МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторної роботи № 3
«Вивчення приладів та техніки випробувань матеріалів на мікротвердість на приладі ПМТ-3»
з дисципліни «Основи науково-дослідної роботи» для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» всіх форм навчання

2018

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи № 3 «Вивчення приладів та техніки випробувань матеріалів на мікротвердість на приладі ПМТ-3» з дисципліни «Основи науково-дослідної роботи» для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» всіх форм навчання / Укл: М.І. Андрущенко, О.Є. Капустян. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2018. - 26 с.

Укладачі: М.І. Андрущенко, канд. техн. наук, доцент
О.Є. Капустян, старш. викл.;
Рецензент: М.Ю. Осіпов, канд. техн. наук, доцент
Коректор: І.П. Аверченко
Відповідальний за випуск: О.Є. Капустян

Затверджено
на засіданні кафедри ОТЗВ
Протокол № 10 від 18.05.2018 р.

Рекомендовано до видання
НМК ІФФ
Протокол № 10 від 19.06.2018

ЗМІСТ

1 МЕТА РОБОТИ 4
2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ 4
2.1 Історія та передумови створення способу визначення мікротвердості і приладів для його реалізації 4
2.2 Вимоги до випробуваних зразків 5
2.3 Вимоги до приладів для визначення мікротвердості та конструкція ПМТ-3 5
2.4 Підготовка приладу для проведення випробувань зразків 12
2.5 Порядок та правила проведення випробувань 15
2.6 Можливі похибки результатів випробувань, способи їх попередження та усунення 17
3 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ І КОНТРОЛЮ ПІДГОТОВЛЕНОСТІ СТУДЕНТІВ ДО РОБОТИ 19
4 МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТ, ПРИЛАДИ, ОБЛАДНАННЯ 21
5 ВКАЗІВКИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ 21
6 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ 22
7 ЗМІСТ ЗВІТУ 25
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА 25
Додаток А Числа твердості 26

1 МЕТА РОБОТИ

Вивчити конструкцію приладу ПМТ-3, опанувати техніку та технологію вимірювання мікротвердості сплавів та покриттів.

2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

2.1 Історія та передумови створення способу визначення мікротвердості і приладів для його реалізації

Методи визначення твердості за принципом статичного вдавлювання наконечника певної форми і розмірів при навантаженнях від 5 до 3000 кгс (Бринель, Роквел, Викерс) не дають можливості виявляти твердість окремих складових структурно неоднорідних сплавів, а також досліджувати зміни твердості тонких поверхневих шарів металів в результаті механічної обробки, прокатки, тертя, зношування т. і. Для вивчення властивостей і перетворень в сплавах необхідно не тільки знати «усереднену» твердість, що представляє твердість в результаті сумарного впливу присутніх в сплаві фаз і структурних складових, але і визначати твердість окремих фаз і структур сплаву.

За допомогою приладів, заснованих на застосуванні таких методів, не можна визначати твердість дрібних і тонких предметів (наприклад, фольги, металевих ниток і деталей годинникових механізмів). Також не можна визначати твердість незначних по товщині шарів гальванічних та інших захисних покриттів, так як застосовуються навантаження дуже великі і наконечник продавлює тонку деталь або поверхневий шар. У той же час визначення твердості в мікроскопічно малих обсягах металу має велике значення для вирішення цілого ряду технологічних і наукових проблем.

В результаті дослідження умов застосування стандартизованого методу визначення твердості вдавленням алмазної піраміди при малих навантаженнях був розроблений метод визначення мікротвердості. Були також сконструйовані прилади, призначені для цього виду випробувань, в тому числі ПМТ-3.

2.2 Вимоги до випробуваних зразків

Зразки для вимірювань готуються так само, як мікрошліфи для металографічних досліджень. При підготовці досліджуваної поверхні необхідно вжити заходів обережності проти можливої зміни її твердості внаслідок нагрівання або наклепу в результаті механічної обробки. Та частина поверхні зразка на якій будуть проводитись заміри повинна бути плоскою, гладкою, вільною від забруднень і мастила.

2.3 Вимоги до приладів для визначення мікротвердості та конструкція ПМТ-3

Алмазний індентор, який використовується при випробуваннях, частіш за все, повинен бути у вигляді чотиригранної піраміди (рис. 2.1 а) з кутом α між протилежними гранями при вершині 136° ± 20′.

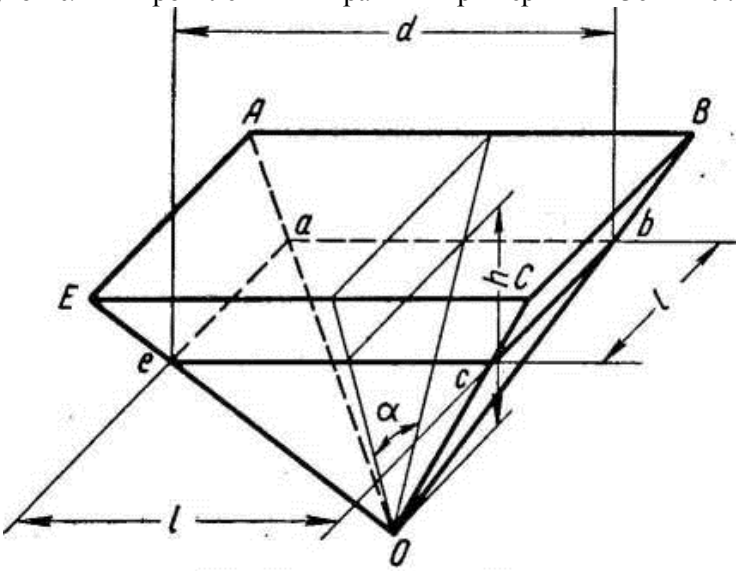


Рисунок 2.1 – Схема алмазної піраміди

Грані піраміди повинні бути ретельно відполіровані для

можливо більшого усунення тертя при вдавлюванні. Клас чистоти їх поверхні повинен бути $R_a \leq 0{,}04$ мкм. Грані не повинні мати тріщин, подряпин і інших поверхневих дефектів, видимих при 50-кратному збільшенні по довжині ребра 0,1 мм, рахуючи від вершини піраміди. Ребра і вершина піраміди не повинні мати викришувань і інших дефектів, помітних при збільшенні до 500 разів контрольного відбитка, нанесеного на поліровану плоску поверхню загартованої сталі. Необхідно мати на увазі, що при випробуванні на мікротвердість великий вплив на кінцеві результати надає точність огранки алмазної піраміди, особливо при її вершині. Крім чотиригранної піраміди ще використовуються тригранна, чотиригранна з ромбовидною основою та біціліний наконечник (рис. 2.2) відповідно.

