7,8 \text{ г/см}^3$). Розрахована маса деталі $G_d = 3,18 \text{ кг}$.

4. Визначаємо масу заготовки за формулою:

$$G_z = V_z \cdot \rho,$$

де V_z – об'єм деталі, см^3 . У нашому випадку заготовка є циліндром з діаметром основи 127,8 мм та висотою 39 мм. Тому $V_z = 500,3 \text{ см}^3$, а розрахована маса заготовки $G_z = 3,9 \text{ кг}$.

5. Ступінь складності кованки визначаємо за формулою:

$$C = G_n / G_\phi = 3,18/3,9 = 0,82.$$

За складністю форми вона відповідає С1. Проте з урахуванням розміру виступів ступінь складності призначається як С2.

6. Розраховуємо (попередньо) масу кованки:

$$G_k = 1,25 \cdot G_d, G_k = 1,25 \cdot 3,18 = 3,98 \text{ кг.}$$

7. Радіуси заокруглень кутів вибираємо з табл. 2.

8. Вибираємо площину роз'єму штампа.

9. Встановлюємо штампувальні ухили за табл. 1 (5 і 7°).

10. Визначаємо розмір плівки під пробивання отвору шестерні:

$$S = 0,1 \cdot D_k, \text{ але не меншу від 4 мм;}$$

11. Призначаємо припуски на розміри кованки відповідно до ГОСТ 7505-74

для діапазону мас 2,5 – 4,0 кг.

Припуски (мм) на розміри, мм:

$$\varnothing 127,8 - 2,9$$

$$\varnothing 36,0 - 2,7$$

$$\varnothing 39,0 - 2,7$$

$$\varnothing 28,0 - 2,7$$

Розміри кованки, мм:

$$\varnothing 127,8 + 2 \cdot 2,9 = \varnothing 133,6;$$

$$\varnothing 36 - 2 \cdot 2,7 = \varnothing 30,6;$$

$$\varnothing 39 + 2 \cdot 2,7 = \varnothing 44,4;$$

$$\varnothing 28 + 2 \cdot 2,7 = \varnothing 33,4.$$

Розмір поверхні, яка знаходиться в площині роз'єму штампа, розраховуємо з урахуванням того, щоб зовнішній штампувальний ухил рівний 5°.

$$\varnothing 133,6 + 2 \cdot (2,7 \cdot \text{tg}5^\circ) = 136,5 \text{ (мм).}$$

12. Призначаємо допуски (мм) на розміри кованки згідно з ГОСТ 7505-74:

$$\varnothing 136,5 \frac{+2,1}{-1,1}, 3 \pm 1,3 \text{ (із розрахунку } \frac{\pm 1,7 + 0,9}{2}),$$

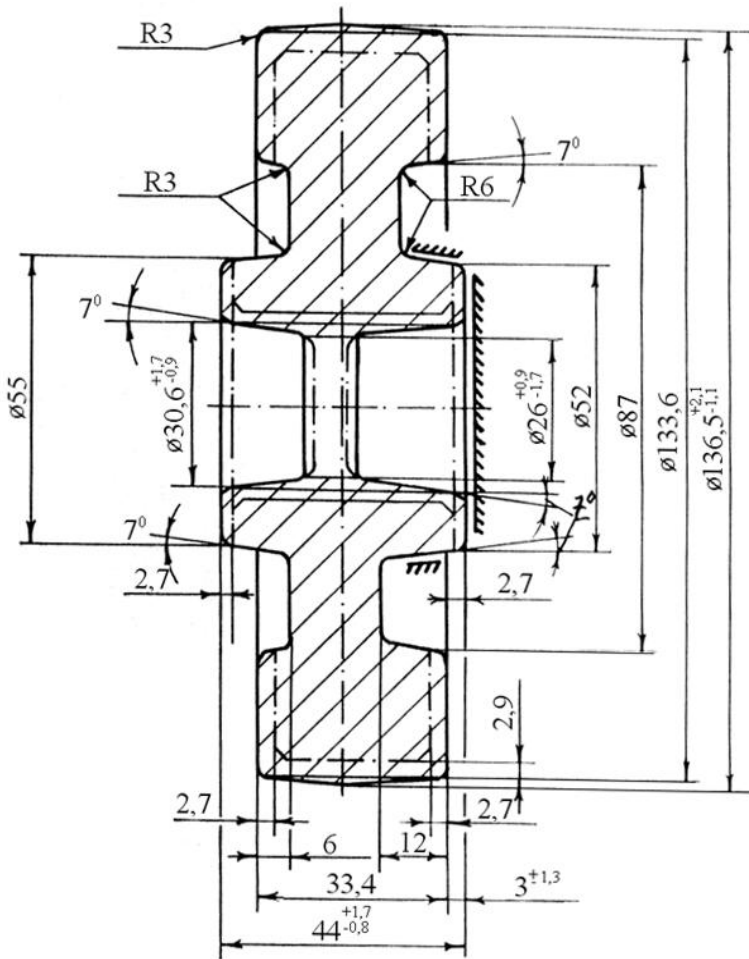
$$\varnothing 30,6 \frac{+1,7}{-0,9},$$

$$\varnothing 44,4 \frac{+1,7}{-0,9},$$

$$\varnothing 26,0 \frac{+0,9}{-1,7}.$$

Допуски на невказані розміри дорівнюють $\pm 1,6$ мм, на внутрішні радіуси 3 і 6 мм – відповідно $+2$ і $+3$ мм. Задирка по периметру зрізу дорівнює 1,0 мм, зміщення по лінії роз'єму штампа 0,7 мм. Неспіввісність отвору $\varnothing 26$ мм відносно осі $\varnothing 52$ мм не має перевищувати 1,5 мм.

Групу кованок і решту технічних умов визначаємо згідно з ГОСТ 8479-70. Порядок нанесення технічних умов визначаємо згідно з ГОСТ 2316-68.



*Кованка (шестерня)
Сталь 12ХНЗА
ГОСТ 4543-44
НВ 262...311
Ступінь складності С1
Точність виготовлення – клас 1
Штампувальні ухили,
Не вказані граничні відхилення
розмірів механічно оброблюваних
отворів Н14*

Кресленик кованки

Тема. ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОСТРУКТУРИ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ

Мета роботи: дослідити структуру зварного шва.

Обладнання інструменти, матеріали: мікрошліфи зварних з'єднань, металографічний мікроскоп типу МИМ-7.

Теоретичні відомості

Зварюванням називається процес виготовлення нерознімних з'єднань матеріалів, що здійснюється через використання міжмолекулярних і між атомних сил зчеплення між поверхнями спряжених деталей, що контактують. Утворення міцних атомно-молекулярних зв'язків відбувається при наближенні з'єднаних деталей на відстані порядку міжатомних ($\approx 10^{-8}$ см). Це можливе при наданні їм енергії активації шляхом нагрівання (термічна активація) чи пружно-пластичною деформацією (механічна активація).

За формою застосованої енергії, методи зварювання поділяють на 3 класи: термічне, термомеханічне і механічне.

Термічне зварювання ґрунтується на частковому плавленні елементів з'єднання, при якому їх кромки (основний метал) і у більшості випадків додатковий (присадний) матеріал нагрівають до рідкого стану, утворюючи загальну зварювальну ванну. Після її кристалізації утворюється зварний шов із литою структурою, що і з'єднує зварювані елементи. До термічного належить дугове, електрошлакове, плазмово-променеве, індукційне, електронно-променеве, газове, термітне та низка інших видів зварювання.

При *термомеханічному зварюванні* з'єднання утворюється нагріванням зварюваних деталей до пластичного стану або до початку плавлення і додатковим прикладанням механічних зусиль стискання. До цього класу належить дуго-пресове, газопресове, контактне, дифузійне, індукційно-пресове зварювання.

Механічне зварювання ґрунтується на використанні різних видів механічної енергії і утворення міжатомних зв'язків проходить у твердій фазі. До нього належить холодне зварювання, зварювання тиском, тертям, вибухом, ультразвукове.

Мікроструктуру металів і сплавів спостерігають з допомогою мікроскопа при збільшенні від кількох десятків до 2000 – 3000 разів і більше. Структура зони термічного впливу та її ширина залежать від способу та режиму зварювання, хімічного складу і товщини виробу, що зварюється. На рис. 14.1 показана будова зварного шва низьковуглецевої сталі після затвердіння і розподіл температури в зоні термічного впливу.

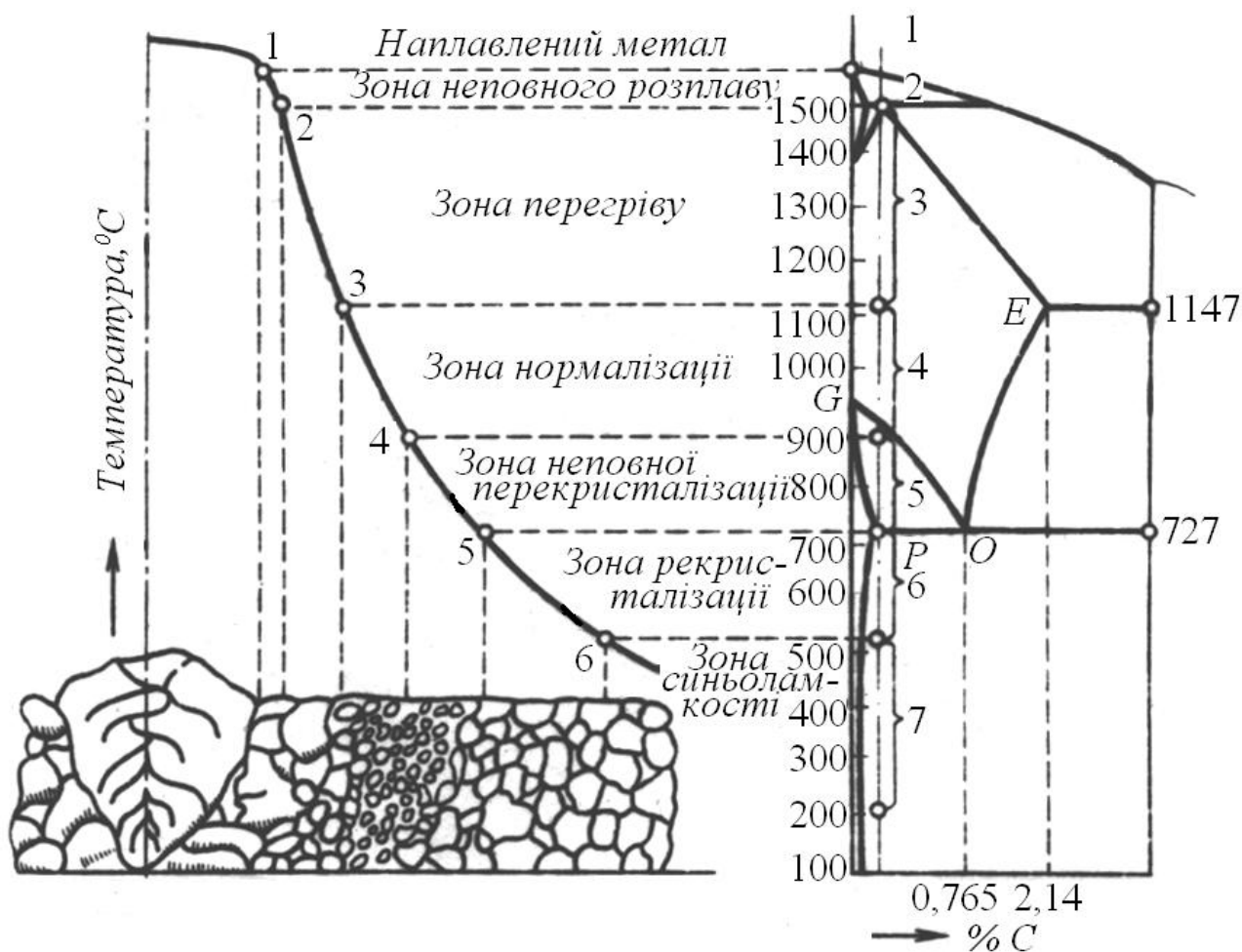


Рисунок 14.1 – Схема утворення структури зварного шва для низьковуглецевої сталі

Основними зонами зварного шва є:

1) *Зона сплавлення основного металу*, нагрітого до температури плавлення з розплавленим присадним матеріалом. При зварюванні плавленням під впливом тепла дуги або газозварювального полум'я, на зварюваному металі утворюється ванна рідкого металу – *зварювальна ванна*, що є сплавом основного та присадного металів. У міру переміщення джерела тепла, а також внаслідок відведення тепла з ванни в масу зварюваного металу і теплообміну з навколишнім середовищем температура металу зварювальної ванни знижується і в ній

починається процес кристалізації. Ростуть кристали в напрямку, зворотному відведенню тепла, тобто від стінок основного металу до центра шва. Ця ділянка має крупнокристалічну будову і незначні лінійні розміри. За хімічним складом, він відрізняється від сусідніх ділянок основного металу вмістом вуглецю, сірки і фосфору, які переходять із розплавленого металу шва внаслідок дифузії. Напрямок дифузії залежить від коефіцієнту розподілу (сегрегації) елементів між твердою і рідкою фазами у рівноважному стані. За наявності у металі зварювальної ванни карбідоутворювальних елементів (марганцю, хрому, титану та ін.) процес дифузії вуглецю з основного металу у шов протікає інтенсивніше.

