

Установочная лекция

Дисциплина «Материаловедение и технология материалов» состоит из двух разделов:

1. Материаловедение;
2. Технология материалов

Материаловедение — это наука, изучающая связь химического состава, строения и свойств материалов при различных термодинамических условиях.

Основной целью данной науки «Материаловедение» является научно обоснованная рекомендация и оптимальный выбор (или разработка) того или иного конструкционного или инструментального материала для конкретных деталей технических объектов и сооружений, работающих при различных температурных и нагрузочных режимах в различных средах.

Предметом изучения науки «Материаловедение» являются:

1. физические, химические, механические и другие свойства различных материалов;
2. связь этих свойств с применением материалов в машиностроении и других сферах деятельности человека;
3. методы получения (разработки) материалов и методы целенаправленного изменения их свойств.

Материаловедение служит теоретической основой процессов обработки материалов давлением, литейного производства, сварки, нанесения гальванических покрытий, технологии обработки металлов резанием, изготовления инструментов и деталей машин.

Технология материалов является комплексной учебной дисциплиной, в которой рассматриваются основные сведения о способах производства материалов различного назначения и их обработки с целью получения из них деталей определённой конфигурации с заданными свойствами, пригодных для использования в различных машинах, механизмах и конструкциях.

Основными направлениями в развитии металловедения является разработка способов производства чистых и сверхчистых металлов, свойства которых сильно отличаются от свойств металлов технической чистоты (с различными примесями в определённом количестве), с которыми преимущественно работают.

Строение и свойства металлов и сплавов

Техническое значение материалов зависит от строения и выражается в их свойствах. Строение материалов характеризует структура.

Структура — совокупность устойчивых связей материала, обеспечивающих его целостность и сохранение основных свойств при внешних и внутренних изменениях.

Структура материалов определяется множеством факторов: строением атомов, ионов, молекул, распределением в них электронов, типом связей между частицами и т. д. В материаловедении принято рассматривать три уровня строения материалов:

атом — молекула — фаза

Молекула — наименьшая частица вещества, обладающая его химическими свойствами.

Атом — наименьшая частица химического элемента, обладающая его химическими свойствами.

В состав молекулы может входить различное число атомов. При этом атомы могут соединяться друг с другом не только в различных соотношениях, но и различным образом.

Фаза — однородная по химическому составу, кристаллической структуре, физическим свойствам часть системы, отделенная от других частей системы поверхностного раздела, при переходе через которую структура и свойства резко меняются.

В металловедении системами являются металлы и металлические сплавы. Чистый металл является простой однокомпонентной системой, сплав — сложной системой, состоящей из двух и более компонентов.

Как показывает практика и обширные научные исследования в области физики твердого тела (ФТТ) и материаловедения, наличие тех или иных свойств определяется внутренним строением сплавов. В свою очередь, строение сплава зависит от состава и характера предварительной обработки. Таким образом, можно установить следующие связи между характеристиками материала (рисунок 1.1):

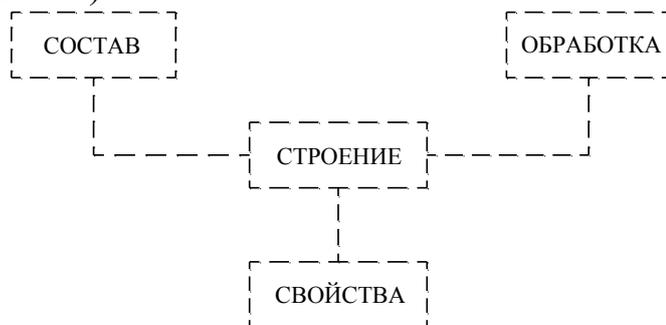


Рисунок 1.1 – Схема связей между характеристиками материала

В зависимости от температуры и давления (для металлов в основном от температуры, $P = \text{const}$) все вещества могут находиться в четырёх агрегатных состояниях: плазмообразном, газообразном, жидком и твердом.

Плазма – ионизированный газ, в котором объёмные плотности положительных и отрицательных электрических зарядов равны.

В газообразном состоянии атомы практически не связаны друг с другом и хаотически перемещаются в пространстве.