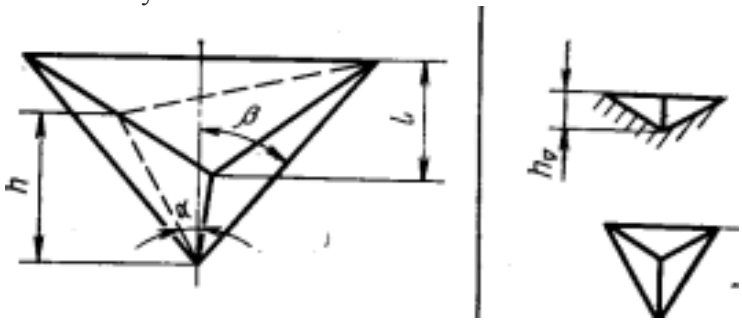
Прилад типу ПМТ-3 (рис. 2.3, 2.4) має масивний штатив, який складається з підставки виконаної у вигляді коробки 19 з ребрами жорсткості. До підставки прикріплена циліндрична колона 15 зі стрічковим різьбленням. На колоні за допомогою розрізної втулки 16 з затискним гвинтом 17 закріплений кронштейн 14, до якого в свою чергу не жорстко змонтований вертикальній мікроскоп 8. Кронштейн можна переміщати вверх і вниз в залежності від висоти об’єкта, який досліджується. Для цього необхідно відкрутити на два – три оберти гвинт 17, далі за допомогою гайки 18 підняти, чи опустити кронштейн і знову затиснути гвинтом вушка втулки.

Мікроскоп можна піднімати чи опускати відносно кронштейна за допомогою рейкового механізму грубої подачі (макрометричний механізм), керуючи ним круглою рукояткою 5 і тонкої подачі (мікрометричний механізм), шляхом обертання барабану 4. Останній має поділки (риски), кожна з яких відповідає 0,002 мм підйому або опускання тубуса мікроскопа.

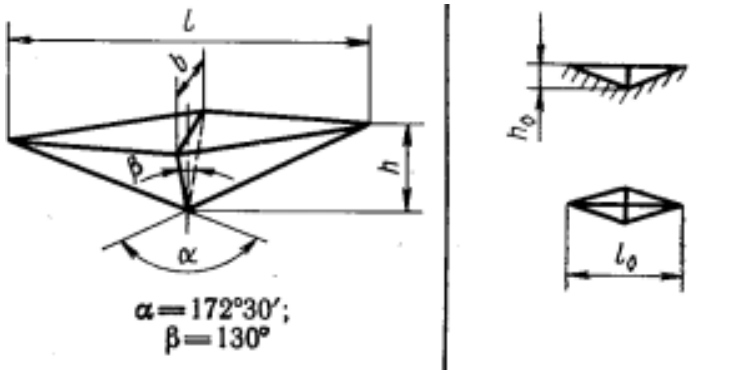
Дуже важливою частиною мікроскопа є окулярний гвинтовий мікрометр МОВ-1-15х (рис. 2.5), який служить для вимірювання зображення об'єктів, які розглядаються в мікроскопі (діагоналі відбитків, структурні складові, зерна, покриття, перехідні зони та ін.).

У мікрометрі використовується система компенсаційного окуляра АМ-27 зі збільшенням 15×. У фокальній площині розташовані дві плоскопаралельні пластинки. Нерухома пластинка 4 має 8-міліметрову шкалу з ціною поділки 1 мм (рис 2.6). Рухома шкала 2 забезпечена перехрестям і індексом у вигляді двох рисок 3. Шкала та

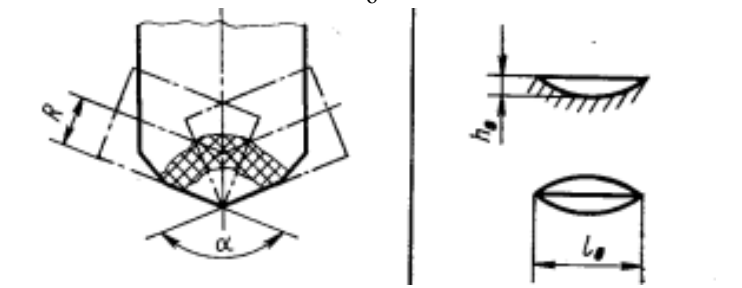
перехрестя з індексом нанесені на звернених один до одного поверхнях пластинок тому їх видно в полі зору одночасно. Пластинка 4 (рис 2.5) знаходиться в оправі, закріпленої в кожусі 5; пластинка 2 встановлена на повзунові 1.