2) У зоні *неповного розплавлення* відбувається з'єднання розплавленого металу з основним. Її хімічний склад відрізняється від складу основного металу і зони шва. У деяких випадках властивості цієї зони визначають працездатність зварної конструкції (утворення кристалізаційних і холодних тріщин, ножова корозія, втомне руйнування тощо). Ширина цієї перехідної зони 0,1 – 0,4 мм.

3) *Зона перегріву* складається з металу, нагрітого на 50 – 100°C нижче від температури плавлення. Оскільки метал цієї ділянки нагрівається до температури перегріву, то в ній проходить ріст аустенітного зерна. У випадках, коли перегрів супроводжується наступним загартовуванням, утворюється грубоголкаста *відманитетова* або феритно-голкава структура, яка характеризується зниженою пластичністю і міцністю, порівнянно з основним металом. Ширина ділянки 1 – 3 мм.

4) *Зона нормалізації (перекристалізації)* містить метал, нагрітий до температури, що дещо перевищує температуру алотропного переходу A_{C3} (закінчення переходу фериту в аустеніт), до 1100 – 1150°C. На цій ділянці створюються сприятливі умови для утворення дрібнозернистої вторинної структури. Її ширина залежить від виду і режиму зварювання та перебуває у межах 1,2 – 4 мм. Метал на ділянці нормалізації має підвищені механічні властивості, порівнянно з основним металом.

5) *Зона неповної перекристалізації* містить метал, нагрітий від температури алотропного перетворення A_{C1} (початку переходу фериту в аустеніт) до точки A_{C3} . Тут водночас із зернами металу, що не змінилися при перегріві, присутні зерна, які утворилися при перекристалізації. Тобто водночас із грубими зернами фериту утворюються дрібні зерна фериту і перліту.

6) *Зона рекристалізації (старіння)* складається з металу, нагрітого від

приблизно 500°C до температури, дещо нижчої від точки A_{Cl} . Тут проходить ріст зерен фериту шляхом зрощування дрібних роздрібнених зерен металу, який поступив на зварювання після обробки тиском (прокатування, штампування та ін.). При зварюванні виробів, які до цього не були пластично деформовані (наприклад, литих), рекристалізація не спостерігається.

7) Остання ділянка з нагрівом до 100 – 500°C за своєю структурою і властивостями практично не відрізняється від основного металу. Тут лише можливе утворення *зони синьоламкості* внаслідок процесу старіння – закріплення атомами впровадження дислокацій, що викликає зменшення їх рухливості та підвищення крихкості.

Послідовність виконання роботи

1. Отримати мікрошліфи зварних з'єднань. Для травлення використати 5 % розчин HNO_3 в етиловому спирті або 4 % розчин пікринової кислоти в етиловому спирті.
2. Візуально вивчити та зарисувати макроструктуру шліфу шва.
3. Розглянути й вивчити під мікроскопом різні зони зварного з'єднання у такому порядку: шва; сплавлення; перегріву; нормалізації; неповної перекристалізації; рекристалізації; синьоламкості; структуру основного металу.
4. Зарисувати мікроструктури металу відповідних зон.
5. На основі отриманих даних пояснити схему утворення структури зварного з'єднання.

Питання для самоконтролю

1. Що таке зварювання? На які класи поділяються методи зварювання?
2. Від яких факторів залежить макроструктура зварного шва?
3. Назвіть і коротко охарактеризуйте основні зони зварного шва.
4. Поясніть значення термінів “перегрів”, “нормалізація”, “перекристалізація”, “рекристалізація”, “синьоламкість”.

Література

1. Атаманюк В. В. Технологія конструкційних матеріалів. / Атаманюк В. В. – К.: Кондор, 2009. – 528 с.

2. Технологія матеріалів, зміцнення та виготовлення деталей машин / [М. Сиротюк, М. Чернець, М. Опеляк та ін.]. – Дрогобич: РВВ Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка, 2009. – 263 с.
3. Алаи С. И. Практикум по машиноведению: [учебн. пособие для студентов пед. институтов]. / Алаи С. И., Ежевская Р. А., Антоненко У. И.; под общ. ред. Ежевской Р. А. – М.: Просвещение, 1985. – 304 с.
4. Технологія конструкційних матеріалів. / [М. А. Сологуб, І. О. Рожнецький, О. І. Некоз та ін.]; за ред. М. А. Сологуба – К.: Вища школа, 2002. – 374 с.
5. Нікіфоров В. М. Технологія металів і конструкційні матеріали / Нікіфоров В. М. – К.: Вища школа. Головне видавництво, 1984. – 344 с.
6. Технологія конструкційних матеріалів: лабораторний практикум / Попович В. Д., Яким Р. С., Сиротюк А. М.; під ред. Р. С. Якіма. – Дрогобич: Редакційно-видавничий відділ Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка, 2015. – С. 53–56.

Приклад форми звіту (лабораторна робота № 14)

ДРОГОБИЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ФРАНКА

Кафедра машинознавства і матеріалознавства.

Лабораторія матеріалознавства і ТКМ

ЗВІТ

про виконану лабораторну роботу № 14

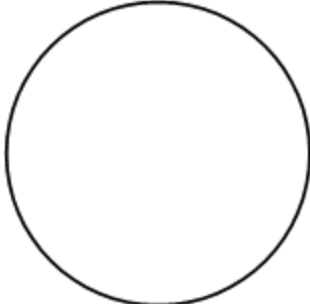
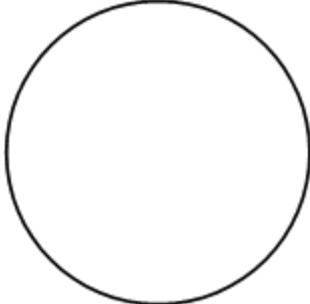
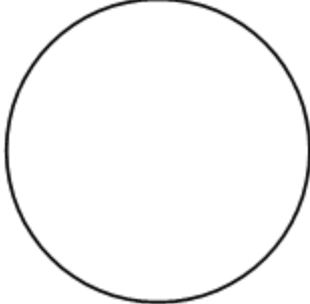
Тема ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОСТРУКТУРИ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ

Мета роботи: дослідити структуру зварного шва.

Обладнання інструменти, матеріали: мікросліфи зварних з'єднань, металографічний мікроскоп типу МИМ-7.

МАКРОСТРУКТУРА ШЛІФУ ШВА

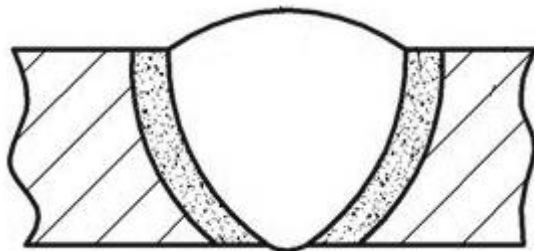
ЗВІТНА ТАБЛИЦЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

№	Зона	Рисунок	Опис і характеристика
			<hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>
			<hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>
			<hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>

Приклад варіанта заповнення звітної таблиці

№	Зона	Рисунок	Опис і характеристика
1	Сплавлення		Крупнозерниста феритно-перлітна структура. Розмір зерен збільшується від краю до центру зони.
2	Неповного розплавлення		Відманштеттова структура. Виразно видні границі колишніх аустенітних зерен.
3	Перегріву		Відпущена бейнітна структура з феритними зернами.
4	Нормалізації		Укрупнена структура ділянки свідчить про суттєвий час нагріву та значне вкладення тепла (відбулася термообробка).
5	Рекристалізованого основного матеріалу		Голчасті зерна ферита та перліта, за розмірами дещо більші, ніж зерна основного матеріалу.

Приклад макроструктури одностороннього шва



Тема. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОГАРТОВУВАНОСТІ СТАЛЕЙ МЕТОДОМ
ТОРЦЕВОГО ГАРТУВАННЯ

Мета роботи: визначити прогартовуваність сталі методом торцевого гартування і вплив легуючих елементів на прогартовуваність конструкційних сталей.

Обладнання інструменти, матеріали: муфельна піч типу ПМ-7У, устаткування для визначення прогартовуваності сталі методом торцевого гартування, твердомір типу ТК-2, зразки для визначення прогартовуваності різних марок сталі, настільний заточувальний верстат, напилек, лещата, лінійка, інструкція.

Теоретичні відомості

Основними технологічними властивостями, які характеризують процес гартуванні сталі, є загартовуваність і прогартовуваність.

Загартовуваність – це здатність сталі підвищувати твердість у результаті гартування. Загартовуваність сталі визначається передовсім вмістом вуглецю у сталі. Що більше в мартенситі вуглецю, то вища його твердість.

Прогартуваність – це здатність сталі утворювати загартований шар з мартенситною або трооститно-мартенситною (50 % мартенситу + 50 % трооститу) структурою певної глибини. Прогартуваність сталі має велике практичне значення і має враховуватися при виборі сталі для різного призначення.

Прогартуваність визначається критичною швидкістю охолодження, оскільки при гартуванні аустеніт перетворюється у мартенсит тільки в тих об'ємах (перерізах), де швидкість охолодження буде більшою або дорівнювати критичній. Якщо дійсна швидкість охолодження всередині виробу буде перевищувати критичну швидкість гартування (рис. 15.1), то в сталі утвориться мартенситна структура по всьому перерізі виробу і тим самим буде забезпечена наскрізна прогартовуваність. Якщо дійсна швидкість охолодження буде меншою за критичну, то прогартуваність буде неповною. На поверхні зразка швидкість охолодження максимальна, у центрі мінімальна, тому деталь не прогартується наскрізь, і виріб прогартується лише на певну глибину (a^I , a^{II} на рис. 15.1).

Прогартуваність тим більша, чим менша критична швидкість гартування, тобто, чим більша стійкість перехолодженого аустеніту. Майже усі легуючі

елементи (за винятком кобальту), розчинені в аустеніті, сповільнюють перетворення. Тому такі легуючі елементи, як хром, нікель, марганець, молібден, ванадій, вольфрам, кремній, а також у невеликій кількості бор підвищують прогартованість. Прогартованість значно зростає при одночасному легуванні сталі декількома елементами.

