

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»



*Кафедра конструювання
технічної естетики і дизайну*

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання лабораторних робіт
з дисциплін **«Сучасні методи зміцнення матеріалів»**
для студентів галузі знань 13 «Механічна інженерія» спеціальності 132
«Матеріалознавство»

Дніпро
2021

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Сучасні методи зміцнення матеріалів» для студентів галузі знань 13 «Механічна інженерія» спеціальності 132 «Матеріалознавство» / Укладачі: Д.В. Лаухін, Н.О. Ротт – Дніпро: НТУ ДП, 2021

Затверджено на засіданні кафедри конструювання, технічної естетики і дизайну, протокол №1 від 28 серпня 2021 р.

Схвалено та рекомендовано до друку науково-методичною комісією зі спеціальності 132 Матеріалознавство механіко- машинобудівного факультету НТУ «Дніпровська політехніка» (протокол №1 від 06.10.2021 р.)

Затверджено до видання редакційною радою НТУ «ДП» (протокол № 12 від 21.12.2021).

ЗМІСТ

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1. ВИПРОБУВАННЯ НА РОЗТЯГ ..	4
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2. ВПЛИВ ПЕРЛІТНОЇ ПОЛОСЧАТОСТІ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СТАЛЕЙ.	12
ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СТАЛЕЙ ПРИ ПОДРІБНЕННІ ЇХ ЗЕРЕН.....	14
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4. ВИЗНАЧЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ЗМІНИ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПРИ ДИСЛОКАЦІЙНОМУ ЗМІЩЕННІ	16
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5. ВИПРОБУВАННЯ НА УДАРНИЙ ВИГИН.....	19
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	47
Додаток А. Вибір діаметра кульки, навантаження і часу витримки в залежності від твердості та товщини досліджуваного зразка	48
Додаток Б. Складання вантажів	49
Додаток В. Співвідношення між числами твердості металів і сплавів (орієнтовні).....	50

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1. ВИПРОБУВАННЯ НА РОЗТЯГ

1.1. Завдання та мета роботи

1. Провести випробування зразків на розтяг.
2. Вивчити :
 - а) методику визначення за діаграмою розтягу навантажень границі пропорційності і плинності;
 - б) методику визначення відносного подовження і відносного звуження;
 - в) порядок підготовки зразків до випробування на розтяг;
 - г) будову універсальної випробувальної машини FT-100;
 - д) порядок проведення випробувань на розтяг.
3. За результатами випробувань зразків визначити : границю пропорційності $\sigma_{пц}$; границю плинності фізичну σ_t або умовну $\sigma_{0.2}$; границю міцності σ_b ; відносне подовження δ і відносне звуження ψ .
4. Результати випробувань на розтяг подати у вигляді протоколу.
5. Скласти звіт за результатами випробувань у відповідності з пунктами 1.2 а ...1.2 г; 1.3; 1.4 завдання.

Матеріальне забезпечення: випробувальна машина FP-100; зразки для випробування на розтяг; штангенциркуль ШЦ-1-125-0,1; мікрометр МК-25-1; лінійка з поділами; папір для запису діаграми; пристрій для нанесення кернів.

1.2. Основні положення

Властивості матеріалів оцінюють механічними випробуваннями зразків, тобто деформуванням тіл визначених розмірів та форми. Механічні характеристики, що визначають при випробуваннях, використовують при розробці всіляких технологічних режимів, при розрахунках і проектуванні елементів обладнання, а також для контролю виробів і металу.

Випробування на розтяг є найбільш розповсюдженим видом випробувань матеріалів, тому що при їх проведенні найбільш яскраво виявляються характеристики міцності і пластичності матеріалів.

При статичних випробуваннях на розтяг визначають основні механічні характеристики матеріалів: границю пропорційності $\sigma_{пц}$; границю пружності $\sigma_{0.05}$; границю плинності фізичну σ_t або умовну $\sigma_{0.2}$; границю міцності або тимчасовий опір розриву σ_b ; дійсний опір розриву S_k і величини, які характеризують пластичність матеріалів: відносне подовження після розриву δ і відносне звуження ψ після розриву.

Результати випробувань зразків на розтяг можна найбільш наочно представити діаграмою, яка виражає залежність подовження від навантаження (рис. 1.3).

Діаграма розтягу дає можливість визначити границю плинності, границю міцності і відносне подовження. Ці характеристики мають велике значення як при виборі матеріалу для елементів конструкції, так і при розрахунках їх на міцність. При випробуваннях на розтяг можливо також виявити вплив наклепу на зміну механічних властивостей матеріалів.

Границю пропорційності і границю пружності за діаграмою визначити дуже складно, тому що для цього необхідні більш точні виміри.

1.3. Зразки та їх підготовка до випробувань

Результати випробувань на розтяг залежать не тільки від властивостей матеріалу, але і від форми та розмірів зразків, що підлягають випробуванню, а також від умов їх навантаження.

Для випробування на розтяг застосовують циліндричні або плоскі зразки (рис. 1.1). За ГОСТ 1497–84 рекомендується застосовувати циліндричні зразки діаметром 3 мм і більше, а плоскі товщиною 0,5 мм і більше з початковою розрахунковою довжиною $l_0 = 5,65\sqrt{F_0}$ або $l_0 = 11,3\sqrt{F_0}$. Зразки з розрахунковою довжиною $l_0 = 5,65\sqrt{F_0}$ називаються короткими, а зразки $l_0 = 11,3\sqrt{F_0}$ – довгими.

На робочій частині зразків не повинно бути слідів механічної обробки, забоїн та інших дефектів; зразки мають бути без кривизни та гартівних тріщин.

Перед випробуванням вимірюють поперечний переріз зразків (у циліндричних – початковий діаметр робочої частини d_0 , мм, а у плоских – початкову товщину робочої частини a_0 , мм і початкову ширину b_0 , мм). Точність виміру циліндричних зразків діаметром 10 мм і менше і плоских зразків товщиною 2 мм і менше – до 0,01 мм. Вимірюють у трьох місцях по довжині робочої частини зразка (в середині і по краях). Отримані найменші розміри записують у графу 2 протоколу випробувань, обчислюють площу поперечного перерізу зразка F_0 і записують у графу 3 протоколу випробувань. Щоби після випробування визначити подовження, вимірюють початкову розрахункову довжину l_0 зразка з точністю до 0,1 мм і записують у графу 4 протоколу випробувань. Встановлена початкова розрахункова довжина l_0 обмежується неглибокими кернами, рисками або іншими мітками.

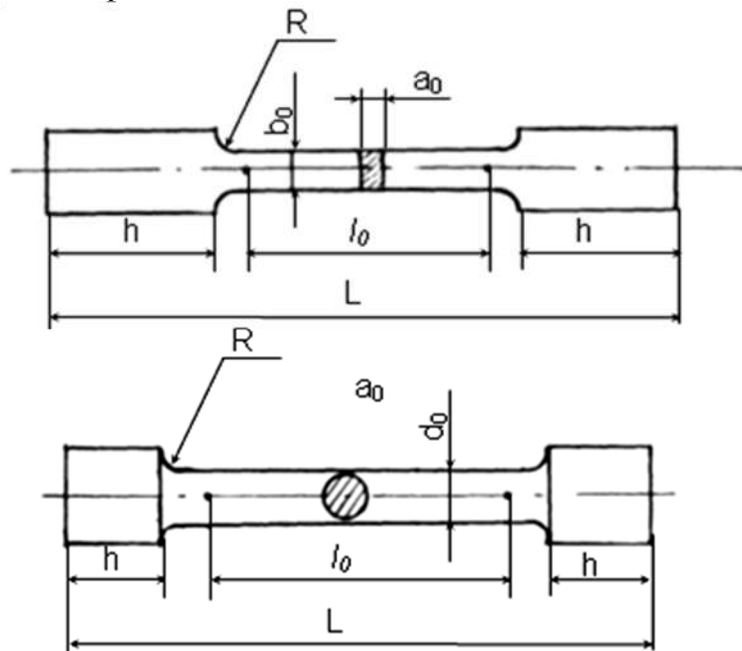


Рис. 1.1. Стандартні зразки для випробувань на розтяг:

h – довжина головки, за допомогою якої зразок закріплюється в затискувачах машини; l_0 – початкова розрахункова довжина зразка; R – радіус заокруглення перехідної частини; d_0 – початковий діаметр робочої частини циліндричного зразка; a_0 – початкова товщина робочої частини плоского зразка;

b_0 – початкова ширина робочої частини плоского зразка; L – загальна довжина зразка.

1.4. Будова випробувальної машини FP-100

Універсальна машина FP-100 складається з пристрою, для навантаження 2 і шафи керування 8. Власне процес навантаження зразка або деталі відбувається в пристрої навантаження, на якому встановлюються також затискні пристрої 5 і датчики для виміру зусиль у діапазоні $2 \cdot 10^{-4} \dots 100$ кН. Необхідну для цього енергію забезпечує приводний пристрій, що розміщується в шафі керування. Приводний пристрій, що включає в себе тиристорний випрямлювач зі схемою керування, електродвигун постійного струму і 4-х ступінчасту коробку передач 7, забезпечує широкий діапазон швидкостей проведення випробування (швидкостей деформації).

Вимір зусиль навантаження виконується з малою інерційністю змінними електронними динамометричними датчиками з похибкою 1% від вимірюваної величини за принципом виміру переміщень індукційним методом, які розташовані на верхній траверсі 6.

Результати вимірів в аналоговому виді відображаються індикатором з круговою шкалою, крім цього вони можуть реєструватися діаграмним апаратом 10 і видаватися у вигляді аналогового сигналу напруги з виходу «10В, вихід постійного струму», до якого можуть бути підключені периферійні пристрої у вигляді друкуючої приставки, графічного реєстратора або обчислювача для запам'ятовування, відображення або цифрової обробки вихідного сигналу.

Переміщення траверси з чотирма коефіцієнтами передачі (1:4, 1:1, 4:1, 10:1) механічно видається на діаграмний апарат і додатково може реєструватися цифровим пристроєм індикації.

Діаграмний апарат дозволяє реєструвати зусилля навантаження в залежності від часу.

Керування роботою випробувальної машини здійснюється за допомогою рукояток і кнопок, розташованих на панелі керування 12 і кнопковою станцією 4. Загальний вигляд випробувальної машини FP – 100 наведено на рис. 1.2.

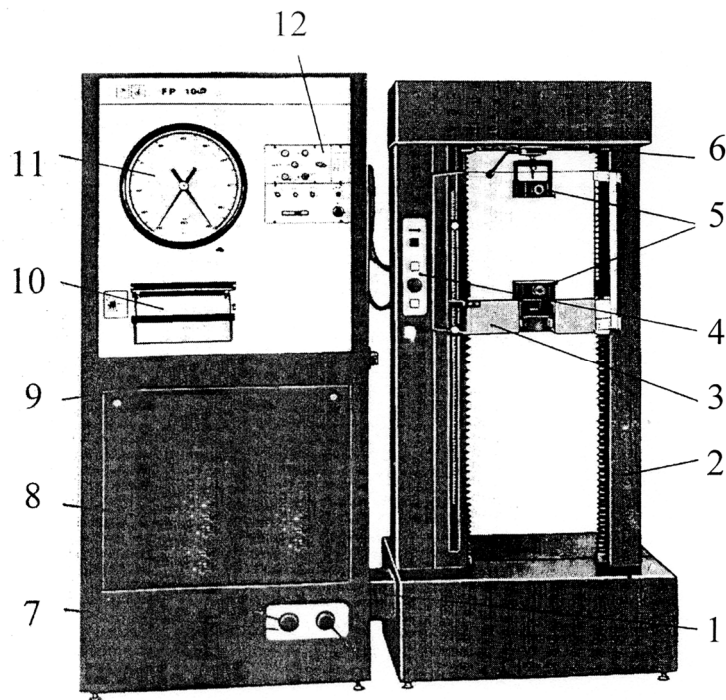


Рис. 1.2. Загальний вигляд універсальної випробувальної машини FP-100: 1 – муфта приводу, 2 – силова рама, 3 – рухома траверса, 4 – кнопкова станція, 5 – тримачі, 6 – верхня траверса з силовим вимірювачем, 7 – коробка передач, 8 – пульт керування, 9 – пакетний вимикач, 10 – діаграмний апарат, 11 – шкала силовимірювача, 12 – панель керування.

1.5. Проведення випробування

Для проведення випробування необхідно:

- 1) підготовлений для випробування зразок помістити в затискувачі 5 машини;
- 2) ввімкнути електродвигун кнопкою 4; швидкість переміщення рухомої траверси при випробуванні встановлюється: до границі плинності – не більше 0,1, за границею плинності – не більше 0,4 від розрахункової довжини зразка, вираженої в мм/хв;
- 3) спостерігати за переміщенням стрілки по шкалі 11 (рис. 1.2), зафіксувати крайнє праве положення, до якого дійде стрілка, тобто найбільше навантаження $P_{\max}$, що передуює руйнуванню зразка, і записати його в графу 8 протоколу випробування;
- 4) після розриву зразка вимкнути електродвигун, обидві частини зразка вийняти з затискувачів і зняти з діаграмного апарата 10 частину паперової стрічки з записаною діаграмою.

1.5.1. Визначення границі міцності (тимчасового опору)

Границю міцності при розтяганні σ_B , Па, визначають за формулою:

$$\sigma_B = \frac{P_{\max}}{F_0} \quad (1.1)$$

і отриманий результат записують у графу 12 протоколу випробувань.

1.5.2. Методика визначення за діаграмою розтягу навантажень границі пропорційності та плинності

На діаграмі розтягу (рис. 1.3) по вертикальній осі відкладені величини навантажень P , H , а по горизонтальній – величини абсолютних подовжень зразка ΔL , мм.

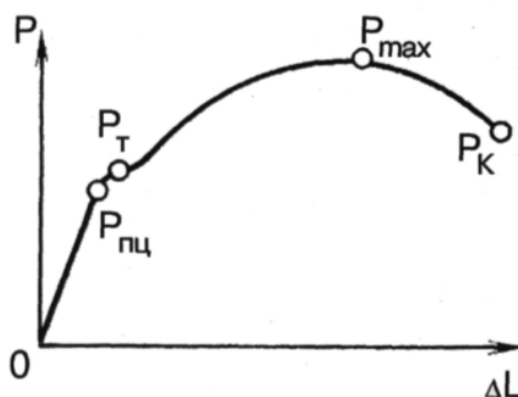


Рис. 1.3. Діаграма розтягу м'якої сталі.

Спочатку, до точки $P_{пц}$, йде пряма лінія. Це означає, що подовження пропорційні навантаженням, прикладеним до випробуваного зразка. Навантаження, яке відповідає точці $P_{пц}$, називається навантаженням границі пропорційності. До границі пропорційності в металі виникають тільки пружні деформації. Якщо навантаження усунути, то зразок повернеться в первісний стан і ніяких залишкових подовжень у зразка виявлено не буде.

При подальшому підвищенні навантаження прямолінійність порушується і пряма переходить у криву, тобто відбувається порушення пропорційності між навантаженням і подовженням, і в зразку починають виникати залишкові подовження. При розтязі зразка низьковуглецевої сталі з підвищенням навантаження вище $P_{пц}$ починається значне відхилення кривої, яка потім переходить у горизонтальну або майже горизонтальну лінію, це вказує на те, що в цей момент подовження зразка збільшується без зростання навантаження. Матеріал ніби тече, тому навантаження, що відповідає горизонтальній ділянці на кривій, називається навантаженням P_T , що відповідає границі плинності фізичній.

Якщо при розтяганні зразка не відбувається утворення горизонтальної площадки, то за навантаження границі плинності приймають навантаження, що викликає залишкове подовження, яке дорівнює 0,2% розрахункової довжини зразка, і позначають P_{02} – навантаження, що відповідає границі плинності умовній.