а

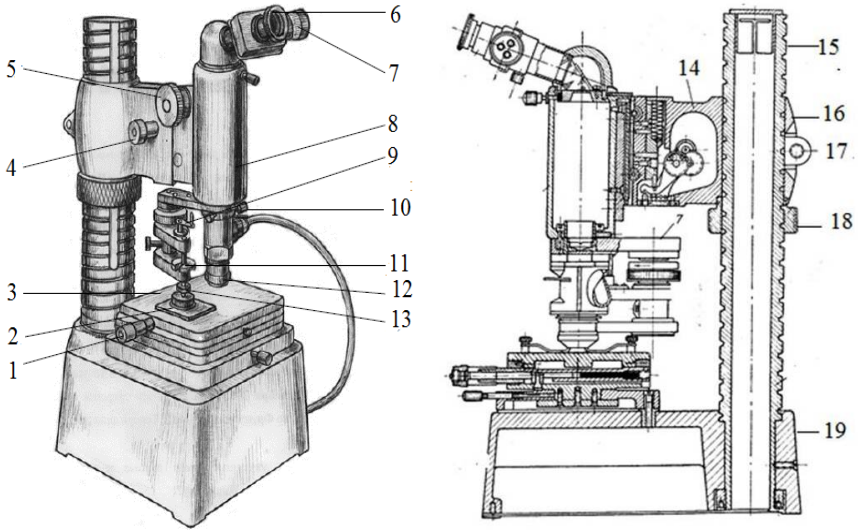


б



в

Рисунок 2.2 – Схеми інденторів



1 - мікрометричний гвинт; 2 – пластина для закріплення зразка; 3 - предметний столик; 4 - ручка мікропереміщення мікроскопа; 5 - ручка макропереміщення мікроскопа; 6 - окуляр-мікрометр; 7 – відліковий маховичок-барабанчик мікрогвинта окуляр мікрометра; 8 – мікроскоп; 9 - рукоятка аретира навантажувача; 10 - регулювальні гвинти; 11 – диск навантаження; 12 - об'єктив; 13 – патрон для закріплення алмазного індентора; 14 - кронштейн; 15 - колона зі стрічковим різьбленням; 16 - розрізна втулка кронштейна; 17 - затискний гвинт; 18 - гайка зі стрічковим різьбленням; 19 - підставка;

Рисунок 2.3 - Схема приладу ПМТ- 3 для випробувань на мікротвердість

Переміщення повзуна здійснюється за допомогою мікрометричного гвинта 7, забезпеченого барабаном 6, шкала якого має ціну поділки 0,01 мм. Крок мікрометричного гвинта дорівнює 1 мм. Таким чином, поворот барабана на одну поділку відповідає переміщенню перехрестя на 0,01 мм. Окуляр в оправі 3 переміщується уздовж осі на ± 5 дптр. Мікрометр встановлюється на корпусі мікроскопа і закріплюється за допомогою хомутика 8 гвинтом.

Для розміщення зразків в приладі передбачений предметний столик 19. Він може переміщатися у взаємно перпендикулярних напрямках, що досягається за допомогою мікрометричних гвинтів. Точність переміщення 0,01 мм досягається в межах 10 мм. Для повороту предметного столика на 180º від упору до упору (з початкового положення, коли візується місце випробування, в

положення для нанесення відбитків) служить спеціальна рукоятка.

Рисунок 2.4 - Загальний вигляд приладу ПМТ- 3 для випробувань на мікротвердість

Конструкція столика і механізму переміщення дозволяють забезпечити поєднання місця, обраного для випробування, з місцем фактичного відбитка з точністю до 0,003 мм.

Для нанесення відбитків на поверхню зразків, які випробовуються, призначений механізм навантаження (рис. 2.7). Він складається зі штока 2 з алмазним наконечником 1, вставленим в державку. Шток підвішений (закріплений) до вільних кінців двох пружних сталевих пластин 4 і 6, розташованих усередині корпусу механізму. Вантажик в формі шайб з радіальним вирізом розміщують на штоці між пружними пластинами 4 і 6. Урівноваження деталей, на яких закріплена алмазна піраміда, відбувається за рахунок пружного прогину цих пластин.

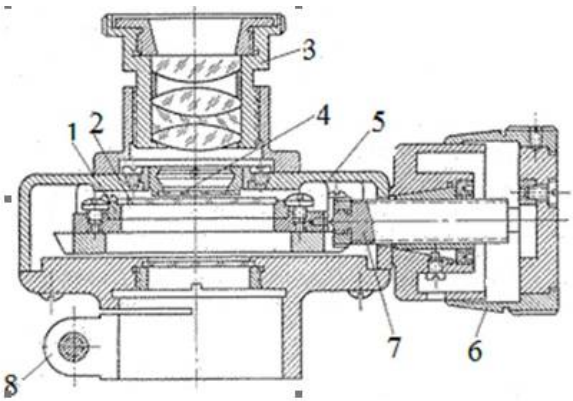
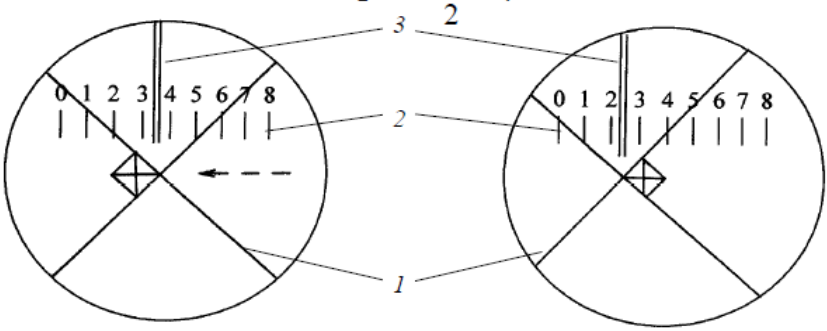


Рисунок 2.5 - Схема окулярного гвинтового мікрометра МОВ-1-15х

$$z = \frac{z_1 + z_2}{2}.$$



а б

а - положення перехрестя окуляр-мікрометра біля правого кінця діагоналі;
б - положення перехрестя окуляр-мікрометра біля лівого кінця діагоналі;
1 - рухоме перехрестя;

Рисунок 2.6 – Схема поля зору окулярного мікрометра при різних положеннях перехрестя рухомої пластини відносно граней відбитка

Алмазну піраміду піднімають і опускають рукояткою 3. Гайка 5 служить для переміщення вгору і вниз всього механізму навантаження при налагодженні приладу, коли встановлюють вершину алмазної піраміди так, щоб її вістря тільки торкалося поверхні зразка практично не залишаючи відбитка.