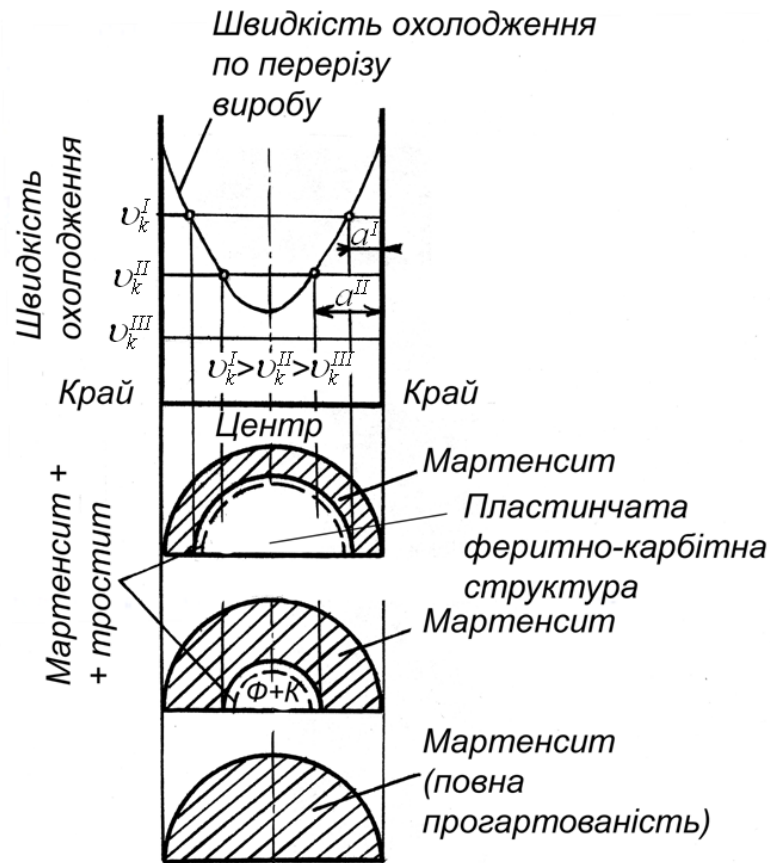


Рисунок 15.1 – Залежність прогартованості сталі від величини критичної швидкості гартування

$v_k \cdot v_{\epsilon}^I, v_{\epsilon}^{II}, v_{\epsilon}^{III}$ – критичні швидкості гартування відповідно для вуглецевої (I), низьколегованої (II), високолегованої (III);
 a^I, a^{II} – глибина загартованого шару

Збільшення розміру зерна сповільнює перетворення, бо центри кристалізації утворюються переважно по границях зерен, а що крупніше зерно, то менша довжина границь. Нерозчинні у сталі частинки (карбіди, оксиди, інтерметалеві включення) прискорюють перетворення, оскільки є додатковими центрами кристалізації і збільшуються при перетворенні аустеніт – перліт. Неоднорідний аустеніт також швидше перетворюється у перліт, бо швидкість перетворення тут визначається менш насиченою частиною твердого розчину.

Для практичної оцінки прогартовуваності користуються величиною, яка називається критичним діаметром.

Критичний діаметр ($D_{кр}$) – це максимальний діаметр циліндричного кружка, який прогартовується наскрізь у певному охолоджувальному середовищі. Кожній сталі та кожному охолоджувальному середовищу (воді, мінеральному маслу, розчинам солей і лугів та ін.) відповідає свій критичний діаметр. Очевидно, що чим інтенсивніше охолоджує середовище, тим більша величина критичного діаметра.

Для того, щоб не ставити прогартовуваність у залежність від способу охолодження, вводять поняття *ідеального критичного діаметра*. Це найбільший діаметр, який прогартовується наскрізь в „ідеальній охолоджувальній рідині”, тобто у такій, що забирає тепло у зразка з нескінченно великою швидкістю.

Критичний діаметр – важлива і вигідна величина при виборі марки сталі на виріб. Якщо потрібно, щоб виріб при термічній обробці прогартовувався наскрізь, слід вибрати таку сталь, щоб критичний діаметр був більшим за діаметр виробу.

При наскрізному прогартовуванні властивості сталі (твердість і міцність) по всьому перерізу виробу однакові.

При ненаскрізному гартуванні зміна структури сталі по перерізу спричиняє відповідну зміну властивостей: міцність, ударна в'язкість знижуються від поверхні до центру.

Відпуск при високій температурі зменшує цю різницю, однак границя плинності, ударна в'язкість та відносне звуження всередині виробу залишаються нижчими.

Найпростіший метод визначення прогартовуваності – це *метод торцевого гартування*. Схема пристрою для визначення прогартовуваності цим методом показана на рис. 15.2, а типова форма зразка, його розміри та схема охолодження – на рис. 15.3. Очевидно, що у зображеному випадку нижній торець зразка охолоджується з максимальною швидкістю, швидкість охолодження зменшується у міру віддалення від торця.

Глибину прогартованості зони вираховують, визначивши твердість зразка після гартування. Причому твердість вимірюється по всій довжині взірця, а результати представляються графічно у координатах “твердість – відстань від охолоджуваного торця”.

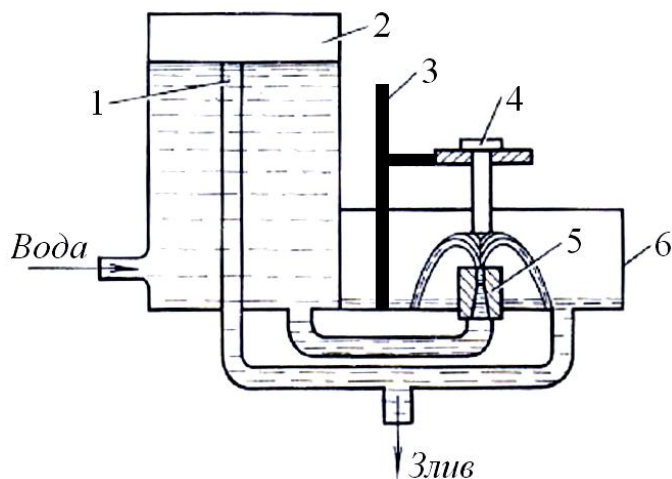


Рисунок 15.2 – Схема пристрою для визначення прогартуваності методом торцевого гартування

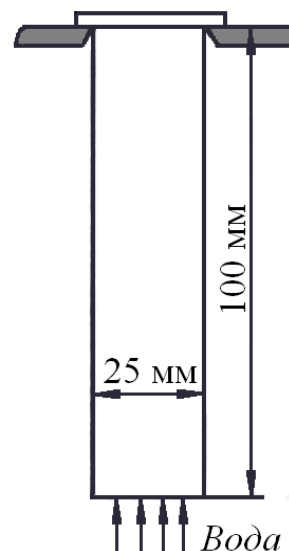


Рисунок 15.3 – Зразок і схема охолодження при торцевому гартуванні

Визначивши відстань від торця до ділянки з твердістю, що відповідає напівмартенситній зоні, можна з допомогою спеціальних номограм знайти критичний діаметр. Так, для сталі 40 границя загартованої зони має твердість *HRC* 40.

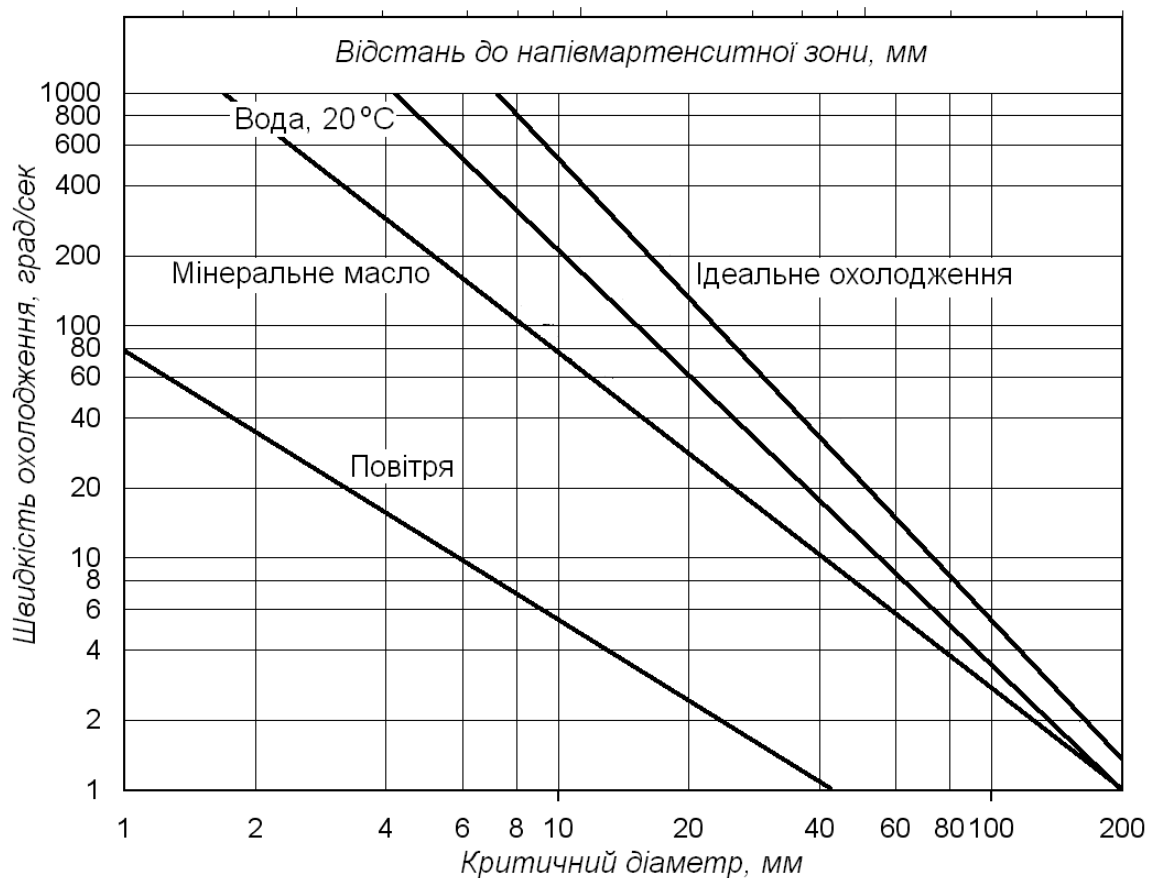


Рисунок 15.4 – Діаграма для визначення прогартуваності зразків

Послідовність виконання роботи

1. Отримати зразки різних марок сталей.
2. За маркою визначити хімічний склад сталі, дані записати у табл. 15.1.
3. Користуючись діаграмою $Fe-Fe_3C$, визначити температуру нагрівання для торцевого гартування вуглецевої сталі і записати в табл. 15.1.
4. Завантажити взірці в піч (здійснивши при цьому заходи для запобігання вигоранню вуглецю у сталі) і нагріти до необхідної температури.
5. Нагрітий взірець встановити в установку для визначення прогартуваності (час переміщення взірця від печі до установки не повинна перевищувати 5 секунд) і включити воду для охолодження відповідно до рис. 15.2.
6. Охолодити взірець до кімнатної температури (час охолодження не має бути меншим від 10 хв).

Таблиця 15.1 – Вихідні параметри зразків і умови гартування

№ зразка	Марка сталі	Хімічний склад, %						Твердість напівмартенситної структури, <i>HRC</i>	Температура гартування, °C
		<i>C</i>	<i>Mo</i>	<i>Cr</i>	<i>Ni</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>		

7. Прошліфувати лиску шириною 0,5 мм вздовж твірної зразка (напилком чи шліфувальним кругом) для вимірювання твердості.
8. Виміряти твердість по усій довжині загартованої зони, попередньо встановивши твердість напівмартенситної структури для даної марки сталі. Перший вимір проводити на віддалі 1,5 мм від торця і через кожних 1,5 – 3 мм. Після отримання твердості зразка, що відповідає твердості напівмартенситної структури, провести ще 3 – 4 вимірювання через 3 – 5 мм. Дані випробувань записують в табл. 15.2.