Після границі плинності навантаження починає збільшуватися до максимуму в точці P_{max} . Найбільше навантаження P_{max} відповідає межі міцності (тимчасовому опору).

Далі в зразку починає утворюватися шийка (місцеве зменшення перерізу зразка), навантаження в зв'язку з цим знижується; нарешті при навантаженні, що відповідає точці P_K , відбувається розрив зразка.

1.5.3. Визначення навантаження границі пропорційності

Провести пряму ОА (рис. 1.4), що співпадає з прямолінійною ділянкою кривої розтягу. Через точку О провести вісь ординат ОР. Потім на довільній висоті, але в пружних границях кривої розтягу, провести пряму ВС, паралельно абсцис. На прямій ВС відкласти відрізок DE, якій дорівнює половині відрізка DF. Через точку Е і початок координат провести пряму ОМ. Навантаження границі пропорційності $R_{пц}$ визначаються точкою дотику до кривої розтягу прямої НІ, проведеної паралельно прямій ОМ.

Границю пропорційності $\sigma_{пц}$, $\sigma_{Па}$, визначають за формулою:

$$\sigma_{пц} = \frac{R_{пц}}{F_0} \quad (1.2)$$

Отриманий результат записують у графу 9 протоколу випробувань.

Перший спосіб. При наявності на діаграмі розтягу явно вираженої площадки плинності по ній визначають навантаження фізичної границі плинності (рис. 1.5, а).

Границю плинності (фізичну) σ_T , $\sigma_{Па}$, визначають за формулою:

$$\sigma_T = \frac{R_T}{F_0}, \quad (1.3)$$

і отриманий результат записують у графу 10 протоколу випробувань.

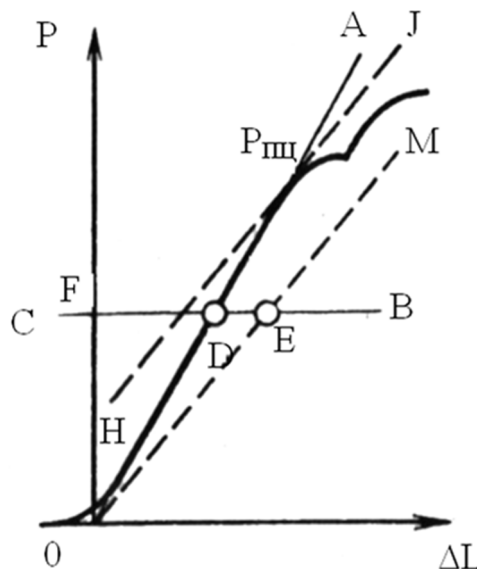


Рис. 1.4. Визначення за діаграмою розтягу навантаження границі пропорційності.

Визначення навантаження границі плинності

Другий спосіб. Якщо на діаграмі розтягу немає площадки плинності, то можна визначити навантаження R_{02} умовної границі плинності, для чого треба провести пряму ОА (рис. 1.5, б), що збігається з прямолінійною ділянкою кривої розтягу. Через точку О провести вісь ординат ОР. Від точки О вправо треба

відкласти ділянку ОВ, величина якої дорівнює величині заданого залишкового подовження, тобто 0,2% від початкової розрахункової довжини зразка (l_0), збільшеної до масштабу діаграми розтягу. З точки В треба провести пряму ВС, паралельну прямій ОА. Точка D перетинання прямої ВС з кривою розтягу визначить висоту ординати, тобто навантаження $P_{0,2}$, що відповідає умовній границі плинності.

Границю плинності (умовну) $\sigma_{0,2}$, Па, визначають за формулою

$$\sigma_{0,2} = \frac{P_{0,2}}{F_0}, \quad (1.4)$$

і отриманий результат записують у графу 11 протоколу випробувань.

1.5.4. Методика визначення відносного подовження і поперечного звуження

Визначення подовження

Для визначення подовження розрахункової частини зразка після розриву обидві частини розірваного зразка щільно прикладають одну до іншої. Якщо після випробування зразка в місці розриву утвориться зазор, то він включається в довжину розрахункової частини зразка після розриву. Довжину l_k зразка після розриву визначають виміром відстані між кернами (рисками), що обмежують розрахункову довжину зразка.

Відносне подовження δ , %, визначають за формулою:

$$\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} \cdot 100\%, \quad (1.5)$$

і отриманий результат записують у графу 15 протоколу випробувань.

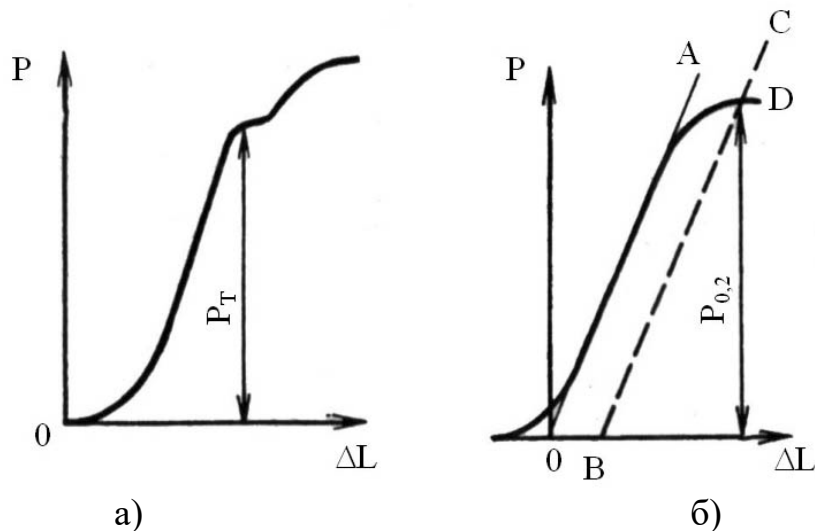


Рис. 1.5. Визначення за діаграмою розтягу навантаження границі плинності.

Визначення поперечного звуження

При розтяганні в місці розриву зразка утворюється шийка, тобто зменшується поперечний переріз зразка. Різниця між початковою площею

поперечного перерізу F_0 зразка і площею поперечного перерізу F_k у місці розриву дає величину абсолютного звуження.

Початкова площа поперечного перерізу F_0 відома.

Щоб одержати площу поперечного перерізу F_k в місці розриву круглого зразка, потрібно діаметр зразка в місці розриву вимірити в двох взаємно перпендикулярних напрямках і по середньому арифметичному обчислити площу F_k .

Щоб одержати площу F_k у місці розриву плоского зразка, треба вимірити в місці розриву найменшу товщину n і найбільшу ширину m зразка (рис. 1.6).

Добуток n на m дає величину F_k , тобто $F_k = n \cdot m$.

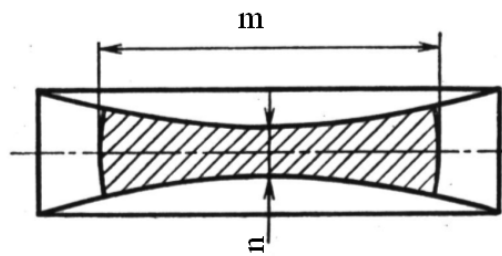


Рис. 1.6. Переріз плоского зразка в місці розриву.

Щоб обчислити відносне звуження ψ у відсотках, треба величину абсолютного звуження $F_0 - F_k$ поділити на початкову площу F_0 і помножити на 100:

$$\psi = \frac{F_0 - F_k}{F_0} \cdot 100\%, \quad (1.6)$$

Отриманий результат записують у графу 16 протоколу випробувань.

ПРОТОКОЛ № _____

Випробувань зразків на розтяг

Матеріал зразка _____, тип зразка _____

Маркування зразка	Початковий діаметр d_0 або розміри поперечного перерізу a_0 і b_0 , мм	Площа поперечного перерізу F_0 , мм ²	Розрахункова довжина l_0 , мм	Зусилля при границі пропорційності $R_{p0.01}$, кН	Зусилля при границі плинності фізичної $R_{p0.01}$, кН	Зусилля при границі плинності умовної $R_{p0.01}$, кН	Зусилля, руйнування зразка, R_{max} , кН	Границя пропорційності $\sigma_{пц}$, МПа	Границя плинності фізична σ_T , МПа	Границя плинності умовна $\sigma_{0.2}$, МПа	Границя міцності σ_B , МПа	Довжина після розриву l_k , мм	Площа поперечного перерізу в місці розриву F_k , мм ²	Відносне подовження δ , %	Відносне звуження ψ , %
-------------------	--	--	---------------------------------	---	---	--	--	--	--	---	-----------------------------------	----------------------------------	--	----------------------------------	------------------------------

1	2	3	4	5	6		7	8	9	10	11	12	13	14	15

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2. ВПЛИВ ПЕРЛІТНОЇ ПОЛОСЧАТОСТІ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СТАЛЕЙ

2.1. Завдання та мета роботи

1. Дослідити вплив перлітної полосчатості у вигляді орієнтованої макроструктури на анізотропію механічних властивостей гарячедеформованих сталей.

2. Провести кількісну оцінку анізотропії механічних характеристик листової сталі 10Г2ФБ.

3. Оцінити перлітну полосчатість і її зв'язок із механічними властивостями сталі 10Г2ФБ.

Прилади, матеріали та інструмент: універсальна розривна машина FP-100, пінцет, штангенциркулі, зразки, ЕКВМ.

Тривалість роботи 4 години.

2.2. Основні положення

Перлітна полосчатість є характерною структурною особливістю гарячекатаних сталей. Вона часто виникає при гарячій деформації сталі в двофазній області ($\alpha + \gamma$). При цьому практично весь вуглець зосереджується в кристалах аустеніту. Під час прокатки зерна аустеніту й фериту набувають форми, що є наближеною до витягнутого еліпсу. При подальшому охолодженні нижче A_{r1} зерна аустеніту, що мають форму витягнутих еліпсів, перетворюються на перліт. Перлітна полосчатість добре спостерігається на мікрошліфах, площа яких паралельна напрямковій гарячій деформації. Перлітна полосчатість гарячекатаних сталей є причиною волокнистої макроструктури цих матеріалів, яку можна спостерігати неозброєним оком.

Перлітна полосчатість (волокниста макроструктура) є причиною знижених властивостей міцності й пластичності у напрямку, перпендикулярному площині колишніх аустенітних зерен, тому що перліт, що є єдиною структурною складовою сталі У8, має низьку пластичність. Крім цього, знижені механічні властивості в зазначеному напрямку можуть бути пов'язані з набуттям плоскої витягнутої форми різними дефектами металургійного походження (газові пухирці, пори, пластичні неметалічні включення).

Тому при виготовленні різних виробів з гарячекатаних сталей напрямки волокон орієнтують уздовж найбільших напружень.

2.3. Порядок виконання роботи

1. Із листа сталі 10Г2ФБ вирізати заготовки вздовж напрямку прокатки й перпендикулярно його площини.

2. Виготовити розривні мікроразки з вирізаних заготовок.
3. Записати діаграми розтягу цих зразків.
4. Визначити величини σ_T , σ_B , δ і ψ .
5. Проаналізувати отримані результати і скласти звіт.

2.4. Методичні вказівки

Під час виконання роботи проводяться іспити на статичний розтяг мікроразків діаметром 2,5 мм і робочою частиною, що має довжину 2,5 мм. Зразки вирізають із листової гарячекатаної сталі 10Г2ФБ у поздовжньому напрямку відносно напрямку гарячої прокатки і перпендикулярно його площини.

Іспити на розтяг проводять на універсальній розривній машині типу ГР-100. Для поздовжніх і перпендикулярних зразків визначають характеристики опору пластичній деформації ($\sigma_{T(0,2)}$, σ_B) і характеристики пластичності (δ , ψ). Кількісну оцінку анізотропії властивостей проводять за коефіцієнтом анізотропії K_A , що визначається як відношення величин досліджуваної механічної характеристики, отриманої на поздовжньому і перпендикулярному зразках.

Отримані дані результатів іспитів записують у таблицю.

Таблиця 2.1.

Вплив напрямку вирізки зразків на властивості при статичному розтязі

Напрямок вирізки	$\sigma_{T(0,2)}$, МПа	σ_B , МПа	δ , %	ψ , %
поздовжній				
перпендикулярний				

Під час аналізу результатів досліджень на основі порівняння механічних характеристик поздовжніх і перпендикулярних зразків необхідно вказати причини розходжень, що спостерігаються, оцінити і пояснити чутливість окремих характеристик до спрямованого розташування дефектів макроструктури.

2.5. Знання, уміння, навички

Студенти мають знати основні параметри макроструктури, основні закономірності впливу макроструктури на механічні властивості.

Мають вміти практично визначати анізотропію механічних властивостей методами кількісної оцінки.

Мають набути навички в урахуванні явища анізотропії механічних властивостей при здавальних іспитах і при раціональному проектуванні діючих навантажень.

2.6. Запитання для самоконтролю

1. Які дефекти відносяться до макроструктури?
2. Як дефекти макроструктури впливають на механічні властивості?
3. Для яких способів одержання металевих виробів або заготовок характерно орієнтоване розташування дефектів макроструктури?
4. Що таке анізотропія механічних властивостей?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3.
ВИЗНАЧЕННЯ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ МЕХАНІЧНИХ
ВЛАСТИВОСТЕЙ СТАЛЕЙ ПРИ ПОДРІБНЕННІ ЇХ ЗЕРЕН

3.1. Завдання та мета роботи

1. Дослідити вплив розміру зерен на опір пластичній деформації та при статичній напрузі.
 2. Дослідити взаємозв'язок між характеристиками міцності й пластичності сталей, випробуваних при статичному розтязі.
 3. Проаналізувати результати вимірів і розрахунків.
- Прилади, матеріали та інструмент: універсальна розривна машина FP-100, штангенциркулі, зразки, фотографії мікроструктур.

3.2. Основні положення

Зміна границі плинності σ_T при подрібненні середнього діаметра зерна d звичайно задовольняє формулі Холла-Петча:

$$\sigma_T = \sigma_0 + \frac{k}{\sqrt{d}},$$

де σ_0 – напруга, необхідна для початку ковзання в сталі при досить великих зернах ($d \approx 1$ мм), k – числовий коефіцієнт.

Величини σ_0 і k залежать від структури сталей і умов іспитів.

Підвищення границі плинності зі зменшенням середнього розміру зерна пов'язане з утворенням скупчень дислокацій на межі зерен. Кожна наступна дислокація наближується до границі за більш високої напруги, ніж попередня. Чим менше величина зерна, тим частіше утворюються такі скупчення і, відповідно, вище мають бути прикладені напруги. Утворення таких скупчень є найбільш характерною рисою початкової стадії пластичної деформації, оскільки смуги ковзання, що спостерігаються металографічно, є ні що інше, як плоскі скупчення дислокацій. Так звані "сліди ковзання" не є слідами дислокацій, що утворили сходінку на зовнішній поверхні зерна, оскільки після проходження дислокації кристалічні ґратки відновлюються. Подрібнення зерна є одним з дуже рідких способів зміцнення, при якому для багатьох сталей спостерігається одночасне підвищення характеристик міцності й пластичності. Наприклад, для сталі 110Г13, 10Г2ФБ та інших. У той же час для деяких сталей, наприклад, 08, 0810 подрібнення зерна підвищує пластичність до визначеної межі, після якої вона знижується.

3.3. Порядок виконання роботи

1. Провести іспит зразків з різним розміром зерна на розтяг.
2. Зробити розрахунки і заповнити таблицю.
3. Проаналізувати результати дослідження.
4. Проаналізувати отримані результати і скласти звіт.