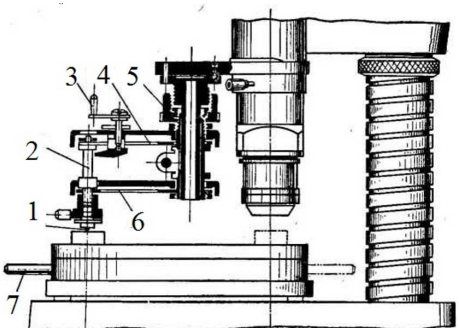
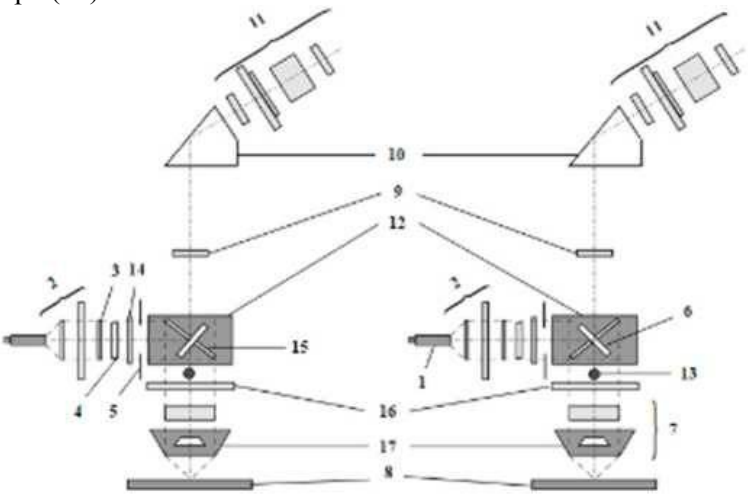


Рисунок 2.7 - Механізм навантаження

При дослідженні предметів в світлому полі промінь від джерела світла (7) (рис. 2.8) через конденсор (2), світлофільтр (3), колекторну лінзу (4) та ірисову діафрагму (5) падає на відбивну пластинку (6). Далі промінь проходить в об'єктив (7), потрапляє на досліджуваний зразок (8), відбивається від нього, знову потрапляє в об'єктив (7) і пройшовши відбивну пластинку (6), ахроматичну лінзу (9) і призму (10), утворює зображення предмета в фокальній площині окулярного мікрометра (11).



1 - джерело світла; 2 - конденсор; 3 - набір світлофільтрів; 4 - колекторна лінза; 5 - ірисова діафрагма; 6 - відбивна пластина; 7 - об'єктив; 8 - досліджуваний зразок; 9 - ахроматична лінза; 10 - призма; 11 - фокальна площина окулярного мікрометра; 12 - тримач відбивної пластини; 13 - рукоятка; 14 - кільцева діафрагма; 15 - відбивне дзеркало; 16 - кільцева діафрагма; 17 - параболічне дзеркало

Рисунок 2.8 – Оптична схема мікроскопа

Мікроскоп приладу дозволяє розглядати досліджуваний предмет як в світлому, так і в темному полі.

Прилад повинен встановлюватись на міцному, масивному столі або на опорній дошці, розташованій на кронштейнах, прикріплених до стіни. Він повинен бути добре захищений від можливих вібрацій, що передаються через підлогу або стіни будівлі. Один із способів захисту це використання ковриків із матеріалів які гасять коливання, наприклад ізолон.

2.4 Підготовка приладу для проведення випробувань зразків

Перевірку і налагодження приладу проводять в такій послідовності.

1. Досліджуваний зразок закріплюють на пластинці пластиліном. Паралельне розташування зразка по відношенню до площини предметного столика досягається втискуванням зразка в пластилін ручним пресиком (рис. 2.9).

Рисунок 2.9 - Пресик ручний

2. Перевіряють справність роботи навантажувального механізму. Для цього шток індентора вхолосту кілька разів переміщують при невеликому навантаженні (5 - 10 г). при цьому шток повинен переміщатися без заїдань, плавно.

3. Перевіряють суміщення відбитка з точкою перетину перехрестя. Для цього роблять пробний відбиток в будь-якому місці зразка при невеликому навантаженні. Якщо суміщення не буде то центрувальними гвинтами відбиток підводять до точки перетину перехрестя і після цього роблять ще один пробний відбиток.

4. Перевіряють чутливість роботи індентора (накінечника). Спочатку виконують відбиток без навантаження, а потім при навантаженні 0,5 г. В першому випадку відбитку не видно навіть при максимальному збільшенні. У другому випадку алмаз залишає невеликий відбиток, видимий при тому ж збільшенні.

5. Проводять калібрування окуляра-мікрометра. Для цього розміщують об'єкт-мікрометр на предметному столику мікроскопа. Далі налаштувавши різкість (фокус) при заданому об'єктиві в мікроскопі можна чітко бачити дві сітки: сітку окуляра-мікрометра і сітку об'єкта-мікрометра. Повертаючи окуляр-мікрометр в окулярному тубусі, і переміщаючи калібрувальний слайд в площині предметного столика за необхідно домогтися того, щоб штрихи-ділення сіток окуляра і калібрувальної лінійки знаходилися паралельно один одному. Визначивши, скільки поділок шкали об'єкт-мікрометра укладається в шкалі окуляра-мікрометра, можна обчислити і безпосередньо ціну поділки окуляра-мікрометра за нескладною формулою:

$$Ц_{ок} = N \cdot Ц_{об}/K$$

де $Ц_{ок}$ - ціна поділки окуляра-мікрометра;
$Ц_{об}$ - ціна поділки об'єкт-мікрометра;
N - число поділок об'єктива-мікрометра;
K - число поділок окуляр-мікрометра.

Наприклад, як показано на рис. 2.10 на 80 поділок об'єкт-мікрометра ціною поділки 0,01 мм припадає 60 поділок, то $Ц_{ок}$ складе 0,0133.

Якщо спеціаліст-оператор весь час працює за одним мікроскопом, то йому цілком достатньо один раз виконати подібну

перевірку-калібрування для кожного об'єктива, запротоколювати у себе отримані дані і використовувати їх в подальшому.

Визначати лінійні розміри мікроелементів зразка можна також і за допомогою спеціальної цифрової камери для мікроскопа і відповідного програмного забезпечення. Об'єкт-мікрометр також використовується для калібрування цифрової камери для кожного об'єктива окремо відповідно до інструкції до камери.