Таблиця 15.2 – Результати випробувань

№ випроб.	Марка сталі	Віддаль від торця, мм	Твердість, <i>HRC</i>

9. За даними таблиці 15.2 побудувати графік у координатах “твердість (*HRC*) – віддаль від торця (мм)”.

10. Користуючись номограмою (рис. 15.3), визначити критичний діаметр для відповідної сталі.

Питання для самоконтролю

1. Що характеризують загартовуваність і прогартовуваність сталі?
2. Як практично оцінюють величину прогартованості?
3. Що таке критичний діаметр та ідеальний критичний діаметр?
4. Які фактори впливають на прогартовуваність сталі?
5. Яким методом визначають прогартовуваність сталі?

Література

1. Атаманюк В. В. Технологія конструкційних матеріалів. / Атаманюк В. В. – К.: Кондор, 2009. – 528 с.
2. Технологія матеріалів, зміцнення та виготовлення деталей машин / [М. Сиротюк, М. Чернець, М. Опеляк та ін.]. – Дрогобич: РВВ Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка, 2009. – 263 с.
3. Алаи С.И. Практикум по машиноведению: [учебн. пособие для студентов пед. институтов]. / Алаи С. И., Ежевская Р. А., Антоненко У. И.; под общ. ред. Ежевской Р.А. – М.: Просвещение, 1985. – 304 с.
4. Технологія конструкційних матеріалів / [М. А. Сологуб, І. О. Рожнецький, О. І. Некоз та ін.]; за ред. М. А. Сологуба – К.: Вища школа, 2002. – 374 с.
5. Нікіфоров В. М. Технологія металів і конструкційні матеріали / Нікіфоров В. М. – К.: Вища школа. Головне видавництво, 1984. – 344 с.
6. Технологія конструкційних матеріалів: лабораторний практикум / Попович В. Д., Яким Р. С., Сиротюк А. М.; під ред. Р. С. Якіма. – Дрогобич: Редакційно-видавничий відділ Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка, 2015. – С. 102 – 105.

ЗВІТ

про виконану лабораторну роботу № 15

**Тема. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОГАРТОВУВАНОСТІ СТАЛЕЙ МЕТОДОМ
ТОРЦЕВОГО ГАРТУВАННЯ**

Мета роботи: визначити прогартовуваність сталі методом торцевого гартування і вплив легуючих елементів на прогартовуваність конструкційних сталей.

Обладнання інструменти, матеріали: муфельна піч типу ПМ-7У, устаткування для визначення прогартовуваності сталі методом торцевого гартування, твердомір типу ТК-2, зразки для визначення прогартовуваності різних марок сталі, настільний заточувальний верстат, напилек, лещата, лінійка, інструкція.

ЗВІТНІ ТАБЛИЦІ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Вихідні параметри зразків і умови гартування

№ зразка	Марка сталі	Хімічний склад, %						Твердість напівмартенситної структури, <i>HRC</i>	Температура гартування, °C
		<i>C</i>	<i>Mo</i>	<i>Cr</i>	<i>Ni</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>		

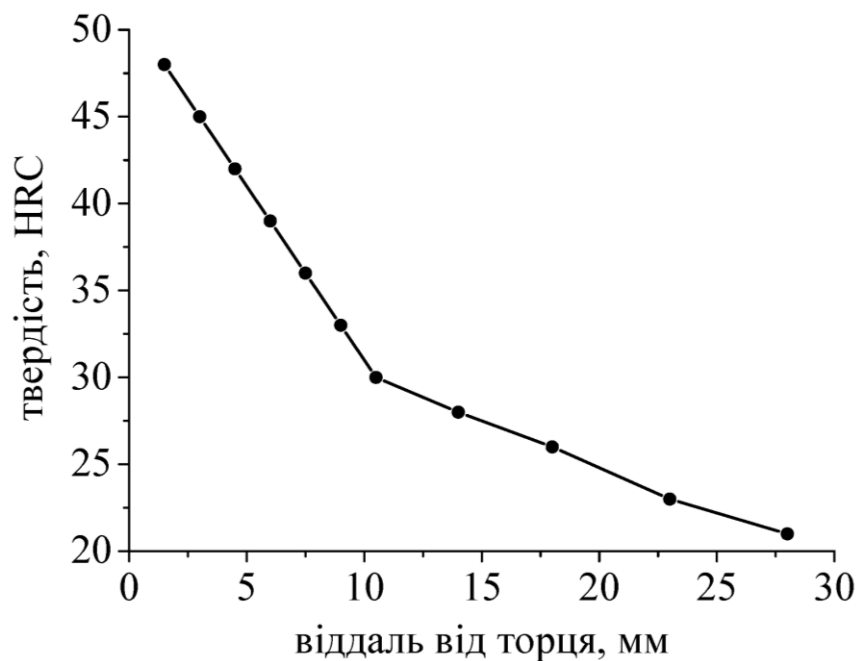
Результати випробувань твердості

№ випроб.	Марка сталі	Віддаль від торця, мм	Твердість, <i>HRC</i>

Протокол 2. Результати випробувань твердості

№ випроб.	Марка сталі	Віддаль від торця, мм	Твердість, <i>HRC</i>
1	20H2M	1,5	48
2		3	45
3		4,5	42
4		6	39
4		7,5	36
5		9	33
6		10,5	30
7		14	28
8		18	26
9		23	23
10	28	21	

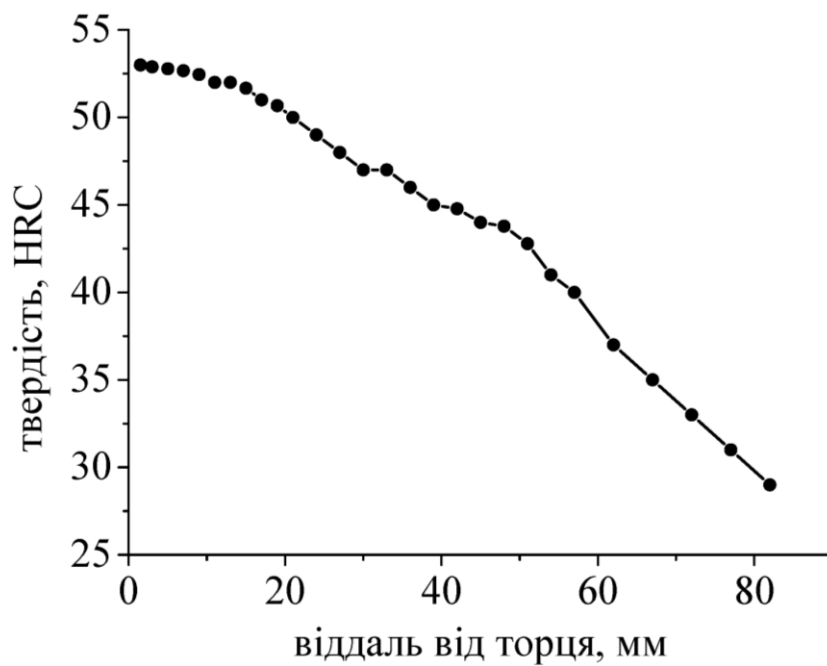
Приклад графіка за даними Протоколу 2



Протокол 3. Результати випробовувань твердості

№ випроб.	Марка сталі	Віддаль від торця, мм	Твердість, <i>HRC</i>
1	35X2C	1,5	53
2		3	53
3		5	53
4		7	53
4		9	53
5		11	52
6		13	52
7		15	52
8		17	51
9		19	51
10		21	50
11		24	49
12		27	48
13		30	47
14		33	47
15		36	46
16		39	45
17		42	45
18		45	44
19		48	44
20		51	43
21		54	41
22		57	40
23		62	37
24		67	35
25		72	33
26		77	31
27	82	29	

Приклад графіка за даними Протоколу 3



Тема. ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФЕКТІВ МІКРОСТРУКТУРИ СТАЛІ ПІСЛЯ
ТЕРМООБРОБОК

Мета роботи: дослідити дефекти мікроструктури, які виникають у сталі в результаті її термообробки.

Обладнання інструменти, матеріали: нагрівна муфельна піч типу ПМ-7У, зразки конструкційних та інструментальних сталей для гартування, витяжна шафа, мікрошліфи загартованих зразків, мікроскоп МИМ-7, плакати, інструкція.

Теоретичні відомості

У результаті проведення термообробки у виробках зі сталі можуть виникати дефекти структури.

До основних дефектів, які можуть виникнути при гартуванні сталі, належать зовнішні чи внутрішні тріщини, деформації та короблення.

Тріщини при гартуванні виникають у випадку, коли внутрішні термічні чи структурні напруження розтягу перевищують значення опору сталі розриву. Вони утворюються за температур, нижчих від температури початку мартенситного перетворення M_n , найчастіше після охолодження. Схильність до утворення тріщин збільшується зі зростанням у сталі вмісту вуглецю, підвищенням температури гартування і збільшенням швидкості охолодження в температурному інтервалі мартенситного перетворення. Іншою причиною виникнення тріщин є наявність у виробках зі сталі концентраторів напружень (різких змін перерізу виробу, місцевих надрізів, заглиблень, виступів, наявність раковин, неметалевих включень тощо).

Тріщини є невиправним дефектом. Для запобігання їх виникненню рекомендується: уникати при конструюванні виробів різких виступів, загострених кутів, різких переходів від товстих перерізів до тонких і т. д.; проводити гартування з якомога нижчих температур; здійснювати повільне охолодження в мартенситному інтервалі температур шляхом гартування в двох середовищах, ступінчастого гартування чи застосовувати ізотермічне гартування; відпуск виконувати відразу після гартування.

Деформація, тобто зміна розмірів і форми виробів, відбувається при термічній обробці в результаті термічних і структурних напружень під дією неоднорідних об'ємних змін, викликаних нерівномірним охолодженням і фазовими перетвореннями. Наприклад, найбільший питомий об'єм зі структур має мартенсит, тому при гартуванні з отриманням мартенситної структури буде збільшуватися об'єм виробу.

Несиметрична деформація виробів призводить до їх *короблення*. Воно може відбуватися без зміни об'єму (під дією термічних напружень) і зі зміною об'єму (під дією структурних напружень). Для першого випадку характерною є деформація сталевих виробів після багатократного нагрівання до температури, нижчої за критичну, і наступного охолодження. При цьому форма деталей буде наближатися до кулястої (рис. 16.1, *а*). Для другого випадку характерною є деформація сталевих деталей після багаторазового гартування на мартенсит. При цьому у деталі кубічної форми грані викривлюються до центру, у циліндричній збільшується довжина, а у деталі у формі диску зменшується товщина.

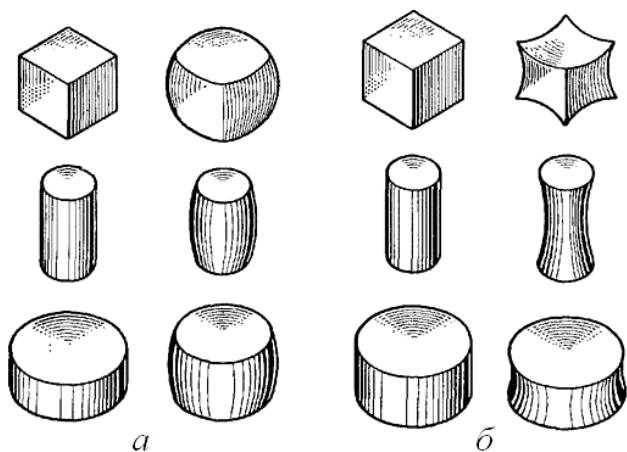


Рисунок 16.1 – Тіла простої форми після деформації під дією теплових (*а*) та структурних (*б*) напружень

Короблення здебільшого спостерігається при нерівномірному і надто високому нагріванні під гартування, неправильному зануренню в охолоджувальне середовище і високій швидкості охолодження в мартенситному інтервалі температур. Усунення цих причин значно зменшує короблення. Деформацію, що викликає короблення, можна зменшити підбором відповідного складу сталі і умов термічної обробки (зокрема, застосуванням ступінчастого або ізотермічного гартування).