3.4. Методичні вказівки

Для виконання роботи використовуються зразки для іспитів на розтяг, виготовлені зі сталі 110Г13 або низьковуглецевої сталі 10Г2ФБ, що піддаються спеціальній термічній обробці для отримання різного розміру зерна від 10 до 100...150мкм. Для сталі 10Г2ФБ вплив величини зерна на механічні властивості і їх взаємозв'язок визначається для трьох структур:

- феритно-перлітної;
- переважно бейнітної;
- переважно мартенситної.

Зміна зерна сталі 10Г2ФБ досягається швидкісним нагріванням до високих температур і варіацією часу витримки за цієї температури. Попередньо цю сталь гомогенізують протягом години для усунення перлітної полосчатості.

Таблиця 3.1.

Матеріал випробувань	Оброб ка	Розмір зерна, мм	$\sigma_{T(0,2)}$, МПа	σ_{ε} ($\varepsilon=\sigma\%$), МПа	σ_B , МПа	δ , %	δ_p , %	ψ , %	$\sigma_{T\psi}$	$\sigma_{B\psi}$

За даними таблиці 4.1. будуються графіки залежностей $\sigma_{T\psi}$ і $\sigma_{B\psi}$ від σ_T , що порівнюються з іншими способами зміцнення, і робляться висновки.

3.5 Знання, уміння, навички

1. Студенти мають знати основні закономірності впливу розміру зерна на взаємозв'язок механічних властивостей.

2. Мають вміти визначати зв'язок розміру зерна з механічними властивостями металів.

3. Мають одержати навички в урахуванні впливу величини зерна на механічні властивості металів для керування їх властивостями.

3.6 Питання для самоконтролю

1. Як впливає середній розмір зерна на властивості міцності?
2. Як впливає зміна зерна на пластичні властивості?
3. Вкажіть основні закономірності взаємозв'язку механічних властивостей при подрібненні зерен.
4. Опишіть способи подрібнення зерен сталей.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4.

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ЗМІНИ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПРИ ДИСЛОКАЦІЙНОМУ ЗМІЦНЕННІ

4.1. Завдання та мета роботи:

1. Дослідити значення впливу щільності дислокацій на добутки $\sigma_T \delta$, $\sigma_B \delta$, $\sigma_{T\psi}$, $\sigma_{B\psi}$.

2. Дослідити вплив щільності дислокацій і закріплення дислокацій точковими дефектами на взаємозв'язок характеристик міцності й пластичності.

Матеріальне забезпечення: універсальна розривна машина, масляна і водяна ванни, шаблон, мікрометри, пінцет, штангенциркулі, ЕКВМ.

Тривалість роботи – 4 години.

4.2. Основні положення

Згідно із сучасними уявленням поведінка металів під час пластичної деформації під навантаженням у значній мірі визначається особливостями дислокаційної структури. Істотну роль при цьому відіграють щільність дислокацій, характер їх розподілу, взаємодія дислокацій із домішковими атомами введення. Підвищення загальної щільності дислокацій спричиняє збільшення опору пластичній деформації поряд зі зниженням пластичності. Взаємодія дислокацій з атомами, розчиненими за типом введення, веде до блокування

рухливих дислокацій. Це супроводжується підвищенням опору металів і сплавів пластичній деформації і зменшенню пластичності. Зниження рухливості дислокацій через їх блокування також збільшує схильність до крихкого руйнування холодноламкості металів. Дислокаційне зміцнення просто виконується різними типами комбінованої обробки, наприклад сполученням термічної обробки і пластичної деформації. Вивчення закономірностей зв'язку дислокаційної структури з механічними властивостями і взаємозв'язку характеристик механічних властивостей між собою має важливе значення для використання потенційних можливостей поліпшення механічних властивостей будівельних сталей.

4.3. Порядок виконання роботи

1. Розтягти мікроразки сталі 10Г2ФБ, напругами 1,05; 1,08; 1,1 σ_T .
2. Частину зразків піддати старінню.
3. Провести іспити на статичний розтяг.
4. Виконати розрахунок для заповнення таблиці.
5. Проаналізувати результати досліджень.
6. Написати звіт і зробити висновки.

4.4. Методичні вказівки

Для виконання роботи використовується низьколегована сталь 10Г2ФБ у вигляді циліндричних мікроразків для іспиту на статичний розтяг. Для отримання різної щільності дислокацій у зразках їх розтягують при напругах 1,05; 1,08; 1,1 σ_T , де σ_T – границя плинності.

Під дією таких напруг зразки сталі 10Г2ФБ пластично деформуються із значним підвищенням щільності дислокацій. Щільність дислокацій цих зразків (m) орієнтовно оцінюється за формулою:

$$\sigma_1 = \sigma_0 + \alpha b G \sqrt{m},$$

де: b – вектор Бюргерса; G – модуль зрушення; σ_0 – напруга початку пластичного плину відпаленої сталі 10Г2ФБ; $\alpha = 0,5$.

Для блокування дислокацій домішковими атомами частину пластично розтягнутих зразків нагрівають протягом однієї години в масляній ванні за температури 250°C та у киплячій воді.

Під час випробування на розтяг на машині знаходять границю плинності (σ_T і σ_{02}) і границю міцності (σ_B), відносне подовження (δ) і звуження (ψ). За результатами цих іспитів розраховують добуток $\sigma_T \delta$, $\sigma_B \delta$, $\sigma_T \psi$, $\sigma_B \psi$, що разом з σ_T , σ_B , δ , ψ заносять у таблицю.

Записані діаграми розтягу аналізують, порівнюючи їх між собою і даними таблиці, за якими будуються графіки залежності $\sigma_T \delta$, $\sigma_B \delta$, $\sigma_T \psi$, $\sigma_B \psi$ у залежності від σ_T .

За цими графіками оцінюється середньоквадратичне відхилення добутків $\sigma_T \delta$, $\sigma_B \delta$, $\sigma_T \psi$, $\sigma_B \psi$ від середньої величини.

Таблиця 4.1.

Обробка	Щільність дислокацій при наклепі ρ , см	$\sigma_T/0,4$ МПа	m , см ⁻²	σ_B , МПа	δ , %	Ψ , %	$\sigma_T \delta$	$\sigma_B \delta$	$\sigma_T \Psi$	$\sigma_B \Psi$
Вихідний стан										
Напруга $1,05\sigma_T$										
Напруга $1,06 \sigma_T$										
Напруга $1,07 \sigma_T$										
Напруга $1,078\sigma_T$										
Напруга $1,09 \sigma_T$										
Напруга $1,10 \sigma_T$										

4.5. Знання, уміння, навички

Студенти мають знати природу дислокаційного зміцнення.

Мають вміти досліджувати взаємозв'язок між механічними характеристиками і дислокаційною структурою.

Студенти мають набути навичок у визначенні впливу дислокаційної структури на механічні властивості металів.

4.6. Питання для самоконтролю

1. Що таке дислокаційне зміцнення?
2. Чим гальмується рух дислокації?
3. Як домішкові атоми гальмують рух дислокацій?
4. Чому добуток характеристик міцності і пластичності близькі до сталості за різних площин дислокацій?
5. Опишіть причини падіння пластичності і в'язкості зі збільшенням щільності дислокацій.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5. ВИПРОБУВАННЯ НА УДАРНИЙ ВИГИН

5.1. Завдання та мета роботи

1. Провести дослідження ударної в'язкості зразків після різних режимів термічної обробки.

2. Вивчити: а) методику визначення ударної в'язкості; б) будову маятникового копра; в) підготовку зразків до випробування; г) підготовку маятникового копра для проведення випробувань зразків.

3. Результати досліджень подати у вигляді таблиці.

4. Скласти звіт за результатами випробувань у відповідності з пунктами 1.2а...1.2г та 1.3 завдання.

Прилади, матеріали та інструмент: маятниковий копер 2130 КМ - 0,3; термостат для охолодження та нагрівання зразків; пристрій для вимірювання розмірів зразків; зразки металу після різних режимів термічної обробки, рідкий азот; спирт етиловий.

5.2. Основні положення

Розвиток сучасних технологічних процесів у машинобудуванні тісно пов'язаний з підвищенням температурно-швидкісних умов навантаження. В залежності від швидкості деформування, температури і концентрації напруг змінюється характер руйнування матеріалу та його механічні характеристики. У зв'язку з цим виникає необхідність проведення механічних випробувань при динамічних навантаженнях.

Найбільш поширеним різновидом динамічних випробувань є випробування на ударну в'язкість або динамічний вигин зразків з надрізом, які виконуються на маятникових копрах при нормальній, підвищеній і зниженій температурах.

Наявність надрізу й підвищена швидкість деформування дають змогу перевести метал в крихкий стан і виявити його схильність до крихкого руйнування, тобто ті якості металу, які неможливо виявити при статичних випробуваннях гладеньких зразків.

Крихке руйнування, що має місце в деталях та конструкціях, залежить від характеру напруженого стану, хімічного складу металевих сплавів та його структури.

Схильністю до крихкого руйнування володіють, як правило, метали з решіткою об'ємноцентрованої куба, а отже, і сталі (крім сталей з аустенітною структурою).

Випробування на маятниковому копрі ґрунтуються на принципі вимірювання енергії, яка витрачена на руйнування зразка.

Зразок 1, встановлений на губки 2 і 3, руйнується ударом ножа 4 молота 5, який закріплено на штанзі 6 і, обертаючись навколо осі О, вільно падає з висоти Н, визначеної кутом зарядження α (рис. 5.1).

Маятник після руйнування зразка підіймається до висоти H_1 . Робота K [Дж], витрачена на руйнування зразка, визначається за формулою:

$$K = m \cdot g(H - H_1) = P \cdot L(\cos\beta - \cos\alpha), \quad (5.1)$$

де P - маса маятника, кг; L – відстань від осі коливання маятника до центру тяжіння, м; α - кут зарядження маятника, град.; β – кут підйому маятника після руйнування зразка, град.

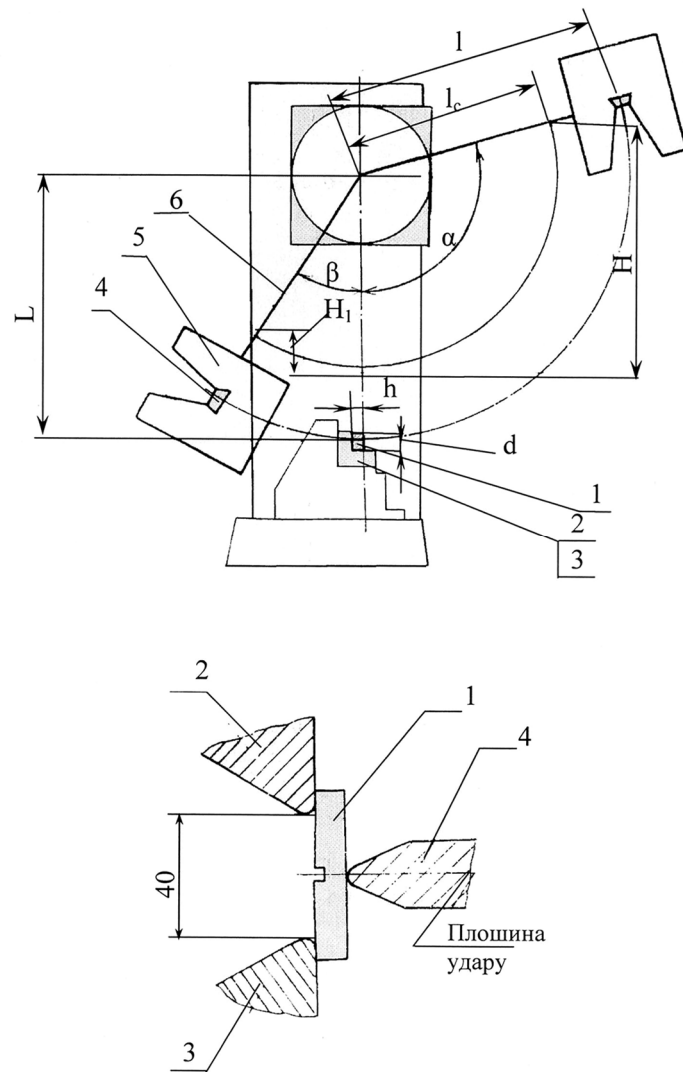
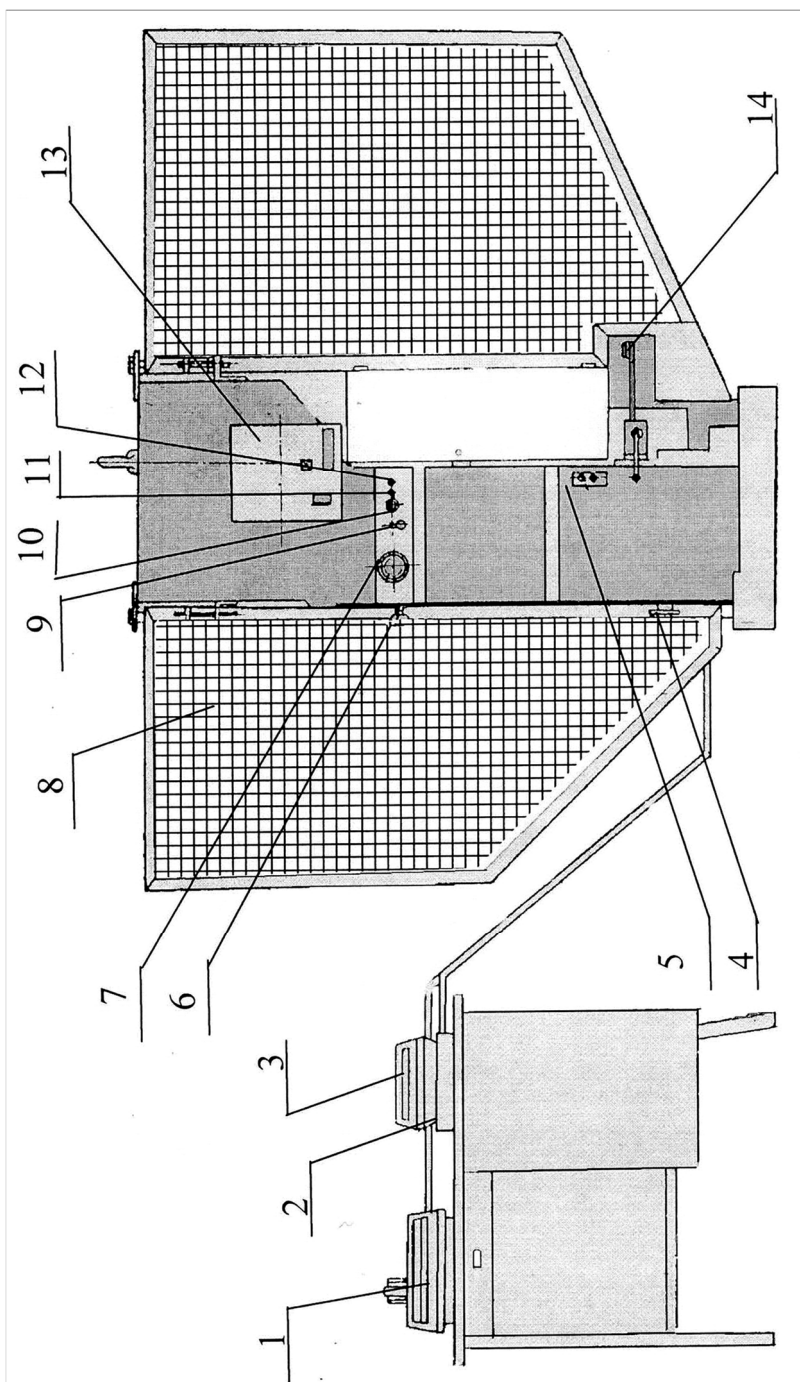


Рис. 5.1. Схема випробування на ударний вигин: 1 – зразок, 2,3 – губки, 4 – ніж, 5 – молот, 6 – штанга маятника, α – кут зарядки маятника, β – кут зльоту маятника, b – ширина зразка, h – товщина зразка, l – відстань до центру удару, l_c – відстань до центру тяжіння, P – маса маятника, L – відстань до середини зразка.