6. Перевіряють правильність показань приладу. Для цього роблять кілька відбитків на еталонному матеріалі із заздалегідь відомою твердістю. При підборі еталонів мікротвердості необхідно керуватися наступним:

а) твердість зразка має бути приблизно такою ж, як і твердість досліджуваних матеріалів;

б) твердість не повинна залежати від тривалості випробування, що застосовується навантаження і місця на поверхні зразка;

в) новий еталон з такою ж твердістю має бути легко відтворюватись.

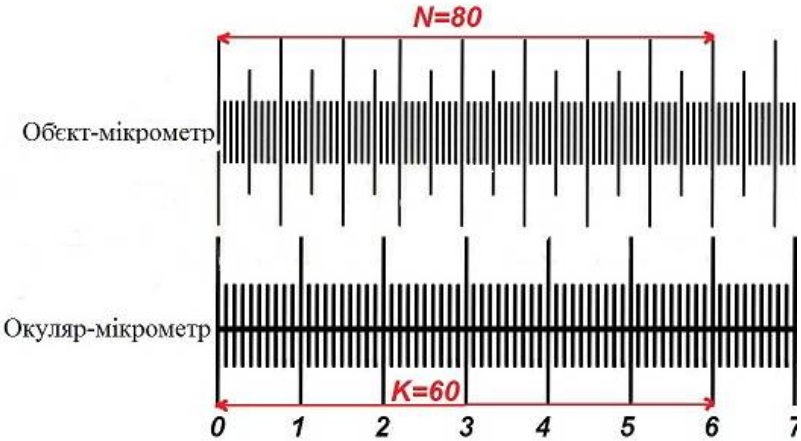


Рисунок 2.10 - Схема визначення ціни поділки окуляр-мікрометра

В якості еталону можуть використовуватись бруски з монокристалів кам'яної солі, з хорошою однорідністю. Мікротвердість кам'яної солі не залежить від стану поверхні (вологість, вивітрювання і т. д.). За свіжесколотої поверхні мікротвердість солі становить 182 МН/м^2.

Відпалений алюміній рекомендується як еталон при роботі з матеріалами, що мають невисоку твердість. Твердість самого алюмінію в відпаленому стані становить близько 200 МН/м^2.

Відпалений нікель можна використовувати як еталон при роботі з матеріалами середньої твердості. В відпаленому стані твердість нікелю складає близько 1000 МН/м^2. При виготовленні нікелевого еталона необхідно застосовувати електролітичне полірування, алюмінієвого еталона - виливки на полірованій поверхні. Твердість алюмінію і нікелю залежить від навантаження.

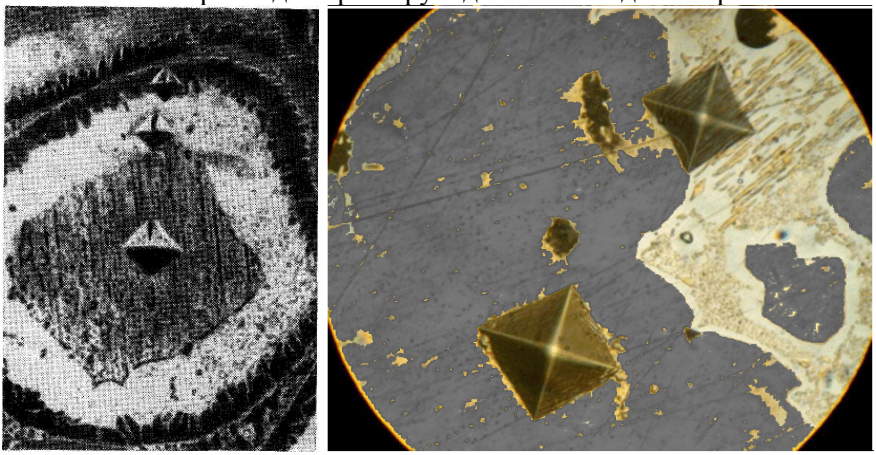
2.5 Порядок та правила проведення випробувань

Зразок, або виріб встановлюють на опорному столику приладу так, щоб в процесі випробування він не зміщувався і не прогинався. Поверхня, на якій наносять відбитки, повинна бути перпендикулярна до напрямку переміщення наконечника. Місце розташування відбитку вибирають так, щоб відстань від його центру до краю зразка була не менше подвійної довжини діагоналі відбитка. При визначенні твердості окремих структурних складових сплаву за край приймають границю зерна.

Стандартизовані наступні навантаження: 1, 5; 10; 20; 50; 100; 200 гс (0,049; 0,098; 0,196; 0,49; 0,98; 1,96 Н). Величину навантаження в разі випробування однорідного матеріалу, вибирають, виходячи з очікуваної довжини діагоналі відбитка, яка повинна бути не більше півтори товщини зразка або шару покриття.

У разі випробування неоднорідного за структурою матеріалу величину навантаження вибирають в залежності від мети досліджень. Якщо необхідна оцінка середньої мікротвердості матеріалу, то розмір діагоналі відбитка повинен бути істотно більшим у порівнянні з розмірами структурних складових сплаву. Випробування в різних місцях такого неоднорідного металу повинні при правильному виборі навантаження давати однакові результати. Якщо кінцевою метою випробування є оцінка твердості окремих структурних складових, то величину навантаження задають з розрахунку, щоб розмір діагоналі відбитка був досить малий у порівнянні з розмірами випробуваних зерен. Навантаження прикладають плавно, без поштовхів, повільно,

щоб швидкість впровадження піраміди не відбивалася на розмірах відбитка. Тривалість витримки під навантаженням повинна становити не менше 5 с. Приклади характеру відбитків наведені на рис. 2.11.