Недогрів буде у випадку, якщо сталь була нагріта до температури, нижчої за критичну. Наприклад, якщо доевтектоїдна сталь (рис. 16.2, *а*) нагрівалася до температури хоча б трохи нижчої за A_{c3} , то частина фериту не перетвориться в аустеніт. Після охолодження аустеніт перетвориться в мартенсит, а ферит, що не перейшов при нагріванні в аустеніт, залишиться у загартованій сталі. У результаті отримаємо структуру, яка складається з мартенситу й фериту (рис. 6.2, *б*). Ферит, що має низьку твердість (приблизно $HB\ 80$), перебуваючи

разом із мартенситом, понижуватиме загальну твердість загартованої сталі. виправити недогріту сталь можна відпалом з подальшим нормальним гартуванням.

У випадку, коли сталь була нагріта до значно вищої, ніж критична температура чи при занадто довгій її витримці за оптимальної температури, спостерігатиметься явище *перегріву*. При перегріві відбувається ріст зерна аустеніту, а після гартування утвориться голчастий мартенсит (рис. 16.2, *в*). Перегріта сталь характеризується блискучим крупнокристалічним зломом. Її механічні властивості низькі через надмірну крихкість. Перегрів може бути виправлений повторним нагрівом до температури вищої за A_{c3} для доевтектоїдної сталі, а для евтектоїдної чи заевтектоїдної – вищої за A_{c1} . Після цього її можна повторно гартувати.

Перепал буде у випадку, якщо сталь була нагріта до температури, близької до температури плавлення в окислювальній атмосфері. Перепал характеризується оплавленням та окисленням металу по границях зерен (рис. 16.2, *г*), тому сталь стає дуже крихкою. Злам при перепалі стає каменеподібним. Перепал є невиправним браком.

Зневуглеводження, тобто вигорання вуглецю з поверхневого шару виробу, відбувається в результаті взаємодії з атмосферним киснем. Цей брак можна усунути спеціальною термообробкою у навуглеціювальній атмосфері чи механічним видаленням поверхневого шару металу, якщо це уможливить зробити припуски на виробі.

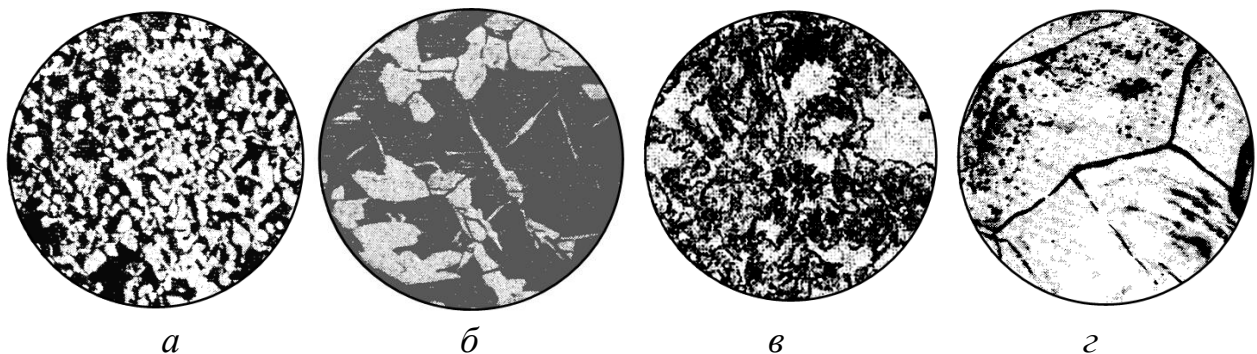


Рисунок 16.2 – Мікроструктура вуглецевої сталі 35 залежно від температури відпалу (збільшення $\times 100$):

a – без нагріву; *б* – недогрів; *в* – перегрів; *г* – перепал

Неоднорідна чи *плямиста твердість* виявляється у тому, що після гартування на окремих ділянках виробу твердість виявляється значно пониженою (до

HRC 35 – 45), порівняно з іншими ділянками, де величина її є нормальною і становить *HRC 60 – 62*. Такого роду дефект зазвичай викликаний трьома основними причинами: нерівномірним нагрівом, нерівномірною швидкістю охолодження, незадовільною структурою сталі перед гартуванням.

Нерівномірний нагрів різних ділянок виробу виникає при підстуджуванні з боку заслінки печі, при невдалому укладанні виробів у печі та при неоднорідному розподілі температури в різних зонах її робочого простору. Внаслідок цього окремі ділянки виробу не нагріваються до потрібної температури, і їх твердість при гартуванні виявляється заниженою. Нерівномірне охолодження виникає при покритті виробу нерівномірним товстим шаром окалини, яка утруднює тепловідвід при гартуванні, чи при утворенні парових мішків у заглибленнях виробу, а іноді внаслідок контакту деталей при охолодженні в баку.

Нарешті, причиною плямистої твердості може бути неоднорідність структури сталі перед гартуванням. Наприклад, якщо в структурі наявні великі відокремленні ділянки фериту, то при нагріві до температури гартування аустеніт, який утворюється у цих ділянках, буде збіднений вуглецем. У зв'язку з цим, у збіднених вуглецем місцях при гартуванні утвориться не мартенсит, а структура типу сорбіту чи троститу, що має нижчу твердість. Неоднорідність структури перед гартуванням можна усунути шляхом відпалу чи нормалізації.

Послідовність виконання роботи

1. Виготовити три мікрошліфи однакових зразків сталі. Для травлення застосувати 5 % розчин HNO_3 в етиловому спирті.
2. Розглянути і вивчити під мікроскопом отримані мікрошліфи, зарисувати мікроструктури металу.
3. Провести повне гартування одного зі зразків. Дослідити зразок на наявність тріщин чи короблення.
4. Виготовити мікрошліф першого загартованого зразка.
5. Розглянути і вивчити під мікроскопом мікрошліф першого загартованого зразка, виявити дефекти, викликані гартуванням, якщо такі є.
6. Провести гартування другого зразка, нагрівши його до температури, нижчої за критичну. Дослідити зразок на наявність тріщин чи короблення.
7. Виготовити мікрошліф другого загартованого зразка.
8. Розглянути і вивчити під мікроскопом загартований зразок, виявити

дефекти, викликані гартуванням, зарисувати мікроструктури недогрітого металу.

9. Провести гартування третього зразка, нагрівши його до температури, вищої за критичну. Дослідити зразок на наявність тріщин чи короблення.
10. Виготовити мікрошліф третього загартованого зразка.
11. Розглянути і вивчити під мікроскопом мікрошліф загартованого зразка, виявити дефекти, викликані гартуванням, зарисувати мікроструктури перегрітого (чи перепаленого) металу.

Питання для самоконтролю

1. Опишіть мартенситне перетворення та технологію проведення гартування.
2. Опишіть причини та механізм утворення тріщин при термообробці сталі та засоби запобігання їх виникненню.
3. Опишіть причини та механізм короблення при термообробці сталі та засоби його мінімізації.
4. Що таке знеуглеводження сталі і як його уникнути?
5. Опишіть суть плямистої твердості, її причини та способи уникнення чи виправлення цього дефекту.

Література

1. Атаманюк В. В. Технологія конструкційних матеріалів. / Атаманюк В. В. – К.: Кондор, 2009. – 528 с.
2. Технологія матеріалів, зміцнення та виготовлення деталей машин / [М. Сиротюк, М. Чернець, М. Опеляк та ін.]. – Дрогобич: РВВ Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка, 2009. – 263 с.
3. Алаи С. И. Практикум по машиноведению: [учебн. пособие для студентов пед. институтов]. / Алаи С. И., Ежевская Р. А., Антоненко У. И.; под общ. ред. Ежевской Р. А. – М.: Просвещение, 1985. – 304 с.
4. Технологія конструкційних матеріалів. / [М. А. Сологуб, І. О. Рожнецький, О. І. Некоз та ін.]; за ред. М. А. Сологуба – К.: Вища школа, 2002. – 374 с.
5. Нікіфоров В. М. Технологія металів і конструкційні матеріали / Нікіфоров В. М. – К.: Вища школа. Головне видавництво, 1984. – 344 с.
6. Технологія конструкційних матеріалів: лабораторний практикум / Попович В. Д., Яким Р. С., Сиротюк А. М.; під ред. Р. С. Якіма. – Дрогобич: Редакційно-видавничий відділ Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка, 2015. – С. 106 – 109.

Лабораторія матеріалознавства і ТКМ

ЗВІТ

про виконану лабораторну роботу № 16

Тема. ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФЕКТІВ МІКРОСТРУКТУРИ СТАЛІ ПІСЛЯ
ТЕРМООБРОБОК

Мета роботи: дослідити дефекти мікроструктури, які виникають у сталі в результаті її термообробки.

Обладнання інструменти, матеріали: нагрівна муфельна піч типу ПМ-7У, зразки конструкційних та інструментальних сталей для гартування, витяжна шафа, мікрошліфи загартованих зразків, мікроскоп МИМ-7, плакати, інструкція.

ЗВІТНА ТАБЛИЦЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

№	Сталь і умови термообробки	Рисунок	Опис і характеристика
1			<hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>
2			<hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>
3			<hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>

Приклад варіанту заповнення звітної таблиці

№	Сталь і умови термообробки	Рисунок	Опис і характеристика
1	Сталь 45, вихідний зразок.		Структурні складові: ферит, перліт (темний). У незначній мірі присутня відманштетова структура (у вигляді декількох паралельних пластинок ферита).
2	Сталь 45, гартування зі 850°C у воду.		Структурна складова: мартенсит з голчатою субструктурою. Повне гартування.
3	Сталь 45, гартування зі 750°C у воду.		Структурні складові: зберігається надлишковий ферит (світлі включення у вигляді глобулів), що існував до початку охолодження і спостерігається утворений в результаті гартування мартенсит (матриця) з невеликою кількістю остаточного аустеніту між його зернами. Субструктура голчата (подібна до мартенситу). Неповне гартування.
4	Сталь 45, гартування з 1000°C у воду.		Структурна складова: мартенсит з крупноголчатою субструктурою. Перегрів при гартуванні.