Ударна в'язкість K_C , Дж/см² тобто робота, витрачена, на руйнування зразка, віднесена до площі поперечного перерізу зразка в місці надрізу F , визначається за формулою:

$$K_C = \frac{K}{F} \quad (5.2)$$

При випробуваннях на ударну в'язкість в якості характеристики пластичності використовують стрілу прогину або кут загину зразка, складеного із двох половинок зруйнованого зразка. Однією з важливих характеристик, яку визначають при випробуваннях на ударну в'язкість, є температура переходу матеріалу в крихкий стан - поріг холодноламкості.



Ріс. 5.2 Зовнішній вигляд маятнікового копра 2130 КМ – 0,3.

1 – машина цифродрукуювальна, 2 – пульт, 3 – мікрокалькулятор, 4 – вентиль запірний, 5 – автомат “ СЕТЬ” , 6 – регулятор тиску, 7- манометр, 8 – огорожа, 9 – тумблер “ СТРЕЛКА ВВЕРХ-ВНИЗ” , 10 – кнопка УДАР, 11 – лампа сигнальна, 12 – дросель з зворотнім клапаном, 13 – блок вимірювання, 14 – важіль подавання зразків.

5.3. Будова маятникового копра

Маятниковий копер 2130 КМ-0,3 (рис. 6.2) складається з таких основних частин: корпусу; маятника, на який монтуються чотири планки, що дозволяє змінювати запас енергії маятника від 150 до 300 Дж; опори для встановлення зразків; блоку вимірювання, призначеного для відліку витраченої на руйнування зразка енергії (висвічується у цифровій формі на табло блоку в джоулях); підйомного пристрою - стріли призначеної для підйому маятника; гальма для зупинення руху маятника після руйнування зразка; пневмоциліндра; електрообладнання і пневмообладнання; огорожі, призначеної для загородження зони польоту маятника і захисту оператора від частинок зруйнованих зразків.

Для забезпечення безпеки роботи на копрі зразки встановлюють на губки опори за допомогою важеля подавання зразків. Зразок встановлюють за надрізом на центрувальний штифт, повертають важіль зі зразком до губок і опісля того, як зразок упреться до губок, повертають важіль вниз і відводять його в вихідне положення.

До складу копра входять також цифродрукуюча машина для автоматичного запису витраченої на руйнування зразка енергії, мікрокалькулятор для підрахунку результатів випробувань при ручному вводі даних розмірів поперечного перерізу зразка. Для охолодження зразків до температури нижче кімнатної використовують термостат, де охолодження до потрібної температури здійснюється в етиловому спирті за допомогою рідкого азоту (рис. 5.3). Нагрівання зразків до температури вище кімнатної проводять в водяній ванні або у муфельній електропечі.

5.4. Зразки для випробувань на ударну в'язкість

Для визначення ударної в'язкості використовують призматичні зразки з надрізом різної глибини і форми посередині (рис. 6.4). Іноді використовують зразки і умови випробувань, що відрізняються від стандартних; однак закон подібності в даному випадку не додержується, тому результати таких випробувань важко порівнювати.

В окремих випадках, наприклад, для визначення ударної в'язкості крихких матеріалів (сталі з твердістю більше 55 HRC) використовують призматичні зразки без надрізу.

Схильність матеріалів до крихкого руйнування виявляють на зразках з більш гострим надрізом ($r = 0,25$ мм).

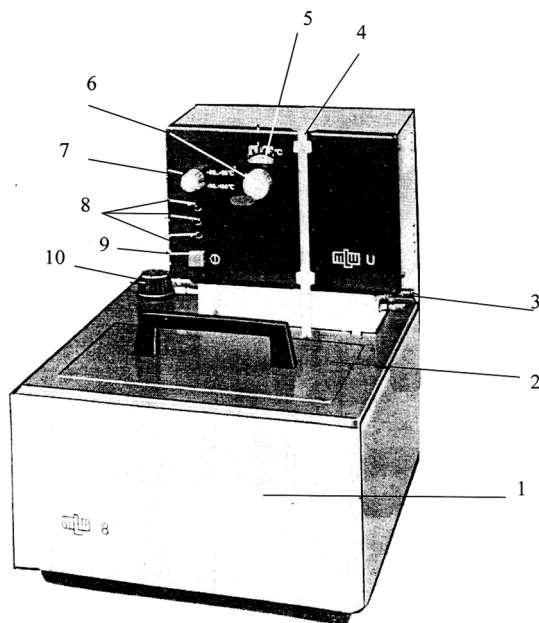


Рис. 5.3. Термостат для охолодження та нагрівання зразків в границях температур $-60...+150^{\circ}\text{C}$: 1 – ванна для зразків, 2 – кришка, 3 – трубка для подавання та відкачування температурної рідини, 4 – термометр, 5 – шкала для плавного встановлення температури $\pm$, 7 – перемикач інтервалу температур, 8 – сигнальні лампи режимів роботи термостату, 9 – вимикач, 10 – рукоятка керування зливом температурної рідини.

Для більш точної оцінки в'язкості високоміцних матеріалів, визначення інтервалу безповоротної крихкості, крихкості від неоднорідності структури після гартування або зварювання використовують для випробування на ударний вигин зразки з тріщиною втомленості. В цьому випадку визначають не повну роботу руйнування, а роботу розповсюдження тріщини, так як вона характеризує надійність матеріалу.

Підготовку зразків до випробувань виконують відповідно до методики ГОСТ 9454-78.

Отримані за вимірюваннями розміри зразків записують у протокол випробувань.

5.5. Підготовка і проведення випробування

Підготовка маятникового копра до роботи

Перед проведенням випробувань на маятниковому копрі всі перемикачі та тумблери необхідно встановити у вихідне положення: на панелі копра тумблер 9 «СТРЕЛА» в положення «ВВЕРХ», на стійці копра автомат 5 «СЕТЬ» положення «ВКЛ.», тумблер блока вимірювання в положення «ВКЛ.», запірний вентиль 4 в положення «ОТКРЫТО2, тиск стиснутого повітря на манометрі 0.

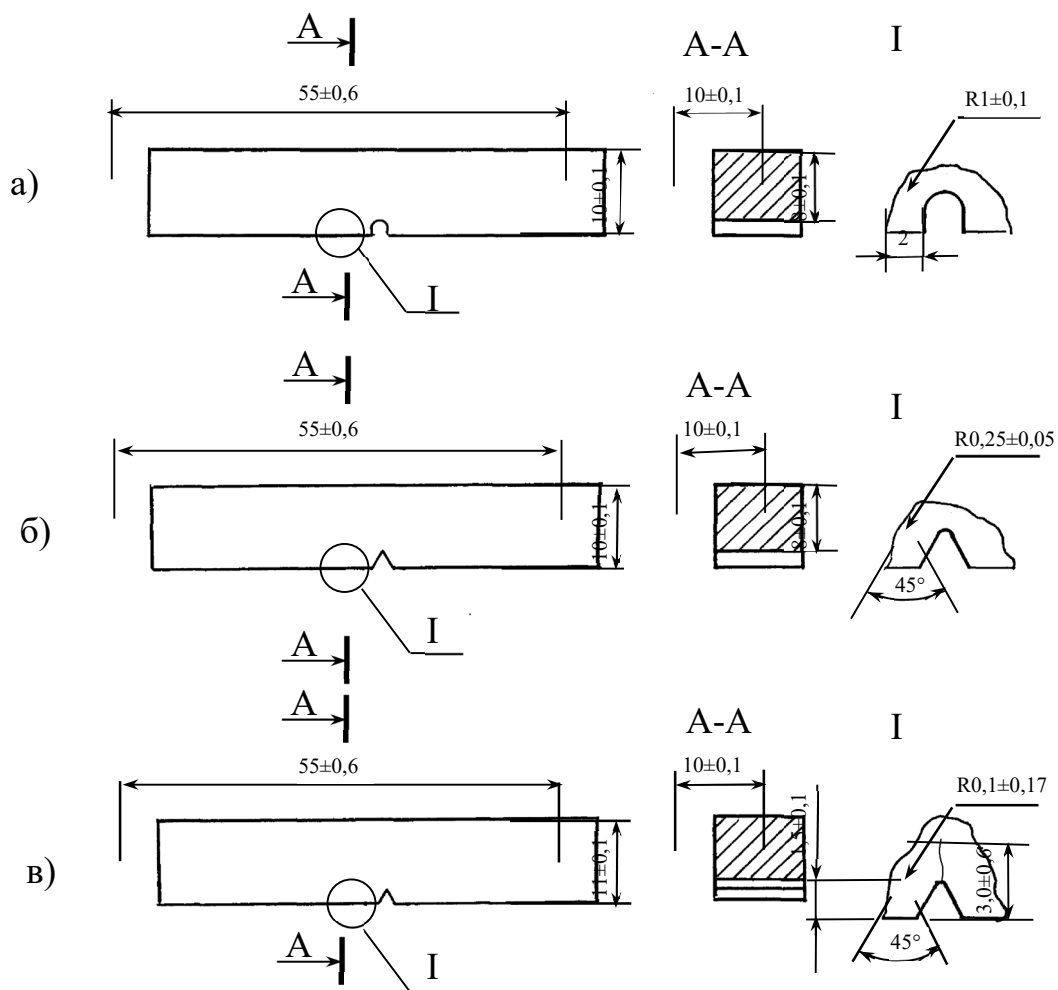


Рис. 5.4. Зразки для випробування на ударний вигин: а - зразок з концентратором вигляду U; б - зразок з концентратором вигляду V; в - зразок з концентратором вигляду Т (втомлена тріщина).

Проведення випробувань

1. Відкрийте запірний клапан 4 на корпусі копра.
2. Увімкніть компресор.
3. Регулятором тиску встановлюйте за манометром 7 на копрі тиск 0,35 МПа; стріла підіймає маятник на кут зарядження; контроль – горять два світло діода на цифровому табло блоку вимірювання.
4. Увімкніть цифродрукуючу машину.
5. Важелем подавання зразків 14 встановлюйте зразок на опори копра.
6. Натисніть на кнопку 10 «УДАР».
7. Зніміть показники витраченої енергії на руйнування зразка з цифрового табло блоку вимірювань 13 і запишіть у протокол випробувань.
8. За формулою 2 розрахуйте ударну в'язкість зразка.

Після повороту маятника на кут зарядження встановлюйте наступний зразок на губки опори копра.

Після закінчення випробувань перемкніть тумблер 9 «СТРЕЛА» в положення «ВНИЗ». Регулятором тиску 6 необхідно знизити тиск до 0, опустити стрілу і закрити запірний вентиль 4.

Вимкніть цифродрукуючу машину і блок вимірювання. Автоматом «СЕТЬ» відключіть копер від електромережі.

УВАГА - ІНША ПОСЛІДОВНІСТЬ ВІДКЛЮЧЕННЯ КОПРА НЕДОПУСТИМА

5.6. Основні вимоги техніки безпеки при проведенні випробувань

1. Забороняється проведення випробувань на копрі без огорожі і кожухів.
2. Не допускається під час випробувань встановлювати зразок на опори копра руками. Зразки встановлюйте і знімайте тільки важелем подавання зразків при піднятих і зафіксованих маятнику і стрілі.
3. Забороняється працювати на копрі при тиску стиснутого повітря більше 0,6 МПа.
4. Усунення неполадок, діставання уламків зразків виконуйте тільки при повному відключенні від електромережі, а також після відключення від мережі стиснутого повітря.
5. Після закінчення роботи не опускайте різко маятник з стрілою. Спочатку переведіть тумблер «СТРЕЛА» в положення «ВНИЗ» і регулятором тиску знизьте тиск стиснутого повітря до 0 МПа. Стріла з маятником м'яко опуститься.

ПРОТОКОЛ № ____

Випробування зразків на ударний вигин

Матеріал зразка _____, тип зразка _____

Маркування зразка	Температура °C	Розміри поперечного перерізу			Робота удару, витрачена на злам, К, Дж	Ударна в'язкість, КС, Дж/см ²	Примітки
		висота, Н, см	ширина, В, см	площа, S, см ²			
1	2	3	4	5	6	7	8

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6. ВИЗНАЧЕННЯ ТВЕРДОСТІ

6.1. Завдання та мета роботи

1. Ознайомитись з приладами, які застосовують для визначення твердості.
2. Засвоїти методики визначення твердості різними методами.
3. Одержати навички у визначенні твердості за методом Брінелля, Роквелла, Віккерса, мікротвердості.
4. Результати випробувань подати у вигляді таблиці.

Матеріальне забезпечення: твердомір ТБ 5004 для вимірювання твердості за методом Брінелля; твердомір ТК-2М для вимірювання твердості за методом Роквелла; твердомір ТП-7Р-І для вимірювання твердості за методом Віккерса; твердомір ПМТ-3 для вимірювання мікротвердості; зразкові міри твердості МТБ-1, МТР-1, МТВ-1; Мікроскоп МПБ-2 для вимірювання діаметра відбитку; зразки зі сталі та кольорових металів.

6.2. Основні положення

Вимірювання твердості - самий доступний і поширений метод механічних випробувань матеріалів, який використовується і в дослідних цілях і як засіб контролю в багатьох галузях промисловості. Це пояснюється простотою і швидкістю вимірювань, що дозволяє здійснювати стопроцентний контроль деяких видів продукції; на відміну від інших вимірювань твердості є неруйнівним методом механічних випробувань. В дослідних роботах локальність метода забезпечує оцінку властивостей тонких поверхневих шарів або структурних складових.

Твердість - особлива властивість, яка проявляється у здібності тіла робити опір всіляким спробам пружно або пластично деформувати ділянку його поверхні за допомогою більш твердого тіла (індентора) при певних умовах випробувань.

В залежності від дії індентора на поверхню досліджуваного матеріалу розрізняють такі методи визначення твердості: метод вдавлювання, метод пружного відскоку, метод дряпання.

Визначення твердості вдавлюванням у випробувальний матеріал індентора в формі кульки, конуса або піраміди є найбільш поширеним різновидом механічних випробувань. До цієї групи відносять стандартизовані методи вимірювання твердості за Брінеллем, Роквеллом і Віккерсом. Для визначення твердості окремих структурних складових, а також дрібних деталей, тонких матеріалів, тонких поверхневих шарів, крихких неметалевих матеріалів (абразивів, мінералів, скла та ін.), окремих композитних та будівельних матеріалів використовують вимірювання мікротвердості.

Між різними методами існує кореляція. За відповідними таблицями, знаючи значення твердості, отриманих одним методом, можна визначити якому числу твердості іншого метода вони відповідають. Але необхідно враховувати, що в процесі випробувань навколо відбитку виникає наклеп, ступень якого залежить від форми індентора що вдавлюється і глибини вдавлювання, так що числа твердості отримані при випробуваннях різними інденторами не можна

беззастережно порівнювати між собою навіть при однаковій розрахунковій формулі.

Випробування на твердість дозволяють також побічно оцінювати основні механічні характеристики металів. Для сталей існують співвідношення між твердістю за Брінеллем і границею міцності $\sigma_B = K \cdot HB$. Коефіцієнт K суттєво залежить від відношення границі плинності до границі міцності і від природи і структурного стану металу. При відношенні $\sigma_{0,2}/\sigma_B$ більше 65% він складає 0,32...0,36. Користуючись подібними емпіричними залежностями, можна приблизно оцінювати міцність металу за результатами вимірювань твердості.