В жидком состоянии атомы слабо связаны друг с другом, существует ближний порядок, вещество занимает форму сосуда, части легко отделимы друг от друга.

В твердом состоянии атомы взаимодействуют друг с другом по определенному закону, в структуре имеется как ближний, так и дальний порядок, атомы образуют кристаллическую решетку того или иного вида.

Кристаллизация – процесс перехода из жидкого или газообразного состояния в твердое, в результате чего образуется кристаллическая решетка и возникают кристаллы.

Кристаллическая решетка - это воображаемая пространственная решетка, в узлах которой располагаются частицы, образующие твердое тело.

Элементарная ячейка – элемент объема из минимального числа атомов, многократным переносом которого в пространстве можно построить весь кристалл. Элементарная ячейка характеризует особенности строения кристалла.

Классификация возможных видов кристаллических решеток была проведена французским ученым О. Браве, соответственно они получили название «решетки Браве». Всего для кристаллических тел существует четырнадцать видов решеток, разбитых на четыре типа;

- примитивный – узлы решетки совпадают с вершинами элементарных ячеек;
- базоцентрированный – атомы занимают вершины ячеек и два места в противоположных гранях;
- объемно-центрированный – атомы занимают вершины ячеек и ее центр;
- гранецентрированный – атомы занимают вершины ячейки и центры всех шести граней

Основными типами кристаллических решеток металлов являются:

4. Объемно - центрированная кубическая (ОЦК) (см. рис.1.2а), атомы располагаются в вершинах куба и в его центре (V, W, Ti, Fe_{α})

5. Гранецентрированная кубическая (ГЦК) (см. рис.1.2б), атомы располагаются в вершинах куба и по центру каждой из 6 граней (Ag, Au, Fe_{γ})

6. Гексагональная, в основании которой лежит шестиугольник:

- простая – атомы располагаются в вершинах ячейки и по центру 2 оснований (углерод в виде графита);

○ плотноупакованная (ГПУ) – имеется 3 дополнительных атома в средней плоскости (цинк) (рис.1.2в).

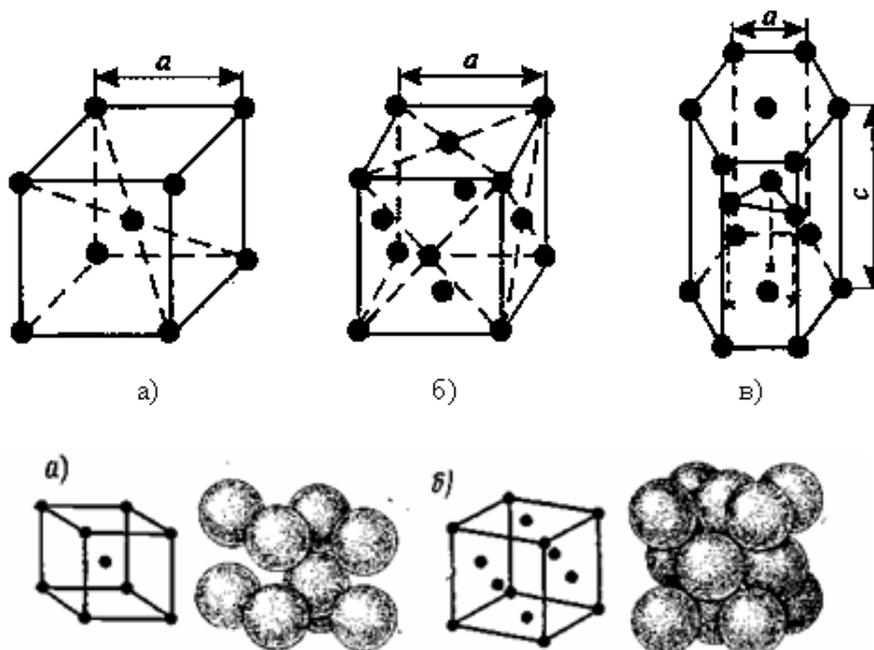


Рисунок 1.2 – Основные типы кристаллических решеток:
 а – объемно-центрированная кубическая; б – гранецентрированная кубическая; в – гексагональная плотноупакованная

Строение и свойства реальных кристаллов отличаются от идеальных вследствие наличия дефектов. Так, фактическая прочность металлов на 2–3 порядка ниже их теоретической прочности, которой обладает совершенно бездефектный металл.