а б

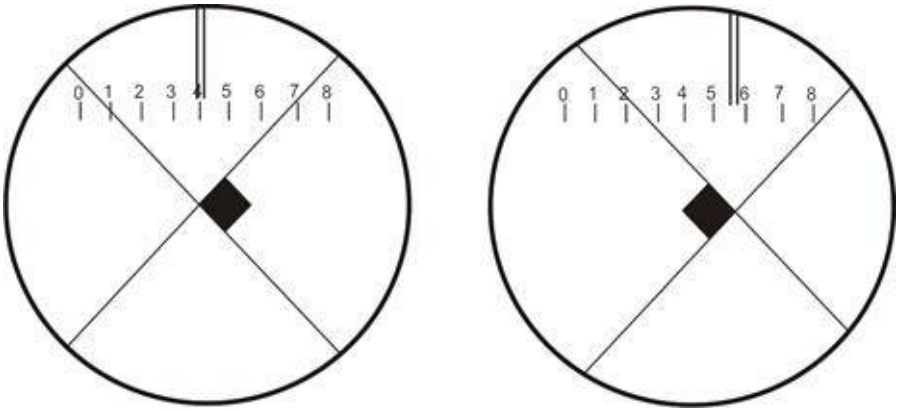
Рисунок 2.11 – Відбитки на литій швидкоріжучій сталі (а) та на дослідному гетерогенному сплаві (б).

Для визначення твердості зразка, або виробу наносять, як правило, не менше трьох відбитків, а інколи і значно більше. Якщо спостерігається значне розсіювання результатів, то необхідно виявити і усунути його причину.

Діагоналі відбитків вимірюють за допомогою мікроскопа. Для цього спочатку шляхом обертання барабану мікрометричного окуляра підводять перехрестя рухомої сітки до лівих граней відбитку (рис 2.12 а). Фіксують положення поділок мікрометричного барабанчика. Далі перехрестя переводять до протилежних граней. Знову фіксують положення поділок мікрометричного барабанчика. Знаходять різницю кількості поділок і знаючи ціну поділки вираховують довжину діагоналі відбитка. Далі повертаючи окуляр на 90°, визначають також довжину другої діагоналі і обчислюють її середню довжину. Мікротвердість обчислюють за формулою:

$$HV = 1{,}854 \cdot P/d^2,$$

де P – величина навантаження, кг · с;
d - довжина діагоналі, мм^2.



а б

Рисунок 2.12 - Схема вимірювання довжини діагоналі відбитка окулярним мікрометром

Або простіше числа твердості знаходити використовуючи таблиці (дивись додаток А).

2.6 Можливі похибки результатів випробувань, способи їх попередження та усунення

При визначенні мікротвердості можуть виникати похибки, пов'язані з наступним:

– зі станом алмазної піраміди;
– неточністю в величині прикладеного навантаження;
– не строгою перпендикулярністю площини шліфа до осі індентора;
– дефектами освітлення;
– помилками вимірювання діагоналі відбитка.

Дефекти алмазної піраміди (скол вершини, негладкість граней, викришування ребер і т. д.) приводять до отримання неправильних результатів випробування.

Фактичне навантаження, з якою алмазна піраміда вдавлюється у випробуваний метал, може бути трохи більше або менше номінальної. Це, природно, обумовлює похибки при визначенні числа твердості.

Зменшення фактичного навантаження в порівнянні з номінально прийнятим може бути пов'язано з втратами на тертя в механізмі

навантаження. Збільшення фактичного навантаження на алмазну піраміду може викликатися занадто швидким опусканням механізму, що навантажує.

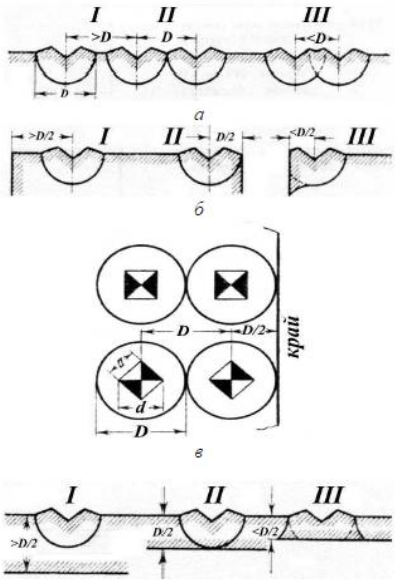
Якщо площина шліфа не перпендикулярна осі переміщення індентора, то відбиток виходить у вигляді неправильного квадрата (спотворення форми відбитка в деяких випадках визначається анізотропією або місцевою неоднорідністю випробуваного металу). Щоб уникнути цієї помилки необхідно ретельно встановлювати шліф на установчу пластину і акуратно втискувати в пластилін ручним пресиком.

Різні умови освітлення приводять до помилок через те, що по краях відбитка у багатьох металів і матеріалів при випробуванні утворюється виступ (валик) через виникнення деформованої зони навколо відбитків і видимі розміри контуру змінюються зі зміною напрямку освітлення.

Для виключення похибок при вимірі мікротвердості в результаті утворення деформованої зони навколо відбитків ДСТУ визначені відстані між відбитками і від країв зразка (рис. 2.13). Сумарна похибка при вимірюваннях на приладі ПМТ-3 при збільшенні близько 400 крат досягає 0,17 мкм (середня квадратична похибка).

Відносно велика похибка спостерігається при відбитках малого розміру і менша - при відбитках більшого розміру. При звичайних випробуваннях на мікротвердість рекомендується, щоб довжина діагоналі становила не менше 5 мкм.

Для зменшення похибок, викликаних зазначеними вище причинами, рекомендується вимірювати довжину діагоналі одного і того ж відбитку кілька разів і обчислювати середнє арифметичне значення (для відбитків з довжиною діагоналі більше 10 мкм - три виміри, для відбитків менше 10 мкм - шість вимірювань).



а - відносно один одного; б, в - відносно краю зразка;
г - відносно нижньої поверхні тонкого зразка, або покриття

Рисунок 2.13 - Схема розміщення відбитків мікротвердості з позначенням деформованої зони

3 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ І КОНТРОЛЮ ПІДГОТОВЛЕНОСТІ СТУДЕНТІВ ДО РОБОТИ

1 Які завдання можуть вирішуватися шляхом вимірювання мікротвердості?

2. У чому відмінності мікротвердості від агрегатної твердості матеріалів?