6.3. Вимірювання твердості

Зразок або деталь, що підлягають випробуванню, мають мати чисто відшліфовану або відполіровану поверхню. При цьому спосіб підготовки поверхні не має впливати на твердість матеріалу (наприклад, наклеп від холодної обробки або відпуск від нагрівання).

Поверхні зразка, як випробувальна, так і опорна, мають бути плоскими, паралельними одна до одної і не мати окалини, збоїн та бруду.

Для зразків циліндричної форми необхідно використовувати V подібні опорні столики.

При випробуванні довгих зразків необхідно передбачити для них додаткові бокові опори.

Зразок під час вимірювання не має рухатись або деформуватись (прогинатись, пружинити).

Діаметр відбитку при випробуванні кулькою вимірюється в двох взаємно перпендикулярних напрямках. При випробуваннях алмазною чотиригранною пірамідою вимірюють послідовно довжину двох діагоналей відбитку, розмір діаметру або діагоналі відбитку визначається як середнє арифметичне із двох вимірювань.

Перед вимірюванням твердості необхідно визначити точність показань. Контроль приладу для вимірювання твердості виконують за допомогою контрольних плиток, твердість яких відома. Якщо твердість за приладом не відповідає твердості контрольних плиток, то необхідно перевірити його настройку або до показань приладу додати відповідну поправку. Порядок проведення контролю аналогічний проведенню випробувань.

6.3.1. Метод вимірювання твердості за БРІНЕЛЛЕМ

Метод полягає у вдавлюванні сталевій загартованій кульки діаметром D в поверхню випробуваного зразка під дією навантаження P , прикладеного на протязі визначеного часу. Після зняття навантаження на поверхні зразка вимірюють діаметр відбитку d .

Число твердості за Брінеллем HB визначається відношенням навантаження P до площі поверхні відбитку:

$$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (6.1)$$

де D - діаметр кульки, мм ; d - діаметр відбитку, мм ; P - навантаження на кульку, Н.

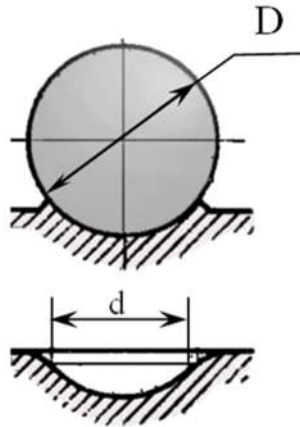


Рис. 6.1. Схема визначення твердості за Брінеллем.

При вимірюванні твердості за Брінеллем використовують кульки діаметром 2,5; 5,0 або 10,0 мм, виготовлені з термічно обробленої високовуглецевої сталі.

Вибір діаметра кульки, навантаження, часу витримки та підбір вантажів надано в додатках 1, 2.

Для зручності і прискорення підрахунків використовують таблиці, що додані до ГОСТ 9012-59, де числа твердості обчислюють в залежності від діаметру відбитку і величини прикладеного навантаження.

За методом Брінелля визначають твердість матеріалів, яка не перевищує 450 HB. Твердість за Брінеллем позначається буквами HB і числами, що характеризують число твердості (при вимірюванні кулькою D=10 мм, з витримкою 10 с під навантаженням P=29420 Н). Наприклад, 400 HB.

При інших умовах випробувань до символу HB додають індекс з позначенням діаметра кульки, навантаження та часу витримки. Наприклад, 5/250/30-200 HB.

Будова твердоміра ТБ 5004

Прилад складається з таких основних частин: корпусу 20; підвіски з вантажами 8; вимірювальної головки 18; механізму підйому та опускання зразків з столиком 4, пульта 17 (рис. 6.2).

В корпусі змонтовані привод для прикладення і зняття випробувальних навантажень, механізм підйому і опускання важільної системи.

Вантажна підвіска призначається для створення навантажень і складається з набору вантажів різної ваги (додаток 2).

Вимірювальна головка призначається для відліку глибини проникнення в зразок кульки 9.

В головці може бути встановлений один з трьох наконечників з кульками діаметром 10, 5, 2,5 мм.

До складу пульта входять реле часу 15 для встановлення витримки під навантаженням, сигнальні лампи, перемикачі типу робіт, вимикач приладу від електромережі. У пульті зібрана електрична схема, елементи якої забезпечують належну послідовність роботи механізмів приладу в залежності від встановленого роду робіт.

Підготовка приладу і проведення випробувань

1. Встановити на вантажну підвіску вантаж відповідно вибраному для дослідження навантаженню (додаток 1, 2).

2. Наконечник з кулькою встановити в шпindel і закріпити.

Кульки різного діаметру (10, 5 та 2,5 мм) застосовують в залежності від товщини досліджуваного матеріалу (додаток 1). Данні про матеріал зразка, його товщину, діаметр і навантаження заносять до таблиці 6.1.

3. На реле часу 15 встановити необхідну витримку під навантаженням (додаток 1).

4. На стіл 4 встановлюють підготовлений зразок.

Відстань від центру відбитку до бокової поверхні зразка повинна перевищувати 2,5d.

5. За допомогою маховика 3 підняти стіл зі зразком в верхнє положення до моменту стопоріння його механізмом зупинки 19. Якщо перемикач 11 встановлено в положення «РУЧН.», то ввімкніть привод навантаження кнопкою 2 «ПУСК.» При положенні перемикача «АВТ.» навантаження до шпинделя з індентором прикладається автоматично. Перемикач режиму роботи 10 має бути в положенні «РАБОТА».

6. Після закінчення циклу випробувань (горить сигнальна лампа 12, «КОНТРОЛЬ») за допомогою маховика 3 опустіть стіл 4 і зніміть з нього зразок з відбитком.

7. Виміряти діаметр відбитку.

8. За таблицями ГОСТ 9012-59 в залежності від діаметра відбитку і величини навантаження визначити твердість.

9. Для отримання правильної характеристики твердості даного матеріалу необхідно провести ще два повторних вимірювання твердості того ж зразка і визначити середній результат.

Результати вимірювань занести до таблиці.

При повторних випробуваннях центр відбитку має знаходитись від центру сусіднього відбитку на відстані не менш 4d.

Методика вимірювання відбитку за допомогою мікроскопу МПБ-2

Одержаний відбиток вимірюють за допомогою мікроскопу у двох взаємно перпендикулярних напрямках. Діаметр визначається як середнє арифметичне з двох вимірів.

Мікроскоп має шкалу, найменший поділок якої дорівнює 0,1 мм (рис. 6.3).

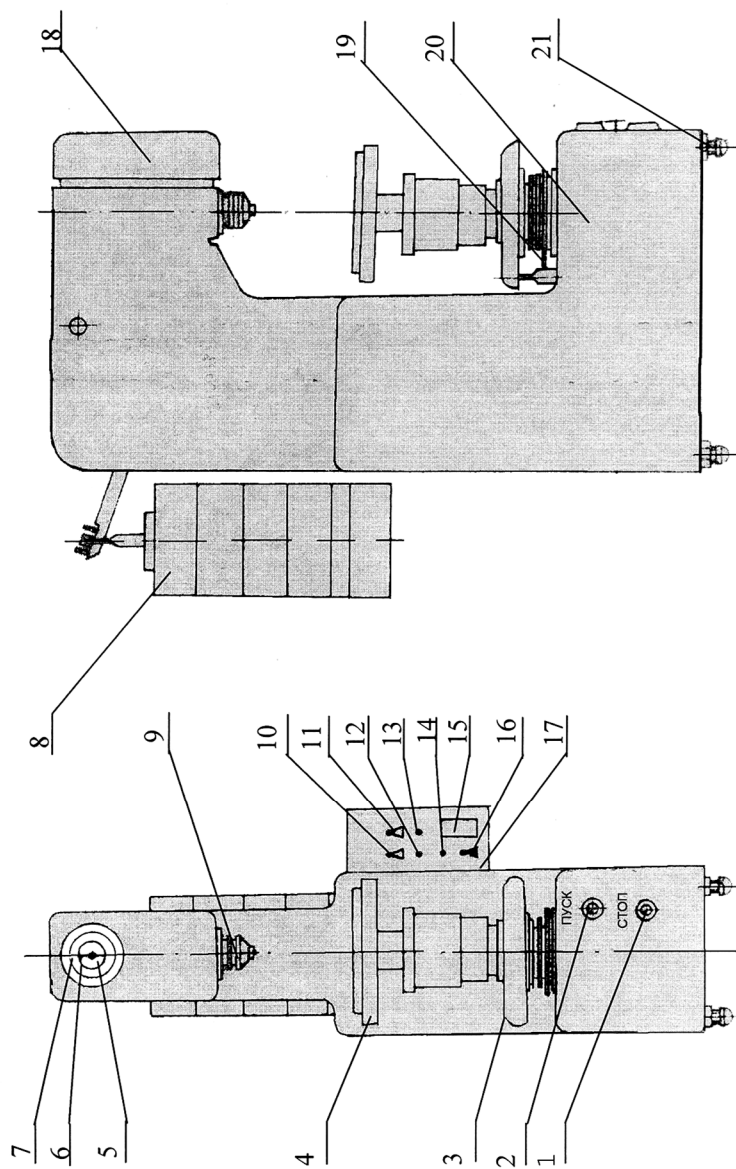


Рис. 6.2. Загальний вигляд твердоміру ТБ 5004

1 – кнопка СТОП; 2 – кнопка „ПУСК” ; 3 – маховик; 4 – стіл; 5 – показчик БОЛЬШЕ; 6 – індикатор годинникового типу; 7 – показчик „МЕНЬШЕ” ; 8 – підвіска з вантажами; 9 – сигнальник з кулькою; 10 – перемикач „РАБОТА-НАСТРОЙКА” ; 11 – перемикач „РУЧН.-АВТ.” ; 12 – сигнальна лампа КРНТРОЛЬ; 13 – сигнальна лампа ВЫДЕРЖКА; 14 – сигнальна лампа „СЕТЬ” ; 15 – реле часу; 16 – вимикач „ВКЛ-ОТКЛ” ; 17 – пульт; 18 – вимірювальна головка; 19 – механізм зупинки; 20 – корпус; 21 – опори

Для вимірювання діаметра відбитку мікроскоп опорною частиною щільно встановити на поверхні зразка над відбитком, а виріз (вікно) у нижній частині повернути до джерела світла. Повертаючи окуляр, необхідно домогтися, щоб краї відбитку були різко окреслені.

Потім пересуваючи мікроскоп необхідно сумістити край відбитку з початком шкали (рис. 6.4).

Прочитати поділок шкали, з яким співпадає протилежний край відбитку. Цей відлік буде відповідати розміру відбитка (на рис. 6.4 діаметр відбитку $d = 4,30$ мм). Потім мікроскоп поверніть на 90° і визначити діаметр відбитку вдруге.

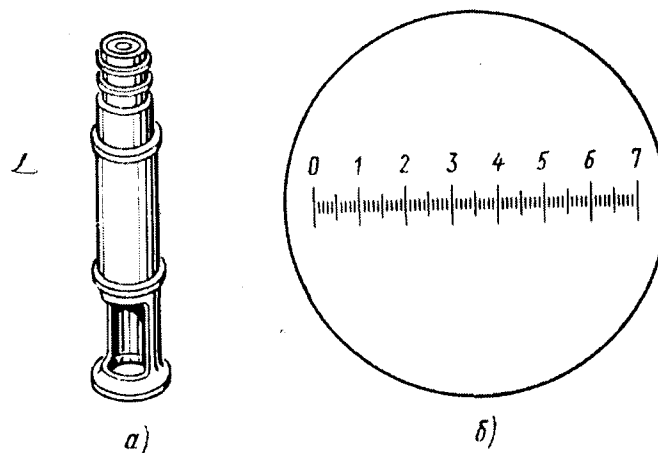


Рис. 6.3. Мікроскоп МПБ-2
а - зовнішній вигляд; б – шкала

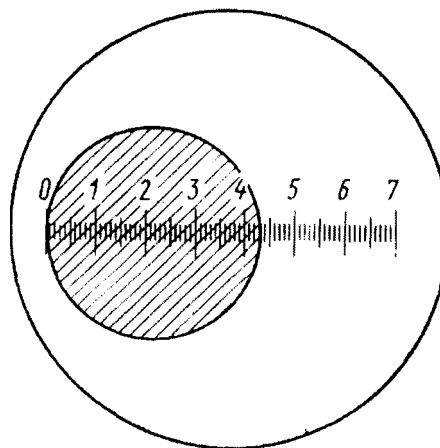


Рис. 6.4. Відлік за шкалою мікроскопа

Таблиця 6.1.

Результати вимірювання твердості за Брінеллем

Матеріал зразка	Умови випробування (діаметр кульки і навантаження)	Діаметр відбитку, мм			Твердість HB			
		Відбиток			Відбиток			Середні значення
		1-й	2-й	3-й	1-й	2-й	3-й	
1	2	3	4	5	6	7	8	9

6.3.2. Метод вимірювання твердості за РОКВЕЛЛОМ

Метод полягає у вдавлюванні в поверхню зразка алмазного конуса з кутом при вершині 120° або сталевий загартованої кульки діаметром 1,588 мм під дією двох послідовно прикладених навантажень - попереднього P_0 та основного P_1 (рис. 7.5).

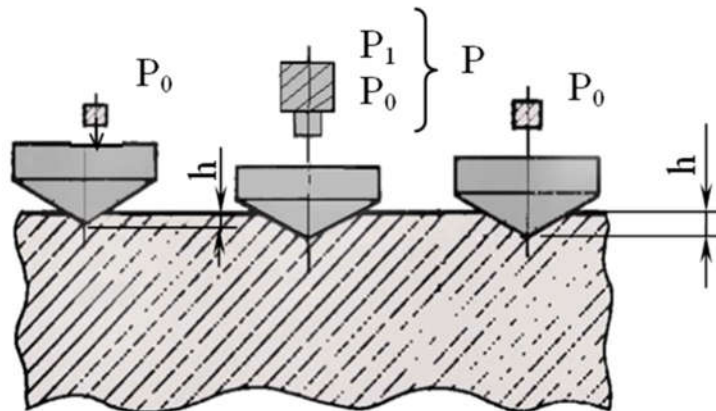


Рис. 6.5. Схема вимірювання твердості за Роквеллом.

Після належної витримки основне навантаження знімають і вимірюють залишкову глибину проникнення індентора, котрий при цьому продовжує знаходитись під дією попереднього навантаження.

Попереднє навантаження P_0 дорівнює 98 Н, основне P_1 та загальне P навантаження при вдавлюванні сталевий кульки (шкала В) дорівнюють: $P_1 = 882$ Н, $P = 98 + 882 = 980$ Н; при вдавлюванні алмазного конуса (шкала С) $P_1 = 1373$ Н, $P = 98 + 1373 = 1471$ Н; при вдавлюванні алмазного конуса (шкала А) $P_1 = 490$ Н, $P = 98 + 490 = 588$ Н.

Число твердості за Роквеллом є числом, що неясне і виражається в умовних одиницях.

За одиницю твердості прийнята величина, що відповідає переміщенню наконечника на 0,002 мм. Число твердості за Роквеллом визначається за формулою:

при вимірюванні за шкалою В :

$$HR = 130 - e, \quad (6.2)$$

при вимірюванні за шкалою С і А :

$$HR = 100 - e, \quad (6.3)$$

Величину „e” визначають за формулою:

$$e = \frac{h - h_0}{0,002} \quad (6.4)$$

Число твердості за Роквеллом позначають HRB, HRC або HRA. Наприклад, 60 HRC означає, що глибина введення алмазного конуса після прикладення і зняття основного навантаження дорівнює 60 одиницям або 120 мкм.

Визначення твердості на приладі типу Роквелла має широке застосування для технологічного контролю металевих виробів оскільки дає можливість вимірювати твердість м'яких, твердих, а також тонких матеріалів.