Дефекты в кристаллах принято классифицировать по характеру их измерения в пространстве:

7. *Точечные дефекты* – вызывают незначительные искажения решетки, что может привести к изменению свойств тела (электропроводность, магнитные свойства), их наличие способствует процессам диффузии и протеканию фазовых превращений в твердом состоянии. При перемещении по материалу дефекты могут взаимодействовать.

К ним относятся:

Вакансия – отсутствие атомов в узлах кристаллической решетки, «дырки». Образуется при переходе атомов с поверхности в окружающую среду или из узлов решетки на поверхность. Концентрация вакансий в значительной степени определяется температурой тела. Перемещаясь по кристаллу, одиночные вакансии могут встречаться и объединяться в дивакансии.

Дислоцированный атом – это атом, вышедший из узла решетки и занявший место в междоузлии. Концентрация дислоцированных атомов значительно меньше, чем вакансий, так как для их образования требуются существенные затраты энергии.

Примесные атомы, присутствующие в металле, больше или меньше по размерам основных атомов и располагаются в узлах решетки или междоузлиях.

Скопление многих вакансий может привести к образованию пор и пустот.

2. *Линейные дефекты* в кристаллах характеризуются тем, что их поперечные размеры не превышают нескольких межатомных расстояний, а длина может достигать размера кристалла. К линейным дефектам относятся дислокации – линии, вдоль и вблизи которых нарушено правильное периодическое расположение атомных плоскостей кристалла.

Различают следующие виды дислокации: краевые дислокации, винтовые дислокации, смешанные.

3. *Поверхностные (двумерные)*. Под этими дефектами понимают нарушения, которые обладают большой протяженностью в двух измерениях и протяженностью лишь в несколько межатомных расстояний в третьем измерении. К поверхностным дефектам относятся дефекты упаковки, двойниковые границы, границы зерен.

4. *Объемные (трехмерные)*. Под ними понимают нарушения, которые в трех измерениях имеют неограниченные размеры. К таким нарушениям относят трещины, поры, усадочные раковины.

Свойства тела зависят от природы атомов, из которых оно состоит, и от силы взаимодействия между этими атомами. Силы взаимодействия между атомами в значительной степени определяются расстояниями между ними. В аморфных телах с хаотическим расположением атомов в пространстве расстояния между атомами в различных направлениях равны, следовательно, свойства будут одинаковыми, то есть аморфные тела *изотропны*.

В кристаллических телах атомы правильно располагаются в пространстве, причем по разным направлениям расстояния между атомами неодинаковы, что предопределяет существенные различия в силах взаимодействия между ними и, в конечном результате, разные свойства. Зависимость свойств от направления называется *анизотропией*.

Некоторые металлы в твердом состоянии могут перестраивать свою кристаллическую решетку при изменении температуры. Эта способность металлов носит название полиморфизма или аллотропии. Способность некоторых металлов существовать в различных кристаллических формах в зависимости от внешних условий (давление, температура) называется *аллотропией или полиморфизмом*.

Используя явление полиморфизма, можно упрочнять и разупрочнять сплавы при помощи термической обработки.

Свойства металлов сплавов

В зависимости от назначения все металлы и сплавы должны обладать определёнными свойствами, которые разделяются на четыре группы:

- Физические (плотность, температуру плавления, цвет, электропроводность, теплопроводность, удельная теплоемкость, расширяемость при нагревании, магнитные свойства);
- Химические (коррозионная стойкость, окисляемость и растворимость);
- Механические (прочность, твердость, упругость, пластичность, вязкость и хрупкость);
- Технологические (обрабатываемость резанием, свариваемость, ковкость, прокаливаемость, литейные свойства, такие как жидкотекучесть, усадка) и эксплуатационные (износостойкость, коррозионная стойкость, прирабатываемость).