Додаток А

Основні реактиви для виявлення макроструктури сплавів

№	Назва	Склад	Призначення	Спосіб застосування
1	Водний розчин азотної кислоти	4-10 $см^3$ азотної кислоти (густина 1,49 $г/см^3$), решта – вода.	Виявляє пустоти (бульбашки, непровари в зварних швах), волокнисту структуру, зону зварних з'єднань, флокени. Можна використати для виявлення дендритної структури. Використовується для вуглецевих і низьколегованих сталей.	Застосовується в холодному стані. Тривалість травлення від кількох хвилин до 30 хв. Зразок занурюють у реактив, або протирають поверхню макрошліфа ватним тампоном, змоченим у реактиві. Промивають у воді, сушать.
2	Водний розчин суміші соляної і сірчаної кислот	100 $см^3$ HCl 200 $см^3$ H ₂ SO ₄ 300 $см^3$ H ₂ O; 500 $см^3$ HCl 70 $см^3$ H ₂ SO ₄ 180 $см^3$ H ₂ O; 38 $см^3$ HCl 12 $см^3$ H ₂ SO ₄ 50 $см^2$ H ₂ O	Виявляє ліквацію, волокнисту та дендритну структури, пустоти та інші дефекти. Реактив для глибокого травлення.	Застосовується в гарячому стані (95-100°C). Тривалість травлення до 2 год. Зразки занурюють у розчин.
3	Водний розчин азотної і соляної кислот	33 $см^3$ азотної кислоти, 33 $см^3$ соляної кислоти, 33 $см^3$ води і 5 г хромпіку (K ₂ Cr ₂ O ₇)	Виявляє макроструктуру нержавіючої сталі.	Зразок занурюють у реактив.
4	Водний розчин персульфата амонію	10 – 20%-ний розчин персульфата амонію S ₂ [(NH ₄) ₂ S ₂ O ₈]+ + 100 $см^3$ H ₂ O	Виявляє дендритну структуру литих сплавів на мідній основі.	Зразок занурюють в розчин, нагрітий до температури 80-90°C. Тривалість травлення 5-10 хв.
5	Водний розчин їдкого натру NaOH	15-20%-ний розчин їдкого натру NaOH у воді	Виявляє структури алюмінієвих сплавів.	Тривалість травлення 10-15 хв.
6	Водний розчин хлористої міді і хлористого амонію.	85 г CuCl 53 г NH ₄ Cl 100 мл H ₂ O	Виявляє нерівномірності розміщення фосфору і вуглецю в сталі.	Зразок занурюють у реактив, видержують 60 с і висушують.
7	Водний розчин сірчаної кислоти.	5%- ний водний розчин сірчаної кислоти.	Виявляє нерівномірності розміщення сірки.	Занурюють у реактив бромосрібний папір і накладають його на поверхню макрошліфа.

Додаток Б

Склад основних реактивів для травлення чорних і кольорових металів (початок)

Склад реактиву	Умови травлення	Примітка
Реактиви для травлення сталі та чавуну		
5 мл азотної кислоти (густина 1,42 г/см ³), 95 мл етилового спирту	Тривалість травлення 3 – 8 сек	Застосовується для сталі та чавуну після термічної і хіміко-термічної обробки
5 г пікринової кислоти, 100 мл етилового спирту	Тривалість травлення від кількох секунд до 1 хв і більше	Добре відокремлює ферит від перліту. Ферит не травиться. Карбіди реактивом не забарвлюються
25 г їдкого натру, 2 г пікринової кислоти, 100 мл води	Застосовується в киплячому стані протягом 5 – 25 хв	Забарвлює цементит в темний колір
Реактиви для травлення високовуглецевої сталі		
10мл азотної кислоти (густина 1,42 г/см ³), 20 – 30 мл соляної кислоти (густина 1,19 г/см ³)	Перед травленням зразок підігривають у воді. Тривалість травлення 2 – 25 сек	Виявляє хромисті та хромонікелеві сталі
50мл сірчаної кислоти (густина 1,10 г/см ³), 5 мл азотної кислоти (густина 1,42 г/см ³), 50 мл води,	Використовується нагрітим до 50 – 60°C	Виявляє структуру сталей аустенітного класу
2 г пікринової кислоти, 25 г їдкого натру, 100 мл води	Застосовується в киплячому стані. Тривалість травлення 5 – 10 хв	Забарвлює цементит, вольфрам, залізо, залізо-вольфрамовий карбід, карбіди з високою місткістю хрому
1 г пікринової кислоти, 5 мл соляної кислоти, 100 мл етилового спирту	Застосовується в холодному стані	Виявляє структуру мартенситних і феритних, нержавіючих та жароміцних сталей
3 мл соляної кислоти (концентрованої), 1мл азотної кислоти (концентрованої)	Перед застосуванням насичується хлористою міддю і відстоюється 20 – 30 хв. Травлення тільки натиранням	Використовується для травлення нержавіючих сплавів і сплавів з високим вмістом нікелю

Продовження додатка Б

Склад основних реактивів для травлення чорних і кольорових металів

Склад реактиву	Умови травлення	Примітка
Реактиви для травлення кольорових металів і сплавів		
10 г персульфатамонію, 90 мл води	Застосовується в киплячому або холодному стані. Травлення занурюванням	Виявляє структуру міді, латуні, бронзи, нікелю і срібла
Насичений водний розчин хромового ангідриду	Травлення занурюванням або протиранням	Виявляє структуру міді, латуні, бронзи, нікелю і срібла
5 г хлорного заліза, 50 г соляної кислоти (концентрованої), 100 мл води	Травлення занурюванням або легким протиранням	Виявляє структуру міді, латуні, бронзи. Викликає потемніння – фази латуні
25 мл сірчаної кислоти (концентрованої), 80 мл води	Травлення занурюванням протягом 40 сек при 70°C. Гартування в холодній воді	Виявляє структуру алюміній – залізо, алюміній – залізо – марганець
25 мл азотної кислоти (концентрованої), 75 мл води	Травлення занурюванням протягом 40 сек при 70°C	Виявляє структуру алюміній – залізо – кремній

Додаток В
Визначення чисел твердості НВ (ГОСТ 9012)

Діаметр відтиска кульки: d_{10} , або $2d_5$, або $4d_{2,5}$, мм	Число твердості НВ за Брінеллем при навантаженні P , Н/мм ²			Діаметр відтиска кульки: d_{10} , або $2d_5$, або $4d_{2,5}$, мм	Число твердості НВ за Брінеллем при навантаженні P , Н/мм ²		
	$30D^2$	$10D^2$	$2,5D^2$		$30D^2$	$10D^2$	$2,5D^2$
1	2	3	4	5	6	7	8
2,89	4480	—	—	3,30	3410	1140	284
2,90	4440	—	—	3,31	3390	1130	282
2,91	4410	—	—	3,32	3370	1120	281
2,92	4380	—	—	3,33	3350	1120	279
2,93	4350	—	—	3,34	1 3330	1110	277
2,94	4320	—	—	3,35	3310	1100	276
2,95	4290	—	—	3,36	3290	1100	274
2,96	4260	—	—	3,37	3260	1090	272
2,97	4230	—	—	3,38	3250	1080	271
2,98	4200	—	350	3,39	3230	1080	269
2,99	4170	—	348	3,40	3210	1070	267
3,00	4150	—	346	3,41	3190	1060	266
3,01	4120	—	343	3,42	3170	1060	264
3,02	4090	—	341	3,43	3150	1050	262
3,03	4060	—	339	3,44	3130	1040	261
3,04	4040	—	337	3,45	3110	1040	259
3,05	4010	—	334	3,46	3090	1030	258
3,06	3980	—	332	3,47	3070	1020	256
3,07	3950	—	330	3,48	3060	1020	255
3,08	3930	—	327	3,49	3040	1010	253
3,09	3900	1300	325	3,50	3020	1010	252
3,10	3880	1290	323	3,51	3000	1000	250
3,11	3850	1280	321	3,52	2980	995	249
3,12	3830	1280	319	3,53	2970	989	247
3,13	3800	1270	317	3,54	2950	983	246
3,14	3780	1260	315	3,55	2930	977	245
3,15	3750	1250	313	3,56	2920	972	243
3,16	3730	1240	311	3,57	2900	966	242
3,17	3700	1230	309	3,58	2880	961	240
3,18	3680	1230	307	3,59	2860	955	239
3,19	3660	1220	305	3,60	2850	950	237
3,20	3630	1210	303	3,61	2830	944	236
3,21	3610	1200	301	3,62	2820	939	235
3,22	3590	1200	299	3,63	2800	933	233
3,23	3560	1190	297	3,64	2780	928	232
3,24	3540	1180	295	3,65	2770	923	231
3,25	3520	1170	293	3,66	2750	918	229
3,26	3500	1170	292	3,67	2740	912	229
3,27	3470	1160	290	3,68	2720	907	227
3,28	3450	1150	288	3,69	2710	902	226
3,29	3430	1140	286	3,70	2690	897	224

Продовження додатка В

1	2	3	4	5	6	7	8
3,71	2680	892	223	4,18	2090	695	174
3,72	2660	887	222	4,19	2080	692	173
3,73	2650	882	221	4,20	2070	688	172
3,74	2630	877	219	4,21	2050	685	171
3,75	2620	872	218	4,22	2040	682	170
3,76	2600	867	217	4,23	2030	678	170
3,77	2590	863	216	4,24	2020	675	169
3,78	2570	858	215	4,25	2010	671	168
3,79	2560	853	213	4,26	2000	668	167
3,80	2550	849	212	4,27	1990	665	166
3,81	2530	844	211	4,28	1980	662	165
3,82	2520	840	210	4,29	1980	658	165
3,83	2500	835	209	4,30	1970	655	164
3,84	2490	830	208	4,31	1960	652	163
3,85	2480	826	207	4,32	1950	649	162
3,86	2460	821	205	4,33	1940	646	162
3,87	2450	817	204	4,34	1930	642	161
3,88	2440	813	203	4,35	1920	639	160
3,89	2420	808	202	4,36	1910	636	159
3,90	2410	804	201	4,37	1900	633	158
3,91	2400	800	200	4,38	1890	630	158
3,92	2390	796	199	4,39	1880	627	157
3,93	2370	791	198	4,40	1870	624	156
3,94	2360	787	197	4,41	1860	621	155
3,95	2350	783	196	4,42	1850	618	155
3,96	2340	779	195	4,43	1850	615	154
3,97	2320	775	194	4,44	1840	612	153
3,98	2310	771	193	4,45	1830	609	152
3,99	2300	767	192	4,46	1820	606	152
4,00	2290	763	191	4,47	1810 ;	604	151
4,01	2280	759	190	4,48	1800	601	150
4,02	2260	755	189	4,49	1790	598	150
4,03	2250	751	188	4,50	1790	595	149
4,04	2240	747	187	4,51	1780	592	148
4,05	2230	743	186	4,52	1770	590	147
4,06	2220	739	185	4,53	1760	687	147
4,07	2210	735	184	4,54	1750	584	146
4,08	2190	732	183	4,55	1740	581	145
4,09	2180	728	182	4,56	1740	579	145
4,10	2170	724	181	4,57	1730	576	144
4,11	2160	720	180	4,58	1720	573	143
4,12	2150	717	179	4,59	1710	571	143
4,13	2140	713	178	4,60	1700	568	142
4,14	2130	710	177	4,61	1700	565	141
4,15	2120	706	176	4,62	1690	563	141
4,16	2110	702	176	4,63	1680	560	140
4,17	2100	699	175	4,64	1670	558	139