Відбитки від конуса або кульки дуже малі, що дає змогу випробувати готові деталі без пошкодження їх поверхні; випробування легко виконуються і займають мало часу; при вимірюваннях число твердості визначається безпосередньо за шкалою індикатора.

Вимірювання твердості за Роквеллом регламентовані ГОСТ 9013-59.

Будова твердоміра ТК-2М

Прилад складається з таких основних частин та механізмів: корпуса; важільного блока для створення випробувального навантаження і вимірювання глибини відбитку; привода з електродвигуном; штока, за допомогою якого прикладають та знімають випробувальне навантаження; механізму підйому зі змінними столиками (рис. 6.6).

Шпиндель 5 призначається для закріплення на його кінці за допомогою гвинта наконечника з кулькою або алмазного конуса. Постійний вантаж 12 створює навантаження 490 Н; якщо на вантаж 12 встановлено вантаж 11 (392 Н), то створюється навантаження 980 Н, а якщо встановлено вантаж 11 і вантаж 10, то навантаження складає 1373 Н. Створення попереднього навантаження (98 Н) виконується за допомогою пружини шпинделя.

Стіл зі зразком, обертанням маховика 19 за ходом годинникової стрілки, переміщують вгору і підводять до наконечника 4 з кулькою або до алмазного конуса. При подальшому обертанні маховика стискується пружина шпинделя і індендор починає вдавлюватись в поверхню зразка, а стрілки повертаються по шкалі індикатора 17. При обертанні маховика до тих пір, поки зразок не упреться в обмежник 18, мала стрілка 1 (рис. 6.7, а) індикатора дійде до червоної крапки 2, а більша стрілка 3 встановиться (з погрішністю $\pm 2...3$ поділок) приблизно в вертикальному положенні (рис. 6.7, б) створюється попереднє навантаження 98 Н. Більш точне встановлення шкали індикатора на нуль виконують за допомогою барабана 20 тросиком 7, закріпленим на ранті індикатора.

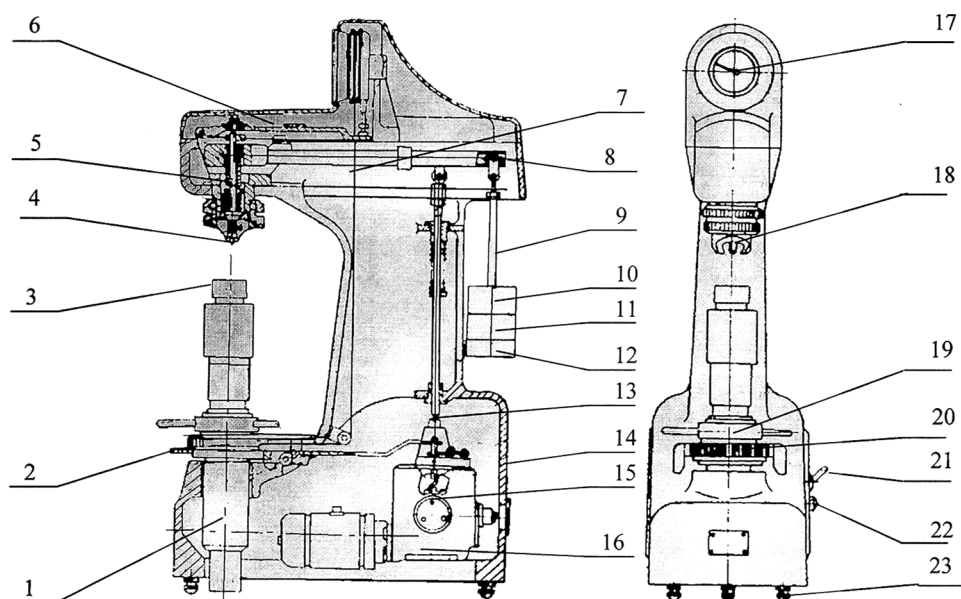


Рис. 6.6. Загальний вигляд твердоміру ТК-2М

1 – гвинт; 2 – клавіша; 3 – стіл; 4 – наконечник; 5 – шпindel; 6 – важіль ходозбільшувача; 7 – тросик; 8 – важіль навантаження; 9 – підвіска; 10 – 12 – вантажі; 13 – шток; 14 – корпус; 15 – кулачковий блок; 16 – привод; 17 – індикатор; 18 – обмежник; 19 – маховик; 20 – барабан; 21 – тумблер; 22 – сигнальна лампа; 23 – опора.

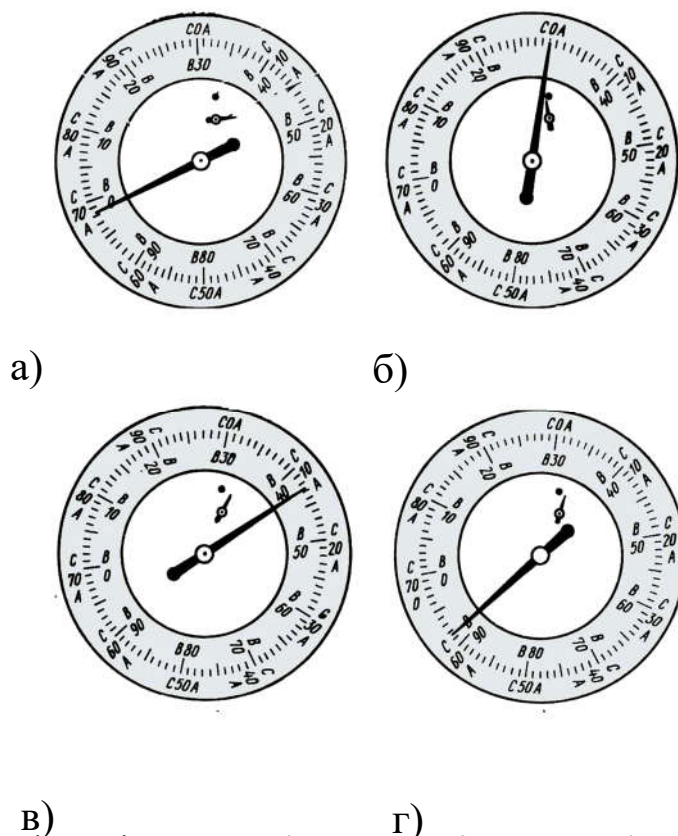


Рис. 6.7. Послідовність переміщення стрілок на циферблаті приладу ТК-2М при вдавлюванні алмазного конуса.

Циферблат індикатора має дві шкали - чорну (С) і червону (В). Незалежно від того, що вдавлюється в зразок - алмазний конус або кулька, з більшою стрілкою індикатора завжди суміщається нуль чорної шкали з позначкою С. Більшу стрілку з нульовим штрихом червоної шкали з позначкою В не суміщають ні в якому разі.

Приведення в дію основного навантаження відбувається за допомогою привода 16 від електродвигуна, що працює безперервно і відключається тумблером 21 при перервах в роботі приладу.

Натисканням клавіші 2 приводять в дію кулачковий блок 15 механізму приводу, передача від якого до важеля навантаження 8 відбувається за допомогою штока 13. При цьому підвіска 9 з вантажами 10-12 опускається і, завдяки чому, забезпечується дія основного навантаження та створюється загальне навантаження.

Під дією основного навантаження кулька або конус ще глибше вдавлюється в поверхню зразка, при цьому більша стрілка індикатора повертається проти ходу годинникової стрілки (рис. 6.7, в). Після закінчення вдавлювання основне навантаження автоматично знімається і залишається попереднє навантаження. При ньому більша стрілка індикатора переміщується за ходом годинникової стрілки і вказує на шкалі індикатора число твердості за Роквеллом (рис. 6.7, з). При випробуванні алмазним конусом під навантаженням 1471 Н або 588 Н відлік виконують за чорною шкалою, а при випробуванні під навантаженням 980 Н - за червоною шкалою.

По закінченню циклу випробування кулачковий блок автоматично відключається та фіксується у вихідному положенні.

При обертанні маховика проти ходу годинникової стрілки стіл опускається і зразок звільнюється від дії попереднього навантаження.

Вибір величини навантаження і індентора

Навантаження і індентор вибирають в залежності від передбаченої твердості випробовуваного матеріалу (табл. 6.2).

Підготовка приладу і проведення випробувань

1. На кінець шпинделя приладу встановіть наконечник з кулькою або алмазний конус І, встановіть необхідне навантаження.

2. Встановіть підготовлений зразок на стіл приладу.

Мінімальна товщина зразка в залежності від очікуваної твердості повинна відповідати рекомендаціям наведеним в табл. 6.3.

3. Тумблером 21 ввімкніть двигун приводу 16.

4. Обертанням маховика 19 піджимайте зразок до наконечника до тих пір, поки мала стрілка індикатора не встане проти червоної точки, а велика з погрешністю ± 5 поділок - на нуль шкали індикатора.

5. Обертанням барабана 20 установіть нуль шкали С (червоного кольору) проти кінця більшої стрілки індикатора.

Таблиця 6.2.

Вибір навантаження і індентора для випробувань

Позначення шкали.	Індентор	Навантаження, Н	Позначення твердості	Границі вимірювання в одиницях Роквелла
В	Сталева кулька	980,7	HRB	25..100
С	Алмазний конус*	1471	HRC	20...67
А	Алмазний конус	588,4	HRA	70...85

Примітка. Для випробування деталей з твердістю 20...45 HRC допускається використання наконечника з твердого сплаву.

Таблиця 6.3.

Мінімальна товщина випробуваного зразка або виробу в залежності від очікуваної твердості

Шкала	Число твердості за Роквеллом	Мінімальна товщина зразка, мм	Шкала	Число твердості за Роквеллом	Мінімальна товщина зразка, мм
А	70	0,7	В	80	1,0
А	80	0,5	В	90	0,8
А	90	0,4	В	100	0,7
В	25	2,0	С	20	1,5
В	30	1,9	С	30	1,3
В	40	1,7	С	40	1,2
В	50	1,5	С	50	1,0
В	60	1,3	С	60	0,8
В	70	1,2	С	67	0,7

Таблиця 6.4.

Результати вимірювання твердості за Роквеллом

Матеріал зразка	Шкала	Твердість HR			
		Випробування			
		Перше	Друге	Третє	Середнє значення
1	2.	3	4	5	6

6. Плавним натисканням руки на клавішу 2 ввімкніть в роботу привод механізму навантаження. Після закінчення циклу навантаження відлічіть твердість за шкалою індикатора.

7. Обертанням маховика проти ходу годинникової стрілки опустіть стіл, пересуньте зразок не відриваючи його від столу і повторіть випробування в іншому місці зразка.

На кожному зразку повинно бути проведено не менше трьох випробувань.

При проведенні випробування слідкуйте, щоб відстань центра відбитку від бокової поверхні зразка або від центру іншого відбитку при випробуванні на шкалах А і С була не менше 3, а по шкалі В не менше 4 мм.

8. Результати випробувань занести до таблиці 6.4.

6.3.3. Метод вимірювання твердості за ВІККЕРСОМ

Метод полягає у вдавлюванні в поверхню зразка правильної чотиригранної алмазної піраміди з кутом 136° між протилежними гранями (рис. 6.8).

Твердість за Віккерсом підраховується шляхом ділення навантаження на площу поверхні одержаного пірамідного відбитку:

$$HV = \frac{2P \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 1,854 \frac{P}{d^2} \quad (6.5)$$

де P - навантаження, Н; α - кут при вершині, град.; d - середнє арифметичне значення довжини обох діагоналей після зняття навантаження, мм.

При випробуваннях використовують такі навантаження 49, 98, 196, 294, 980 Н, а тривалість витримки під навантаженням $t = 30$ с для кольорових металів і $t = 10...15$ – с для сталей. Можливість використання малих навантажень 49 і 98 Н дозволяє визначати твердість деталей малої товщини і тонких поверхневих шарів (наприклад, цементованих, ціанованих, азотованих та ін.).

Числа твердості за Віккерсом та за Брінеллем мають однакову розмірність (МПа) і для матеріалів твердістю до 450 НВ практично співпадають. Разом з тим вимірювання пірамідою дають більш точні значення для матеріалів з високою твердістю, ніж вимірювання кулькою або конусом.

Твердість за Віккерсом позначається буквами HV і числами, що характеризують число твердості. Наприклад, при вимірюванні з витримкою 10...15 с під навантаженням $P = 294$ Н – 420 HV.

При вимірюванні твердості при інших навантаженнях додають ще величину навантаження і час витримки. Наприклад, 493/30 – 570 HV означає випробування під навантаженням 493 Н на протязі 30 с.

Для зручності і прискорення підрахунків використовують таблиці, що додані до ГОСТ 2999-75, де числа твердості обчислюють в залежності від довжини діагоналей відбитку і величини прикладеного навантаження.

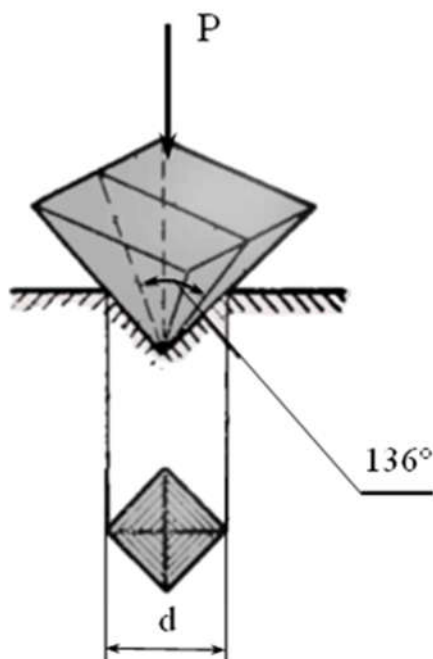


Рис. 6.8. Схема вимірювання твердості за Віккерсом.

Будова твердоміра ТП-7Р-1

Прилад складається з таких основних частин: системи важелів для передавання випробувальних навантажень на випробуваний зразок; відлічувально-проекційної системи, за допомогою якої відлік, отриманий на зразку при вдавлюванні в нього алмазного наконечника, проектується на екран збільшений у 120 разів, крім того здійснюється вимірювання діагоналей відбитку в двох взаємно перпендикулярних напрямках; ручного привода з демпферним пристроєм, котрий забезпечує повільне додавання випробувальних навантажень; механізму підйому предметного столу; електрообладнання (рис. 7.9).

Підготовка приладу і проведення випробувань

1. Ввімкніть прилад в електромережу 220 В тумблером 2; горить лампа освітлювача 16.
2. Встановіть на вантажну підвіску 14 набір вантажів, який відповідає вибраному навантаженню.
3. Встановіть на предметний стіл 6 зразок і за допомогою маховика 5 підведіть його до зіткнення з конусом 23.
4. В залежності від вибраного навантаження встановіть тумблером 3 необхідний час витримки.
5. Відведіть рукоятку 24 вправо і виведіть її із зачеплення 25: прикладається випробувальне навантаження. Після закінчення часу витримки під навантаженням спрацьовує сигнал електродзвоника.
6. Рукоятку 24 введіть в зачеплення. На екрані з'являється відбиток.
7. Виміряйте діагоналі відбитку в двох взаємно перпендикулярних напрямках.