3 Які індентори використовуються при вимірюванні мікротвердості?

4. Які навантаження на індентор застосовуються при вимірюванні мікротвердості?

5. З якою метою здійснюється витримка під навантаженням?

6 Який час витримки під навантаженням для чорних і кольорових металів і сплавів?

7 Яка форма відбитка мікротвердості, з чим пов'язані її спотворення?

8. Які параметри відбитка вимірюються для визначення мікротвердості?

9. Яким параметром оцінюється розкид значень мікротвердості, яким факторам він обумовлений?

10. Які вимоги пред'являються до поверхні матеріалу при вимірюванні мікротвердості і якими методами вони досягаються?

11. Які методи застосовуються для підготовки поверхні мікрошліфа з метою усунення впливу наклепу поверхневого шару?

12. З якою метою проводиться юстирування мікроскопу приладу ПМТ-3? Який порядок центрування відбитка і юстирування механізму навантаження по висоті?

13. Яка мінімально допустима відстань між сусідніми відбитками, і чим обумовлена ця вимога?

14. Яке співвідношення між діагоналлю відбитка і глибиною впровадження індентора?

15 Об'єктиви з яким збільшення застосовуються в приладі ПМТ-3?

16. З чим пов'язані похибки вимірювання мікротвердості і які методи їх зниження?

17 Мікротвердість: характеристика, призначення, області застосування.

18 Пристрій і принцип дії мікротвердоміру ПМТ-3.

19 Мікротвердість: індентор Віккерса (матеріал, геометрія, розрахункова формула), призначення.

20 Мікротвердість: індентор Кнупа (матеріал, геометрія, розрахункова формула), призначення.

21 Правила підготовки зразка до виміру мікротвердості.

22 Мікротвердість: правила проведення замірів мікротвердості.

23 Як тарують прилад? Які використовуються еталони?

24 Назвіть фактори, що впливають на результати визначення мікротвердості.

25 Мікротвердість: правила нанесення відбитків.

26 Які похибки можуть виникати при визначенні мікротвердості і як вони можуть бути усунені або зведені до мінімуму?

28 Що таке деформований поверхневий шар на поверхні мікрошліфа? Як він усувається?

4 МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТ, ПРИЛАДИ, ОБЛАДНАННЯ

4.1 Набір зразків різних за твердістю.
4.2 Алмазна паста.
4.3 Об'єкт-мікрометр.
4.4 Прилад ПМТ-3для визначення мікротвердості.
4.5 Комп'ютер.
4.6 Полірувальний верстат.

5 ВКАЗІВКИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

Використовувані при виконанні роботи полірувальний верстат і прилад ПМТ-3 підключаються до мережі змінного струму напругою 380 і 220 В. Тому існує небезпека враження електричним струмом, а також травмування диском, що обертається верстата.

Щоб попередити виникнення подібних нещасних випадків, а також пошкодження апаратного забезпечення обладнання, необхідно виконувати певні вимоги безпеки.

1. Приступати до роботи після прослуховування інструктажу з техніки безпеки у керівника роботи і засвоєння матеріалу даних методичних вказівок.

2. Включати верстат і освітлювальний пристрій за дозволом викладача або лаборанта.

3. Виконувати тільки ту роботу, яка передбачена завданням.

4. Переконатися в надійності заземлення електродвигуна верстата, електроізоляції кабелю і проводів.

5. Виявляти особливу уважність і акуратність при роботі.

6. Не торкатися рухомих і струмоведучих частин обладнання.

7. Працювати на верстаті в спецодязі із застебнутими

манжетами.

8. Повідомляти викладачеві або лаборанту про несправностей обладнання, не намагатися усунути їх самостійно.

9. Виконувати роботу 'при наявності в лабораторії не менше двох осіб.

10. Після закінчення роботи вимкнути верстат і освітлювальний пристрій мікротвердоміра, привести в порядок робоче місце.

6 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

1 Встановити і закріпити притискними лапками зразок на предметному столику під об'єктивом. При цьому предметний столик повинен бути повернений в крайнє праве положення до упору.

2. Навести на фокус поверхню зразка обертанням макро- і мікрогвинтів шляхом переміщення тубуса щодо кронштейна.

3. Встановити на різкість нитки окулярного мікрометра обертанням очної лінзи окуляра.

4. Обертанням барабана окулярного мікрометра встановити подвійний штрих (перехрестя ниток) в центр поля на розподіл шкали під цифрою «4».

Повний оборот барабана (100 малих поділок) відповідає переміщенню подвійного штриха (перехрестя ниток) на одну поділку шкали.

5. Вибрати на зразку місце для нанесення відбитка і підвести його переміщенням столика під перехрестя ниток.

6. Остаточно навести на фокус поверхню зразка обертанням гвинта мікроподачі.

7. Вибрати вантажик і помістити його на шток навантажувального механізму. Навантаження записати в графу протоколу.

8. Повернути предметний столик навколо осі за ручку в крайнє ліве положення до упору. Повертати потрібно обережно без удару об упор, щоб не змістити зразок.

9. Провести вдавлення алмазної піраміди. Для цього необхідно

повільно і рівномірно, одним пальцем, повернути на себе рукоятку аретира.

10. Дати витримку 6 ... 7 секунд.

11. Зняти навантаження, для цього рівномірно, одним пальцем, повернути від себе рукоятку аретира.

12. Повернути рукояткою предметний столик навколо осі в крайнє праве положення до упору. Повертати також потрібно обережно без удару об упор, щоб не змістити зразок.

13. Виміряти окулярним мікрометром діагональ отриманого відбитка.

14. Знайти середню мікротвердість зразка, або його структурної складової.

15.Отримані результати занести в таблицю

№ п/п	Об'єкт випробувань	Навантаження, Н	Показання окуляра мікрометра		Довжина діагоналі, мкм	Мікро-твердість, МПа
			Перший відлік	Другий відлік		

16 Провести обробку результатів вимірів в наступному порядку:

а) за результатами паралельних дослідів обчислюємо середнє значення вимірюваної величини:

$$\overline{y} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} y_i}{n}, \qquad (6.1)$$

де y_i - отримані значення при вимірі;
n – кількість дослідів.