Продовження додатка В

1	2	3	4	5	6	7	8
4,65	1670	555	139	5,12	1350	451	113
4,66	1660	553	138	5,13	1350	450	113
4,67	1650	550	138	5,14	1340	448	112
4,68	1640	548	137	5,15	1340	446	112
4,69	1640	545	136	5,16	1330	444	111
4,70	1630	543	136	5,17	1330	442	111
4,71	1620	540	135	5,18	1320	440	110
4,72	1610	538	134	5,19	1320	438	110
4,73	1610	535	134	5,20	1310	437	109
4,74	1600	533	133	5,21	1300	435	109
4,75	1590	530	133	5,22	1300	433	108
4,76	1580	528	132	5,23	1290	431	108
4,77	1580	526	131	5,24	1290	429	107
4,78	1570	523	131	5,25	1280	428	107
4,79	1560	521	130	5,26	1280	426	106
4,80	1560	519	130	5,27	1270	424	106
4,81	1550	517	129	5,28	1270	422	106
4,82	1540	514	129	5,29	1260	421	105
4,83	1540	512	128	5,30	1260	419	105
4,84	1530	510	128	5,31	1250	417	104
4,85	1520	507	127	5,32	1250	415	104
4,86	1520	505	126	5,33	1240	414	103
4,87	1510	503	126	5,34	1240	412	103
4,88	1500	501	125	5,35	1230	410	103
4,89	1500	498	125	5,36	1230	409	102
4,90	1490	496	124	5,37	1220	407	102
4,91	1480	494	124	5,38	1220	405	101
4,92	1480	492	123	5,39	1210	404	101
4,93	1470	490	123	5,40	1210	402	101
4,94	1460	488	122	5,41	1200	400	100
4,95	1460	486	122	5,42	1200	399	99,7
4,96	1450	484	121	5,43	1190	397	99,4
4,97	1440	481	120	5,44	1190	396	99,0
4,98	1440	479	120	5,45	1180	394	98,6
4,99	1430	477	119	5,46	1180	392	98,2
5,00	1430	475	119	5,47	1170	391	97,6
5,01	1420	473	118	5,48	1170	389	97,3
5,02	1410	471	118	5,49	1160	388	97,0
5,03	1410	469	117	5,50	1160	386	96,6
5,04	1400	467	117	5,51	1150	385	96,2
5,05	1400	465	116	5,52	1150	383	95,8
5,06	1390	463	116	5,53	1140	382	95,4
5,07	1380	461	115	5,54	1140	380	95,0
5,08	1380	459	115	5,55	1140	379	94,6
5,09	1370	457	114	5,56	1130	377	94,3
5,10	1370	455	114	5,57	1130	376	93,8
5,11	1360	453	113	5,58	1120	374	93,5

Продовження додатка В

1	2	3	4	5	6	7	8
5,59	1120	373	93,1	5,85	1010	337	84,3
5,65	1090	364	91,0	5,86	1010	336	84,0
5,66	1090	363	90,7	5,87	1000	334	83,6
5,67	1080	361	90,3	5,88	999	333	83,3
5,68	1080	360	90,0	5,89	995	332	82,9
5,69	1070	358	89,7	5,90	992	331	82,6
5,70	1070	357	89,3	5,91	988	329	82,3
5,71	1070	356	89,0	5,92	984	328	82,0
5,72	1060	354	88,6	5,93	980	327	81,7
5,73	1060	353	88,3	5,94	977	326	81,4
5,74	1050	351	87,9	5,95	973	324	81,1
5,75	1050	350	87,6	5,60	1110	371	92,7
5,76	1050	349	87,3	5,61	1110	370	92,4
5,77	1040	347	86,9	5,62	1100	368	92,0
5,78	1040	346	86,6	5,63	1100	367	91,7
5,79	1030	345	86,3	5,64	1100	365	91,4
5,80	1030	343	85,9	5,96	969	323	80,8
5,81	1030	342	85,6	5,97	966	322	80,5
5,82	1020	341	85,3	5,98	962	321	80,2
5,83	1020	339	84,9	5,99	959	320	79,9
5,84	1010	338	84,6	6,00	955	318	79,6

Примітки:

1. Позначення $2d_5$ і $4d_{2,5}$ показують, що для визначення числа твердості при дослідженні кулькою $D = 5$ мм діаметр одержаного відтиска треба помножити на 2, а при дослідженні кулькою $D = 2,5$ мм – на чотири.

Наприклад, для відтиска $d = 1,85$ мм, одержаного при дослідженні кулькою $D = 5$ мм при навантаженні 7354 Н, тобто при $P = 30D^2$ (співвідношення між навантаженням P і діаметром кульки визначається за даними табл. 3.1), по відтиску $1,85 \cdot 2 = 3,70$ мм за даними додатку 2 визначаємо твердість, що відповідає 2690 Н/мм^2 .

2. У таблицю введена позасистемна одиниця ньютон на квадратний міліметр, яка є допустимою і дозволяється ДСТУ.

Додаток Г
Переведення чисел твердості, визначених різними методами

Діаметр відтиска, мм	Твердість за Брінеллем	Твердість за Роквеллом			Діаметр відтиска, мм	Твердість за Брінеллем	Твердість за Роквеллом		
		шкала	шкала	шкала			шкала	шкала	шкала
		С	А	В			С	А	В
2,20	7800	72	89	–	2,80	4770	49	76	–
2,25	7450	70	87	–	2,85	4610	48	75	–
2,30	7120	68	86	–	2,90	4440	46	74	–
2,35	6820	66	85	–	2,95	4290	45	73	–
2,40	6530	64	84	–	3,00	4150	44	72	–
2,45	6270	62	83	–	3,05	4010	42	71	–
2,50	6010	60	82	–	3,10	3880	41	71	–
2,55	5720	58	81	–	3,15	3750	40	70	–
2,60	5550	56	79	–	3,20	3630	39	70	–
2,65	5340	54	78	–	3,25	3520	38	69	–
2,70	5140	52	77	–	3,30	3410	37	68	–
2,75	4950	50	76	–	3,35	3310	36	68	–
3,40	3210	35	67	–	4,75	1590	–	–	83
3,45	3110	34	67	–	4,80	1560	–	–	82
3,50	3020	33	67	–	4,85	1530	–	–	81
3,55	2930	31	66	–	4,90	1490	–	–	80
3,60	2860	30	66	–	4,95	1460	–	–	78
3,65	2770	29	65	–	5,00	1430	–	–	76
3,70	2690	28	65	–	5,05	1400	–	–	76
3,75	2620	27	64	–	5,10	1370	–	–	75
3,80	2550	26	64	–	5,15	1340	–	–	74
3,85	2480	25	63	–	5,20	1310	–	–	72
3,90	2410	24	63	100	5,25	1280	–	–	71
3,95	2350	23	62	99	5,30	1260	–	–	69
4,00	2280	22	62	98	5,35	1240	–	–	69
4,05	2230	21	61	97	5,40	1210	–	–	67
4,10	2170	20	61	97	5,45	1180	–	–	66
4,15	2120	19	60	96	5,50	1160	–	–	65
4,20	2070	18	60	95	5,55	1140	–	–	64
4,25	2020	16	59	94	5,60	1120	–	–	62
4,30	1960	15	58	93	5,65	1090	–	–	61
4,35	1920	15	58	92	5,70	1070	–	–	59
4,40	1870	–	57	91	5,75	1050	–	–	58
4,45	1830	–	56	89	5,80	1030	–	–	57
4,50	1790	–	56	88	5,85	1010	–	–	56
4,55	1740	–	55	87	5,90	990	–	–	54
4,60	1700	–	–	86	5,95	970	–	–	53
4,65	1660	–	–	85	6,00	960	–	–	52
4,70	1630	–	–	84	6,10	920	–	–	49

Додаток Д

Таблиця переведення чисел твердості Віккерса, Брінелля, Роквелла, та відповідні їм значення границі витривалості σ_B

Віккерс HV	Брінелль HB ₃₀₀₀	Роквелл HRB	σ_B МПа	Віккерс HV	Брінелль HB ₃₀₀₀	Роквелл HRC	σ_B МПа	Віккерс HV	Роквелл HRC
100	100	52,4	340	240	240	20,3	810	940	47,5
105	105	57,5	360	245	245	21,2	830	500	48,2
110	110	60,9	370	250	250	22,1	850	520	49,6
115	115	64,1	390	255	255	23,0	870	540	50,8
120	120	67,0	410	260	260	23,9	880	560	52,0
125	125	69,8	420	265	265	24,8	900	580	53,1
130	130	72,4	440	270	270	25,6	920	600	54,2
135	135	74,7	460	275	275	26,4	930	620	55,4
140	140	76,6	480	280	280	27,2	950	640	56,5
145	145	78,3	490	285	285	28,0	970	660	57,5
150	150	79,9	510	290	290	28,8	990	680	58,4
155	155	81,4	530	295	295	29,5	1000	700	59,3
160	160	82,8	540	300	300	30,2	1020	720	60,2
165	165	84,2	560	310	310	31,6	1050	740	61,1
170	170	85,6	580	320	319	33,0	1080	760	62,0
175	175	87,0	590	330	328	34,2	1110	780	62,8
180	180	88,3	610	340	336	35,3	1140	800	63,6
185	185	89,5	630	350	344	36,3	1170	820	64,3
190	190	90,6	650	360	352	37,2	1200	840	65,1
195	195	91,7	660	370	360	38,1	1220	860	65,8
200	200	92,8	680	380	368	38,9	1250	880	66,4
205	205	93,8	700	390	376	39,7	1280	900	67,0
210	210	94,8	710	400	384	40,5	1310		
215	215	95,7	730	410	392	41,3	1330		
220	220	96,6	750	420	400	42,1	1360		
225	225	97,5	760	430	408	42,9	1390		
230	230	98,4	780	440	416	43,7	1410		
235	235	99,2	800	450	425	44,5	1440		
240	240	100,0	810	460	434	45,3	1470		
				470	443	46,1	1510		
				480	452	46,8	1540		

Примітка. Похибка переведення чисел твердості за Віккерсом:

в одиниці Брінелля – $\pm HB20$,

в одиниці Роквелла – до $\pm HRC (HRB) 3$,

в значення σ_B – до 10%

Додаток Е

Твердість (Н/мм², МПа) при випробуванні алмазною квадратною пірамідою з двограним кутом біля вершини 136° для різних навантажень

діагональ відпечатка, мкм	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$P = 0,196 \text{ Н (20г)}$										
0	—	—	—	—	23180	14800	10300	7560	5800	4580
10	3700	3060	2580	2200	1888	1648	1448	1284	1144	1028
20	928	841	766	701	644	594	548	508	473	442
30	412	386	362	340	320	302	286	270	256	244
40	232	220	210	200	196,6	183,2	175,2	168,0	161,0	154,4
50	148,4	142,6	137,2	132,0	127,2	122,6	118,2	114,2	110,2	106,6
60	103,0	99,6	95,6	93,4	90,6	87,8	85,2	82,6	80,2	78,0
70	75,6	73,6	71,6	69,6	67,8	66,0	64,2	62,6	61,0	59,4
80	58,0	56,6	55,2	53,8	52,6	51,4	50,2	49,0	48,0	46,8
90	45,8	44,8	43,8	42,8	42,0	41,0	40,2	39,4	38,6	37,8
100	37,0	36,4	35,6	35,0	34,2	33,6	33,0	32,4	31,8	31,2
110	30,6	30,2	29,6	29,9	28,6	28,0	27,6	27 0	26,6	26,2
120	25,8	25,4	25,0	24,6	24,2	23,8	23,4	23,0	22,6	22,2
130	22,0	21,6	21,2	21,0	20,6	20,4	20,0	19,76	19,48	19,20
140	18,92	18,66	18,40	18,14	17,88	17,64	17,40	17,16	16,94	16,70
150	16,48	16,26	16,06	15,84	15,64	15,44	15,24	15,04	14,86	14,68
160	14,48	14,30	14,14	13,96	13,80	13,62	13,46	13,30	13,14	12,98
170	12,84	12,68	12,54	12,40	12,26	12,12	11,98	11,84	11,70	11,58
180	11,44	11,32	11,20	11,08	10,96	10,84	10,72	10,60	10,50	10,38
190	10,28	10,16	10,06	9,96	9,86	9,76	9,66	9,56	9,46	9,36
200	9,28	9,16	9,08	9,00	8,92	8,84	8,76	8,64	8,56	8,48
210	8,41	8,32	8,24	8,16	8,12	8,04	7,96	7,88	7,80	7,72
220	7,66	7,60	7,52	7,48	7,40	7,32	7,28	7,20	7,12	7,08
230	7,01	6,96	6,88	6,84	6,76	6,72	6,68	6,60	6,56	6,48
240	6,44	6,38	6,34	6,28	6,22	6,18	6,12	6,08	6,04	5,98
250	5,94	5,88	5,84	5,80	5,74	5,70	5,66	5,62	5,58	5,52
260	5,48	5,44	5,40	5,36	5,32	5,28	5,24	5,20	5,16	5,12
270	5,08	5,06	5,02	4,98	4,94	4,90	4,86	4,84	4,80	4,76
280	4,73	4,70	4,66	4,64	4,60	4,56	4,54	4,50	4,48	4,44
290	4,42	4,38	4,36	4,32	4,30	4,26	4,24	4,20	4,18	4,14
300	4,12	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Продовження додатка Е