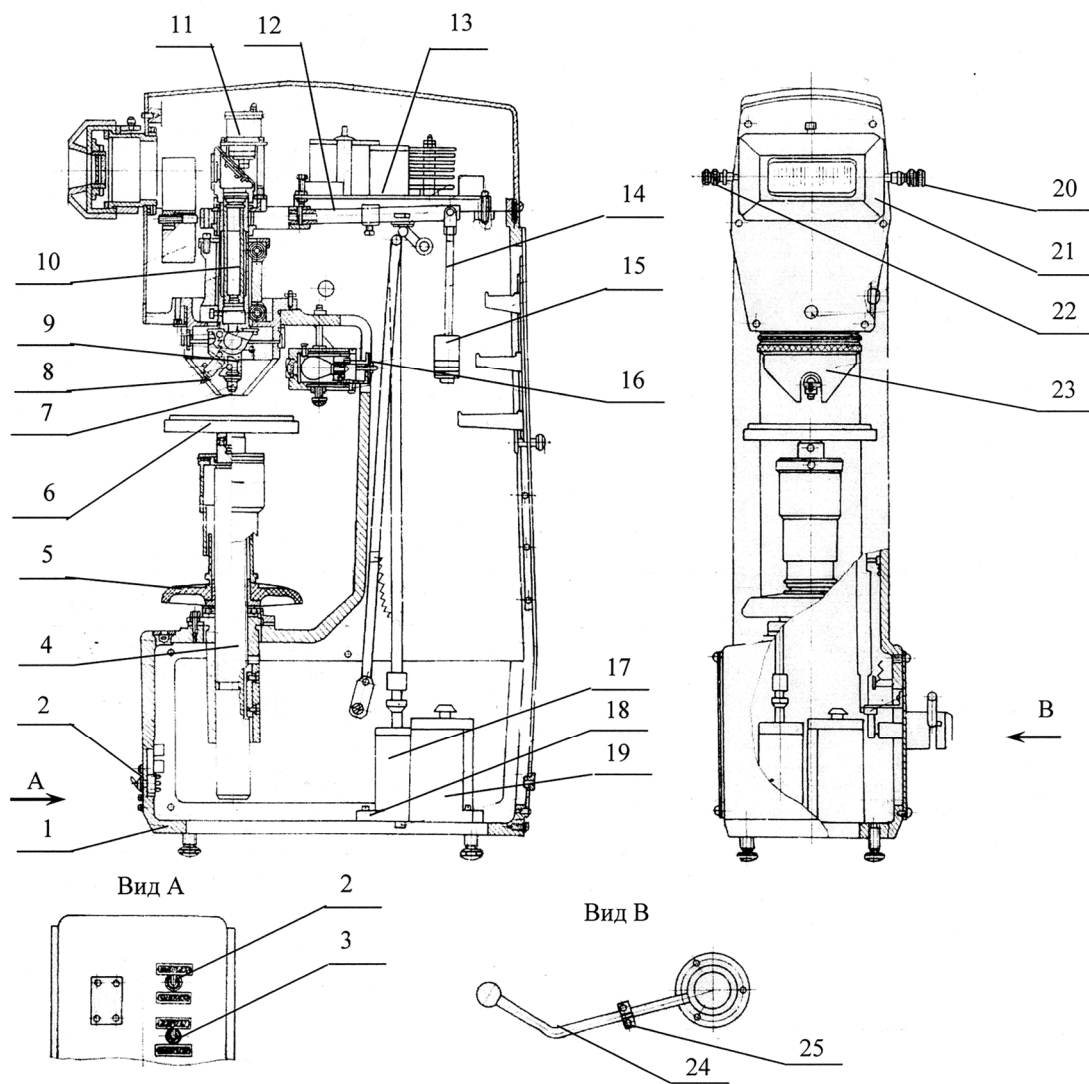


Рис. 6.9. Загальний вигляд твердоміра ТП 7Р-1.

1 – корпус; 2 – тумблер „СЕТЬ”; 3 – тумблер «ВІДЕРЖКА 30с – 12,5с»; 4 – механізм підйому; 5 – маховик; 6 – стіл; 7 – об’єктив; 8 – алмазний наконечник; 9 – дзеркало; 10 – шпиндель; 11 – електромагніт; 12 – важіль навантаження; 13 – панель електрична; 14 – підвіска вантажна; 15 – набір вантажів; 16 – освітлювач; 17 – демпфер; 18 – привод; 19 – реле часу; 20 – гвинт мікрометричний; 21 – головка вимірювальна; 22 – гвинт; 23 – конус; 24 – скоба; 25 – рукоятка

Для отримання правильної характеристики матеріалу необхідно провести ще два повторних вимірювання твердості того ж зразка і визначить середній результат.

Результати вимірювань занести до таблиці 6.5. При вимірюванні твердості мінімальна товщина зразка повинна бути більше довжини діагоналі для сталевих зразків в 1,2 рази, для зразків з кольорових металів - в 1,5 рази.

Відстань між центром відбитку і краєм зразка або краєм сусіднього відбитку повинна бути не менше 2,5 довжини діагоналі відбитку.

Методика вимірювання діагоналей відбитку за допомогою вимірювальної головки

Вимірювання діагоналей в двох взаємно перпендикулярних напрямках виконується таким чином:

1. За допомогою маховика 5 відрегулюйте різкість проекції відбитку на екрані (рис. 6.10).

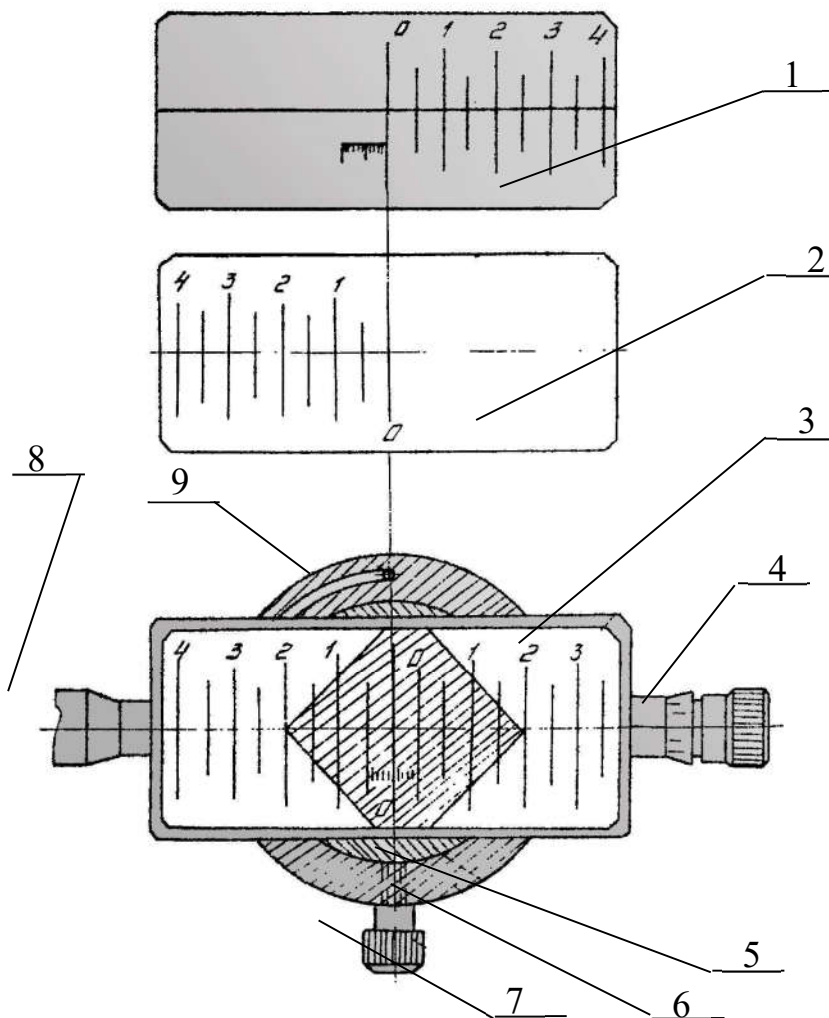


Рис. 6.10. Вимірювальна головка:

1 – шкала матова; 2 – шкала прозора; 3 – рамка вимірювальна; 4 – гвинт мікрометричний; 5 – труба; 6 – кільце стопорне; 7 – гвинт притискний; 8 – гвинт; 9 – штифт.

2. Обертанням лівого мікрометричного гвинта 8 підведіть ближчий більший поділок прозорої шкали 2 до зіткнення з лівим кутом проекції відбитку.

3. Обертанням правого мікрометричного гвинта 4 підведіть ближчий поділок матової шкали до зіткнення з правим кутом проекції відбитку (при цьому необхідно, щоб нульовий штрих шкали 2 знаходився у межах шкали сотих).

4. Відлічіть довжину діагоналі відбитку.

Число цілих великих поділок шкал 1 та 2 дає число десятих долів міліметра відбитку; число цілих поділок шкали сотих, що заключені між нульовими поділками шкал, дає число сотих міліметрів відбитку; число на барабані

мікрометричного гвинта 4, що знаходиться проти риски, нанесеної на корпусі гвинта, дає число тисячних долів міліметра відбитку.

Наприклад (рис. 6.10), діагональ відбитку містить в собі чотири великих поділок шкал 1 і 2, п'ять поділок шкали сотих і сім поділок барабану мікрометричного гвинта 4, тобто величина діагоналі дорівнює 0,457 мм.

5. Аналогічно вимірюйте довжину другої діагоналі відбитку, повернувши мікрометричну головку на кут 90°.

6. Підрахуйте середнє арифметичне двох вимірів і за таблицею чисел твердості (додаток до ГОСТ 2999-75), у відповідності з вибраним навантаженням знайдіть значення твердості зразка.

Таблиця 6.5.

Результати вимірювання твердості за Віккерсом

Матеріал зразка	Навантаження, Н	Довжина діагоналі відбитку, мм			Твердість, НV
		Перше вимірювання	Друге вимірювання	Середнє арифметичне довжини обох діагоналей відбитку	
1	2	3	4	5	6

6.3.4. Метод вимірювання МІКРОТВЕРДОСТІ

Метод призначається для вимірювання твердості мікроскопічно малих об'ємів матеріалів. Його використовують для визначення твердості окремих структурних складових сплавів, тонких фольг, для оцінки залежності зміни твердості від технологічних операцій, вплив яких розповсюджується на дуже малу глибину від поверхні.

Принципово метод вимірювання мікротвердості не відрізняється від метода визначення твердості за Віккерсом: використовується такий же індентор, зберігається незмінна послідовність виконання операцій і спосіб обробки результатів. Змінюється лише інтервал навантажень, що використовується: за ГОСТ 9450-76 передбачено навантаження від 0,05 до 5 Н.

Число мікротвердості супроводжується символом Н.

Будова мікротвердоміра ПМТ-3

Основні вузли та деталі приладу ПМТ-3 представлені на рис. 6.11

Основа 1 приладу має стійку 4, в якій гайкою 5 при послабленому гвинті 19 можна переміщувати кронштейн 6 з тубусом 13 мікроскопа. Кронштейн має напрямні, по яким переміщується тубус. Грубе переміщення тубуса здійснюється обертанням гвинта 8, а малі переміщення – обертанням гвинта 7. Тубус має скляну трубу, на якій встановлено окуляр – мікрометр 12 і об'єктив 16. До тубуса прикріплено механізм навантаження 9 з алмазним наконечником 11.

На основі розташовано предметний столик 18, верхню частину якого можна переміщувати за допомогою гвинтів 2, 3 у двох взаємно

перпендикулярних напрямках і рукояткою 20 повертати навколо осі на 180° С від одного упора до іншого.

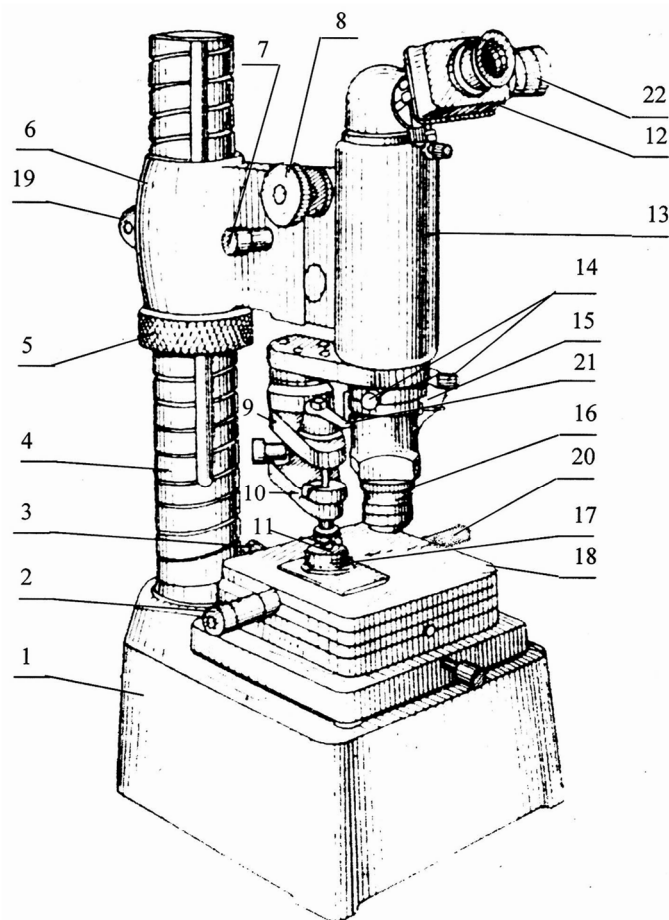


Рис. 6.11. Загальний вигляд мікротвердоміру ПМТ-3.

1 – основа; 2,3 – мікрометричні гвинти; 4 – колонка; 5 – гайка; 6 – кронштейн; 7 – механізм мікроподачі; 9 – навантажувальний пристрій; 10 – вантаж; 11 – індентор; 12 – окуляр-мікрометр; 13 – вимірювальний мікроскоп; 14 – гвинти центрування приладу; 15 – освітлювач; 16 – об’єктив; 17 – зразок; 18 – столик; 19 – гвинт стопорний; 20 – рукоятка для повертання столика; 21 – рукоятка прикладення навантаження, 22 – барабан.

На столик 16 встановлюють зразок 17.

Для навантаження індентора використовують вантажі у вигляді шайб з вирізом масою: 0,049; 0,098; 0,196; 0,49; 0,98; 1,96 Н (5; 10; 20; 50; 100; 200 г). При випробуванні один із вантажів встановлюють на шток механізму навантаження.

Вдавлювання алмазної піраміди в поверхню зразка під дією навантаження здійснюється при повороті рукоятки 21 приблизно на півоберта.

Діагональ відбитку вимірюють за допомогою окуляр-мікрометра 12. Центрування приладу відбувається гвинтами 14.

Підготовка приладу і проведення випробувань

1. Встановити і закріпити (притиснути лапками або пластиліном) зразок або шліф 2 (рис. 6.12, *а*) на предметний столик 4 під об'єктивом 1; столик має бути повернутий у крайнє положення до упору.

2. Навести на фокус поверхню зразка (шліфа) 17 обертанням гвинтів 8 і 7 (рис. 6.11).

3. Встановити на різкість нитки окулярного мікрометра 12.

4. Обертанням барабана 22 встановити подвійний штрих (перехрестя ниток) окулярного мікрометра в центр поля зору на поділок 4 шкали (рис. 6.13, *а*). Повне обертання барабана (100 малих поділок на барабані) відповідає переміщенню подвійного штриха на один поділок шкали.

5. Вибрати на зразку 2 (рис. 6.12, *а*) місця для нанесення відбитку і підведіть його переміщенням столика гвинтами 2, 3 (рис. 7.11) під перехрестя ниток (рис. 7.13, *б*).

6. Остаточнo навести на фокус поверхню зразка 2 (рис. 6.12, *а*) обертанням гвинта 7 (рис. 6.11).

7. Вибрати вантаж 6 (рис. 6.12, *а*) і встановити його на шток механізму навантаження. Величину навантаження занести до таблиці 6.6.