б) потім знаходимо похибки окремих вимірів:

$$\Delta y_i = \overline{y} - y_i \qquad (6.2)$$

в) обчислюємо середню квадратичну похибку окремих вимірів:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n}\left(\bar{y} - y_i\right)^2}{n-1}} \tag{6.3}$$

г) перевіряємо наявність промахів. Перевірці піддаються результати одного або двох дослідів, що мають максимальну похибку Δy_i. Досвід вважається помилковим, якщо відношення $\frac{\Delta y_i}{S}$ перевищує критичне значення коефіцієнта Стьюдента при даному рівні значущості і числі степенів свободи $f = n - 1$.

Досліди, у яких $\frac{\Delta y_i}{S} \geq t_{кр}$ вважаються промахами і їх результати слід відкинути або замінити новими, отриманими при повторному виконанні дослідів. Після виключення промахів необхідно повторно визначити $\bar{y}, \Delta y_i, S.$.

д) знаходимо абсолютну похибку результату вимірів (довірчий інтервал):

$$\Delta y = \frac{t_{кр} \cdot S}{\sqrt{n}} \tag{6.4}$$

Якщо величина похибки результату вимірів Δy виявляється порівнянною з величиною похибки δ вимірювального приладу, то в якості межі довірчого інтервалу похибки слід узяти величину:

$$\Delta y = \sqrt{\frac{t_{кр}^2 \cdot S^2}{n} + \frac{4}{9} \cdot \delta^2} \tag{6.5}$$

е) записуємо кінцевий результат виміру у вигляді:

$$y_i = \bar{y} \pm \Delta y \tag{6.6}$$

є) оцінюємо відносну похибку результату серії вимірів:

$$\varepsilon = \frac{\Delta y}{\bar{y}} \cdot 100\,\% \tag{6.7}$$

17. Скласти звіт про роботу.

7 ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Мета роботи.
2. Опис конструкції приладу ПМТ-3
3. Порядок і послідовність випробування на мікротвердість на приладі ПМТ-3.
4. Навести отримані результати.
5. Сформулювати висновки.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Харитонов Л.Г. Определение микротвердости / Л. Г. Харитонов. - М.: Металлургия. 1967. - 45 с.

2. Глазов В.М. Микротвердость металлов / В. М. Глазов. В.Н. Вигдорович. - М.: Металлургия. 1962. - 51 с.

3. ГОСТ 9450-76. Измерение микротвердости методом вдавливания алмазных наконечников. М.: Изд-во стандартов. 1978. - 56 с.

4. Свидунович, Н. А. Методы исследования материалов : лабораторный практикум по курсу «Материаловедение и технология конструкционных материалов» для студ. вузов / Н. А. Свидунович, Г. П. Окатова, Д. В. Куис. - Минск : БГТУ, 2014. - 126 с.

Додаток А
Числа твердості

Числа твердості (кг/мм^2) при випробуванні алмазною квадратною пірамідою з двогранним кутом при вершині 136° для навантаження P = 100 г

μ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	-	-	-	-	7420	5150	3780	2900	2290
10	1850	1530	1290	1100	946	824	724	642	572	514
20	464	420	383	350	322	297	247	254	236	221
30	206	193	181	170	160	151	143	135	128	122
40	116	110	105	100	95,8	91,6	87,6	84,0	80,5	77,2
50	74,2	71,3	68,6	66,0	63,6	61,3	59,1	57,1	55,1	53,3
60	51,5	49,8	47,8	46,7	45,3	43,9	42,6	41,3	40,1	39,0
70	37,8	36,8	35,8	34,8	33,9	33,0	32,1	31,3	30,5	29,7
80	29,0	28,3	27,6	26,9	26,3	25,7	25,1	24,5	24,0	23,4
90	22,9	22,4	21,9	21,4	21,0	20,5	20,1	19,7	19,3	18,9
100	18,5	18,2	17,8	17,5	17,1	16,8	16,5	16,2	15,9	15,6
110	15,3	15,1	14,8	14,5	14,3	14,0	13,8	13,5	13,3	13,1
120	12,9	12,7	12,5	12,3	12,1	11,9	11,7	11,5	11,3	11,1
130	11,0	10,8	10,6	10,5	10,3	10,2	10,0	9,88	9,74	9,60
140	9,46	9,33	9,20	9,07	8,94	8,82	8,70	8,58	8,47	8,35
150	8,24	8,13	8,03	7,92	7,82	7,72	7,62	7,52	7,43	7,34
160	7,24	7,15	7,07	6,98	6,90	6,81	6,73	6,65	6,57	6,49
170	6,42	6,34	6,27	6,20	6,13	6,06	5,99	5,92	5,85	5,79
180	5,72	5,66	5,60	5,54	5,48	5,42	5,36	5,30	5,25	5,19
190	5,14	5,08	5,03	4,98	4,93	4,88	4,83	4,78	4,73	4,68
200	4,64	4,58	4,54	4,50	4,46	4,42	4,38	4,32	4,28	4,24
210	4,20	4,16	4,12	4,08	4,06	4,02	3,98	3,94	3,90	3,86
220	3,83	3,80	3,76	3,74	3,70	3,66	3,64	3,60	3,56	3,54
230	3,50	3,48	3,44	3,42	3,38	3,36	3,34	3,30	3,28	3,24
240	3,22	3,19	3,17	3,14	3,11	3,09	3,06	3,04	3,02	2,99
250	2,97	2,94	2,92	2,90	2,87	2,85	2,83	2,81	2,79	2,76
260	2,74	2,72	2,70	2,68	2,66	2,64	2,62	2,60	2,58	2,58
270	2,54	2,53	2,52	2,40	2,47	2,45	2,43	2,42	2,40	2,38
280	2,36	2,35	2,33	2,32	2,30	2,28	2,27	2,25	2,24	2,22
290	2,21	2,19	2,18	2,16	2,15	2,13	2,12	2,10	2,09	2,07
300	2,06	-	-	-	-	-	-	-	-	-