діагональ відпечатка, МКМ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$P = 0,450H (50г)$										
0	—	—	—	—	—	137100	125750	118900	114500	11450
10	9250	7650	6450	5500	4730	4120	3620	3210	2860	2570
20	2320	2100	1920	1750	1610	1480	1370	1270	1180	1105
30	1030	965	905	850	800	755	715	675	640	610
40	580	550	525	500	479	458	438	420	402,5	385
50	371	356,5	343	330	318	306,5	295,5	285,5	275,5	266,5
60	257,5	249,0	239,0	233,5	226,5	219,5	213,0	206,5	200,5	195,0
70	189,0	184,0	179,0	174,0	169,5	165,0	160,5	156,5	152,5	148,5
80	145,0	141,5	138,0	134,5	131,5	128,5	125,5	122,5	120,0	117,0
90	114,5	112,0	109,5	107,0	105,0	102,5	100,5	98,5	96,5	94,5
100	92,5	91,0	89,0	87,5	85,0	84,0	82,5	81,0	79,5	78,0
110	76,5	75,5	74,0	72,5	71,5	70,0	69,0	67,5	66,5	65,5
120	64,5	63,5	62,5	61,5	60,5	59,5	58,5	57,5	56,5	55,5
130	54,5	54,0	53,0	52,5	51,5	51,0	50,0	49,4	48,7	48,0
140	47,3	46,6	46,0	45,3	44,7	44,1	43,5	42,9	42,4	41,8
150	41,2	40,7	40,2	39,5	39,1	38,6	38,1	37,6	37,2	36,7
160	36,2	35,8	35,4	34,9	34,5	34,1	33,7	33,2	32,8	32,5
170	32,1	31,7	31,4	31,0	30,7	30,3	30,0	29,6	29,3	29,0
180	28,6	28,3	23,0	27,7	27,4	27,1	26,8	26,5	26,3	26,0
190	25,7	25,4	25,2	24,9	24,7	24,4	24,1	23,9	23,6	23,4
200	23,5	22,9	22,7	22,5	22,3	22,1	21,9	21,6	21,4	21,2
210	21,0	20,8	20,6	20,4	20,3	20,1	19,9	19,7	19,5	19,3
220	19,2	19,0	18,8	18,7	18,5	18,3	18,2	18,0	17,8	17,7
230	17,5	17,4	17,2	17,1	16,9	16,8	16,7	16,5	16,4	16,2
240	16,1	16,0	15,9	15,7	15,5	15,4	15,3	15,2	15,1	15,0
250	14,8	14,7	14,6	14,5	14,4	14,3	14,2	14,1	14,0	13,8
260	13,7	13,6	13,5	13,4	13,3	13,2	13,1	13,0	12,9	12,8
270	12,7	12,6	12,5	12,4	12,3	12,2	12,15	12,10	12,00	11,90
280	11,80	11,74	11,66	11,6	11,50	11,40	11,30	11,25	11,20	11,10
290	11,05	11,00	10,90	10,80	10,70	10,65	10,60	10,50	10,40	10,35
300	10,30	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Продовження додатка Е

діагональ відпечатка, МКМ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$P = 0,981H (100г)$										
0	—	—	—	—	—	74200	51500	37800	29000	22900
10	18500	15300	12900	11000	9460	8240	7240	6420	5720	5290
20	4640	4200	3830	3500	3220	2970	2740	2540	2360	2210
30	2060	1930	1810	1700	1600	1510	1430	1350	1280	1220
40	1160	1100	1050	1000	958	916	876	840	805	772
50	742	713	686	660	636	613	591	571	551	533
60	515	498	478	467	453	439	426	413	401	390
70	378	368	358	348	339	330	321	313	305	297
80	290	283	276	269	263	257	251	245	240	234
90	229	224	219	214	210	205	201	197	193	189
100	185	182	178	175	171	168	165	162	159	156
110	153	151	147	145	143	140	138	135	133	131
120	129	127	125	123	121	119	117	115	113	111
130	110	108	106	105	103	102	100	98,8	97,4	96,0
140	94,6	93,3	92,0	90,7	89,4	88,2	87,0	85,8	84,7	83,5
150	82,4	81,3	80,3	79,2	78,2	77,2	76,2	75,2	74,3	73,4
160	72,4	71,5	70,7	69,8	69,0	68,1	67,3	66,5	65,7	64,9
170	64,2	63,4	62,7	62,0	61,3	60,6	59,9	59,2	58,5	57,9
180	57,2	56,6	56,0	55,4	54,8	54,2	53,6	53,0	52,5	51,9
190	51,4	50,8	50,3	49,8	49,3	48,8	48,3	47,8	47,3	46,8
200	46,4	45,8	45,4	45,0	44,6	44,2	43,8	43,2	42,8	42,4
210	42,0	41,6	41,2	40,8	40,6	40,2	39,8	39,4	39,0	38,6
220	38,3	38,0	37,6	37,4	37,0	36,6	36,4	36,0	35,6	35,4
230	35,0	34,8	34,4	34,2	33,8	33,6	33,4	33,0	32,8	32,4
240	32,2	31,9	31,7	31,4	31,1	30,9	30,6	30,4	30,2	29,9
250	29,7	29,4	29,2	29,0	28,7	28,5	28,3	28,1	27,9	27,6
260	27,4	27,2	27,0	26,8	26,6	26,4	26,2	26,0	25,8	25,6
270	25,4	25,3	25,1	24,9	24,7	24,5	24,3	24,2	24,0	23,8
280	23,6	23,5	23,3	23,2	23,0	22,8	22,7	22,5	22,4	22,2
290	22,1	21,9	21,8	21,6	21,5	21,3	21,2	21,0	20,9	20,7

Література

1. Алаи С. И. Практикум по машиноведению: [учебн. пособие для студентов пед. институтов]. / Алаи С. И., Ежевская Р. А., Антоненко У. И.; под общ. ред. Ежевской Р. А. – М.: Просвещение, 1985. – 304 с.
2. Атаманюк В. В. Технологія конструкційних матеріалів. / Атаманюк В. В. – К.: Кондор, 2009. – 528 с.
3. Гарнець В. М. Матеріалознавство: підручник. / В. М. Гарнець. – К.: Кондор, 2010. – 386 с.
4. Лившиц Б. Г. Металлографія. – [3-е изд., перераб. и дополн.] / Б. Г. Лившиц. – М.: Металлургия, 1990. – 236 с.
5. Нікіфоров В. М. Технологія металів і конструкційні матеріали. / Нікіфоров В. М. – К.: Вища школа. Головне видавництво, 1984. – 344 с.
6. Основи матеріалознавства / [Сиротюк М., Чернець М., Опеляк М., Сиротюк А.]; за заг. ред. Чернеця М. В., Сиротюка А. М. – Дрогобич: Вид. Дрогобицького держ. педагогічного уні-ту ім. Івана Франка; Коло, 2007. – 352 с.
7. Петрина Ю. Д. Підвищення довговічності деталей насосів та компресорів нафтогазової промисловості ультразвуковим зміцненням / Ю. Д. Петрина, Р. С. Яким, А. В. Швадчак // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2005. – №3 (12). – С.36 – 41.
8. Пороки древесины. Классификация, термины и определения, способы измерения: ГОСТ 2140–81 (СТ СЭВ 2017-79, СТ СЭВ 2018-79, СТ СЭВ 2019-79, СТ СЭВ 320-76, СТ СЭВ 321-76, СТ СЭВ 391-76). [Чинний від 1982–01–01]. – М.: Издательство стандартов, 1981. – 112 с. (Государственный стандарт СССР).
9. Попович В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство : навчальний посібник для вищих навчальних закладів. У 2-х книгах. Книга I (Частина I, II, III) / В. Попович. – Львів: Видавництво Папуга, 2003. – 264 с.
10. Попович В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство : навчальний посібник для вищих навчальних закладів. У 2-х книгах. Книга II (Частина IV, V, VI, VII, VIII) / В. Попович. – Львів: Видавництво Папуга, 2002. – 210 с.
11. Практические вопросы испытания металлов / [Э. Беккер, И. Кёстер, Г. Фрейер и др.]; пер. с нем. под ред. О. П. Елютина. – М.: Металлургия, 1979. – 280 с.
12. Рудик Д. Ф. Технологія металів та інших конструкційних матеріалів. Лабораторний практикум / Рудик Д. Ф. – К.: Видавниче об'єднання «Вища школа» Головне видавництво, 1975. – 160 с.

13. Самохоцкий А. И. Лабораторные работы по металловедению и термической обработке металлов. – [3-е изд., перераб. и дополн.] / А. И. Самохоцкий, М. Н. Кунявский. – М.: Машиностроение, 1981. – 174 с.
14. Справочник по практическому металловедению / [Пилушенко В. Л., Винокур Б.Б., Кондратюк С.Е. и др.] – К.: Техніка, 1981. – 135 с.
15. Структурний аналіз металів. Металографія. Фрактографія / [Бялік О. М, Кондратюк С. Є., Кіндрачук М. В., Черненко В. С.]. – К.: ВПІ ВПК „Політехніка”, 2006. – 328 с.
16. Технологія конструкційних матеріалів. / [М. А. Сологуб, І. О. Рожнецький, О. І. Некоз та ін.]; за ред. М. А. Сологуба. – К.: Вища школа, 2002. – 374 с.
17. Технологія матеріалів, зміцнення та виготовлення деталей машин / [М. Сиротюк, М. Чернець, М. Опеляк та ін.]. – Дрогобич: РВВ ДДПУ ім. Івана Франка, 2009. – 263 с.
18. Технологія конструкційних матеріалів: лабораторний практикум / Попович В. Д., Яким Р. С., Сиротюк А. М.; під ред. Р. С. Якіма. – Дрогобич: Редакційно-видавничий відділ Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка, 2015. – 112с.
19. Технология конструкционных материалов: учебник для студентов педагогических институтов / Алаи С. И., Григорьев П. М., Ростовцев А. Н.; под ред. А. Н. Ростовцева. – М.: Просвещение, 1986. – 303 с.
20. Уголев Б. Р. Древесиноведение с основами лесного товароведения: учебник для вузов – [2-е изд., перераб. и доп.] – М.: Лесная промышленность, 1986. – 368 с.
21. Яким Р. С. Матеріалознавство: лабораторний практикум / Яким Р. С. – Дрогобич: Коло, 2013. – 168 с.

ДЛЯ НОТАТОК

Навчальне видання

Яким Роман Степанович
Попович Володимир Дмитрович

**МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ТА
ТЕХНОЛОГІЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ**

ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

Редакційно-видавничий відділ
Дрогобицького державного педагогічного університету
імені Івана Франка

Головний редактор видавництва
Ірина Невмержицька

Комп'ютерний набір
Яким Роман Степанович, Попович Володимир Дмитрович

Здано до набору ____ 2017 р. Підписано до друку ____ 2017 р.

Формат 60×90/16. Папір офсетний. Шрифт Times.

Наклад 100 прим. Ум. друк. арк. ____ Зам. № ____.

Редакційно-видавничий відділ Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка (свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру видавців, виробників і розповсюджувачів видавничої продукції ДК №2155 від 12.04.05)

82100, м. Дрогобич, вул. І.Франка, 24, кім. 43, тел.: 032/42-23-78.