При випробуваннях на мікротвердість величину навантаження вибирають таким чином, щоб діагональ відбитку була не менше ніж в 1,5 рази товщини досліджуваного матеріалу або поверхневого шару; глибина відбитку повинна бути менше товщини випробуваного матеріалу або поверхневого матеріалу або поверхневого шару не менше ніж в 10 разів.

При визначенні твердості структурних складових матеріалів довжина діагоналі повинна бути значно менше досліджуваного об'єкта, а глибина відбитку не перевищувала однієї десятої товщини випробуваного зразка або структурної складової.

8. Повернути рукояткою 3 предметний столик навколо осі ОО у крайнє ліве положення до упору (рис. 6.12, *б*). Повертати необхідно обережно без удару об упор, щоб не змістити зразок.

9. Провести вдавлювання алмазної піраміди 5, для чого повільно та рівномірно, одним пальцем, повертати на себе рукоятку 7 аретира (рис. 6.12, *в*).

10. Дати витримку 4...7 с.

11. Зняти навантаження, для чого рівномірно, одним пальцем, повертати від себе рукоятку 7 аретира (рис. 6.12, *б*).

12. Повернути рукояткою 3 предметний столик навколо осі ОО у крайнє ліве положення до упору (рис. 6.12, *а*); повертати необхідно обережно без удару об упор, щоб не змістити зразок.

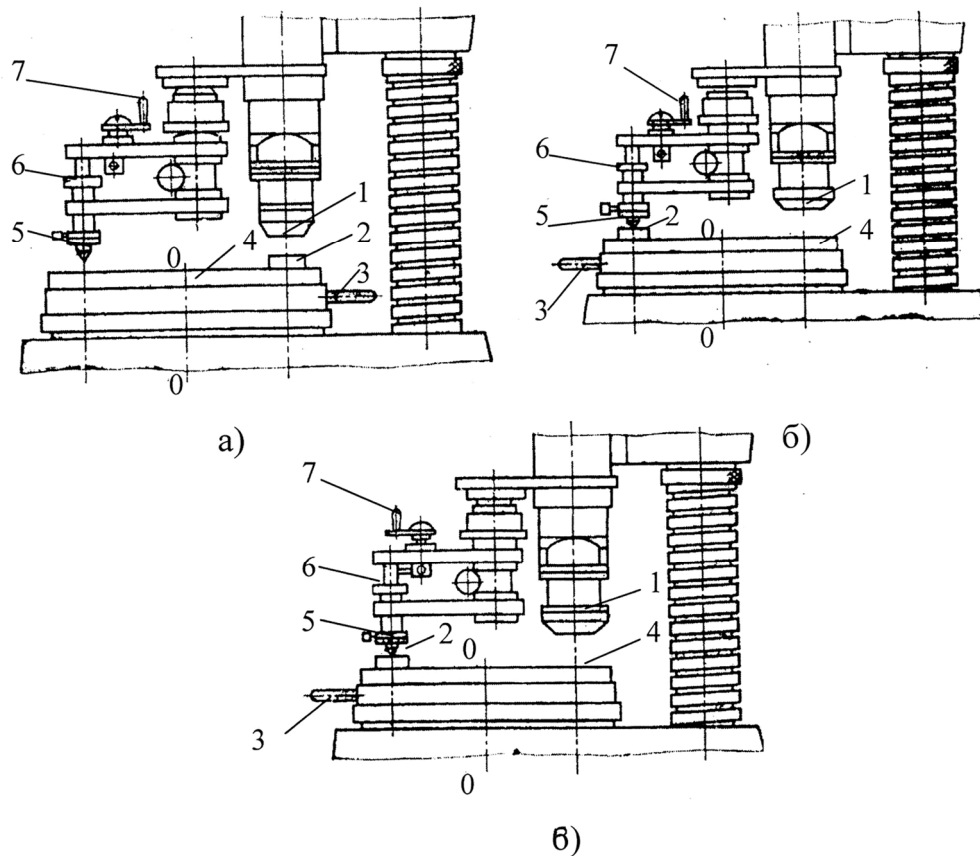


Рис. 6.12. Схема випробування на мікротвердість на приладі ПМТ-3.

1 – об’єктив; 2 – шліф; 3 – рукоятка для повертання столика; 4 – предметний столик; 5 – алмазна піраміда; 6 – вантаж; 7 – рукоятка аретира.

а – зразок під об’єктивом; вибір місця для випробування; після отримання відбитку – вимірювання його діагоналі; б – зразок під алмазною пірамідою; встановлення під вершину алмазу; те ж положення після отримання відбитку та підйому піраміди ; в – зразок під алмазною пірамідою; отримання відбитку.

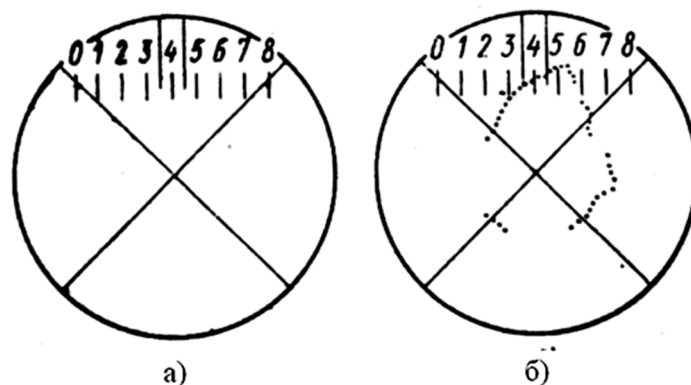


Рис. 6.13. Розташування подвійного штриха окулярного мікрометра в центрі поля зору на поділці 4 шкали та розташування вибраного для нанесення відбитку місця на зразку під перехрестям ниток.

13. Виміряти окулярним мікрометром діагоналі отриманого відбитку в двох взаємно перпендикулярних напрямках.

Результати вимірювань занести до таблиці 6.6.

Методика вимірювання діагоналей відбитку.

Закріпити окуляр-мікрометр в положенні, при якому лінії перехрестя паралельні діагоналям відбитку. Для перевірки цього положення обертанням барабана 22 (рис. 6.11) лінії перехрестя наводять на діагоналі (рис. 6.14; 1-2).

Барабаном 22 переміщуємо перехрестя в напрямку від більших відміток до малих, послідовно навести лінії перехрестя на усі кути відбитку (рис. 6.14, 3-6).

Зробити відлік показань за шкалою та лімбом барабану окулярного мікрометра; дивлячись в окуляр визначити, між якими цифрами шкали розташовувався подвійний штрих (цифра, що розташована зліва подвійного штриха, показує сотні); до цього числа додати показання лімба барабана.

Наприклад, наводці ліній перехрестя на кінці діагоналей відповідають такі відмітки за шкалою окуляр-мікрометра (рис. 6.14, 3-6):

$$Z_1=637, Z_2=549, Z_3=253, Z_4=161.$$

Довжину горизонтальної та вертикальної діагоналей (Z_H, Z_B), виражену в умовних одиницях, розраховують за формулою:

$$Z_H = Z_1 - Z_3 = 637 - 253 = 384 \quad (6.6)$$

$$Z_B = Z_2 - Z_4 = 549 - 161 = 388 \quad (6.7)$$

Середнє арифметичне двох діагоналей в поділках окуляр-мікрометра складає:

$$Z = \frac{Z_H + Z_B}{2} = \frac{384 + 388}{2} = 386 \quad (6.8)$$

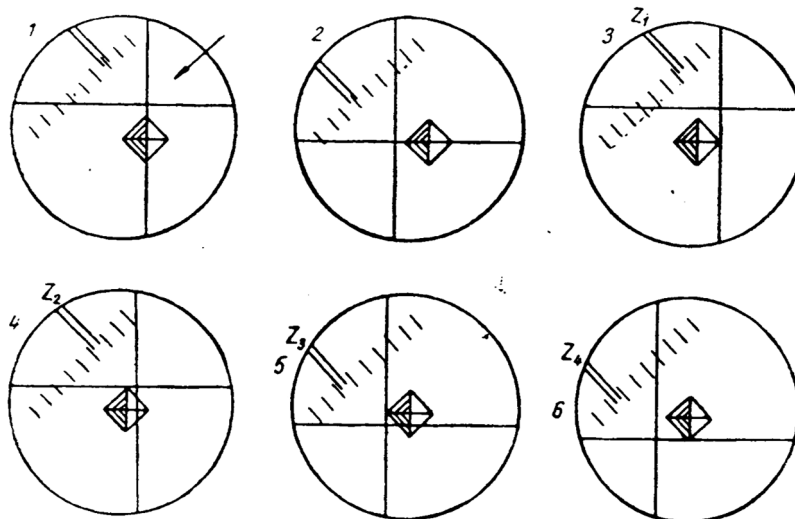


Рис. 6.14. Спосіб вимірювання діагоналей відбитку.

1,2 – контроль встановлення окуляр-мікрометра; 3-6 – вимірювання діагоналей відбитку. Стрілка вказує напрямок руху перехрестя.

Визначити середню довжину діагоналі відбитку в мікронах за формулою:

$$d = g \cdot Z = 0,22 \cdot 386 = 85 \text{ мкм} \quad (6.9)$$

де g – умовна ціна поділку барабана окуляр-мікрометра, мкм.

Для зменшення випадкових похибок при вимірюваннях слід виміряти діагоналі кожного відбитку 3..5 рази і з усіх знайдених величин (виключаючи грубі помилки) обчислити середнє значення.

Визначити число мікротвердості зразка за таблицями (додаток до ГОСТ 9450-76) у відповідності з вибраним навантаженням та довжиною діагоналі відбитку.

Наприклад, якщо довжина діагоналі відбитку 85 мкм була одержана при навантаженні 0,196 Н (20 г), то для цієї діагоналі відбитку мікротвердість (в МПа) складає 51,3 Н.

Результати вимірювань занести до таблиці 6.6.

Таблиця 6.6.

Результати вимірювань мікротвердості

Матеріал зразка	Навантаження, Н	Перший відлік	Другий відлік	Різниця першого і другого відліків (довжина діагоналі)	Довжина діагоналі відбитку помножена на 0,22, мкм	Твердість, Н
1	2	3	4	5	6	7

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ EN 10002-1:2006 Металеві матеріали. Випробування на розтяг. Частина 1. Метод випробування при кімнатній температурі
2. ДСТУ EN 10002-5:2006 Матеріали металеві. Випробування на розтяг. Частина 5. Метод випробування за підвищених температур
3. Опір матеріалів. Підручник /Г. С. Писаренко, О. Л. Квітка, Е. С. Уманський. За ред. Г. С. Писаренка — К.: Вища школа, 1993. — 655 с
4. Механические свойства конструкционных материалов при сложном напряженном состоянии: Справ. / А. А. Лебедев, Б. И. Ковальчук, Ф. Ф. Гигиняк, В. П. Ламашевский; НАН Украины. Ин-т пробл. прочности им. Г. С. Писаренко. — 3-е изд., перераб. и доп.. — К.: Издат. дом «Ин Юре», 2003. — 539 с.

Додаток А

Вибір діаметра кульки, навантаження і часу витримки в залежності від твердості та товщини досліджуваного зразка

Матеріал	Інтервал чисел твердості, НВ	Товщина випробуваного зразка, мм	Діаметр кульки, мм	Навантаження, кН	Витримка під навантаженням, с
чорні метали	130-450	6 - 3	10	29,420	10
		4 - 2	5	7,355	
		менше 2	2,5	1,839	
	140 і менше	більше 6 6 - 3	10 5	9,807 2,452	
мідь, латунь, бронза	130 і більше	6 - 3	10	29,420	30
		4 - 2	5	7,355	
		менше 2	2,5	1,839	
	35 -130	9 - 3 6 - 3	10 5	9,807 2,452	
Алюміній	8-35	більше 6	10	2,452	60
алюміній, магній та їх сплави	16 -100	6 - 1	10	4,903	

Складання вантажів

Навантаження, кН	Набір вантажів, Н
1,839	1839*
2,452	1839 613
4,903	1839 613 2452
7,355	1839 613 4903
9,807	1839 613 2452 4903
14,71	1839 613 2452 4903 4903
29,42	1839 613 2452 4903 4903 4903 4903 4903 (29,42 кН)**

Примітка. * Підвіска для вантажів. ** Вантаж з подвійним маркіруванням використовувати тільки для навантаження 29,42 кН.

Додаток В

Співвідношення між числами твердості металів і сплавів (орієнтовні)

d, мм	За Брінеллем, HB	За Роквеллом			За Віккерсом, HV	За Шором, HSh	d, мм	За Брінеллем, HB	За Роквеллом			За Віккерсом, HV	За Шором, HSh
		HRC	HRA	HRB					HRC	HRA	HRB		
2,20	780	72	84	—	1124	106	4,00	229	20	61	100	228	36
2,25	745	70	83	—	1116	102	4,05	223	19	60	99	222	35
2,30	712	68	82	—	1022	98	4,10	217	17	60	98	217	34
2,35	682	66	81	—	941	94	4,15	212	15	59	97	213	34
2,40	653	64	80	—	868	91	4,20	207	14	59	95	208	33
2,45	627	62	79	—	804	87	4,25	201	13	58	94	201	32
2,50	601	60	78	—	746	84	4,30	197	12	58	93	197	31
2,55	578	58	78	—	694	81	4,35	192	11	57	92	192	30
2,60	555	56	77	—	650	78	4,40	187	9	57	91	186	30
2,65	534	54	76	—	606	76	4,45	183	8	56	90	183	29
2,70	514	52	75	—	587	73	4,50	179	7	56	90	178	29
2,75	495	50	74	—	551	71	5,55	174	6	55	89	174	28
2,80	477	49	74	—	534	68	4,60	170	4	55	88	171	28
2,85	461	48	73	—	502	66	4,65	167	3	54	87	166	27
2,90	444	46	73	—	474	64	4,70	163	2	53	86	162	27
2,95	429	45	72	—	460	62	4,75	159	1	53	85	159	26
3,00	415	43	72	—	435	61	4,80	156	0	52	84	155	26
3,05	401	42	71	—	423	59	4,85	152	—	—	83	152	25
3,10	388	41	71	—	401	57	4,90	149	—	—	82	149	24
3,15	375	40	70	—	390	56	4,95	146	—	—	81	146	24
3,20	363	39	70	—	380	54	5,00	143	—	—	80	143	24
3,25	352	38	69	—	361	53	5,05	140	—	—	79	140	23
3,30	341	36	68	—	344	51	5,10	137	—	—	78	138	23
3,35	331	35	67	—	334	50	5,15	134	—	—	77	134	23
3,40	321	33	67	—	320	49	5,20	131	—	—	76	131	22
3,45	311	32	66	—	311	47	5,25	128	—	—	75	129	22
3,50	302	31	66	—	303	46	5,30	126	—	—	74	127	22
3,55	293	30	65	—	292	45	5,35	123	—	—	73	123	21
3,60	285	29	65	—	285	44	5,40	121	—	—	72	121	21
3,65	277	28	64	—	278	43	5,45	118	—	—	71	118	21
3,70	269	27	64	—	270	42	5,50	116	—	—	70	116	20
3,75	262	26	63	—	261	41	5,55	114	—	—	68	115	20
3,80	255	25	63	—	255	40	5,60	111	—	—	67	113	20
3,85	248	24	62	—	249	39	5,65	109	—	—	66	110	20
3,90	241	23	62	102	240	38	5,70	107	—	—	65	109	19
3,95	235	21	61	101	235	37	5,75	105	—	—	64	108	19

Методичне видання

Лаухін Дмитро Вячеславович
Ротт Наталія Олександрівна

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання лабораторних робіт
з дисциплін «Сучасні методи зміцнення матеріалів»
для студентів галузі знань 13 «Механічна інженерія» спеціальності 132
«Матеріалознавство»

Видано в світ
у Національному технічному університеті
«Дніпровська політехніка».
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 1842
49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19