Вопросы для самопроверки:

1. В чем особенность кристаллического строения?
2. Какими характеристиками описывают кристаллические решетки?
3. Что такое период решетки, какова его примерная величина?
4. Какие разновидности кубических решеток свойственны металлическим элементам?
5. Что такое полиморфизм?
6. Что такое дефекты решетки? Назовите их разновидности.
7. Перечислите основные виды точечных дефектов. Охарактеризуйте нарушения в решетке, создаваемые этими дефектами.
8. Что такое краевые дислокации? Как они возникают?
9. Каков механизм перемещения дислокаций?
10. Как влияет совершенство кристаллической решетки на подвижность дислокаций?
11. Что представляют собой поверхностные дефекты решетки?
12. Что является причиной пониженной прочности технических (неупрочненных) металлов?
13. Каковы принципы повышения прочности металлов?
14. Перечислите практические методы упрочнения металлов?
15. Как влияют традиционные методы повышения прочности на пластичность и ударную вязкость металлов?

Твердость металлов и методы ее определения

Испытание на твердость по Роквеллу

Испытание на твердость по Роквеллу производят вдавливанием в испытуемый образец (деталь) алмазного конуса¹ с углом 120° или стального закаленного шарика диаметром 1,588 мм. Шарик и конус вдавливают в испытуемый образец под действием двух последовательно прикладываемых нагрузок – предварительной P_0 и основной P_1 . Общая нагрузка P будет равна сумме предварительной P_0 и основной P_1 нагрузок (рисунке 1.3): $P=P_0+P_1$.

Предварительная нагрузка P_0 во всех случаях равна 100Н, основная P_1 и общая P нагрузки при вдавливании стального шарика (шкала В) составляют $P_1=900\text{Н}$, $P=100+900=1000\text{Н}$, а при вдавливании алмазного конуса (шкала С) $P_1=1400\text{Н}$, $P=100+1400=1500\text{Н}$; при вдавливании алмазного конуса (шкала А) $P_1=500\text{Н}$, $P=100+500=600\text{Н}$. (на приборе Роквелла).

Число твердости по Роквеллу – число отвлеченное и выражается в условных единицах.

За единицу твердости принята величина, соответствующая осевому перемещению наконечника на 0,002 мм. Число твердости по Роквеллу HR определяется по формулам: при измерении по шкале В $HR=130-e$, при измерении по шкалам С и А $HR=100-e$.

Величина e определяется по следующей формуле:

$$e = (h - h_0) / 0,002$$

где h – глубина внедрения наконечника в испытуемый материал под действием общей нагрузки P , измерения после снятия основной нагрузки P_1 с оставлением предварительной нагрузки P_0 ;

h_0 – глубина внедрения наконечника в испытуемый материал под действием предварительной нагрузки P_0 (смотри рисунок 1.3).

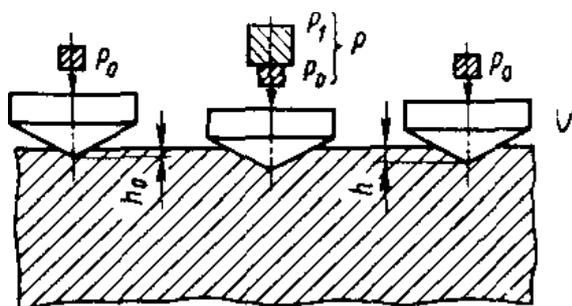


Рисунок 1.3 – Схема определения твердости

В зависимости от того, применяют ли шарик или алмазный конус, и от нагрузки, при которой проводят испытание (т.е. по какой шкале: В, С или А), число твердости обозначают HRB , HRC , HRA .

¹ Конус может быть не только алмазным, но и из твердого сплава

Определение твердости на приборе типа Роквелла имеет широкое применение, так как этот прибор дает возможность испытывать мягче, твердые, а также тонкие материалы. Отпечатки от конуса или шарика очень малы, и поэтому можно испытывать готовые детали без их порчи; испытание легко выполнимо и занимает мало времени (несколько секунд); не требуется никаких измерений, и число твердости читается прямо на шкале. Значения твердости по Роквеллу могут быть переведены в значения твердости по Бринеллю.

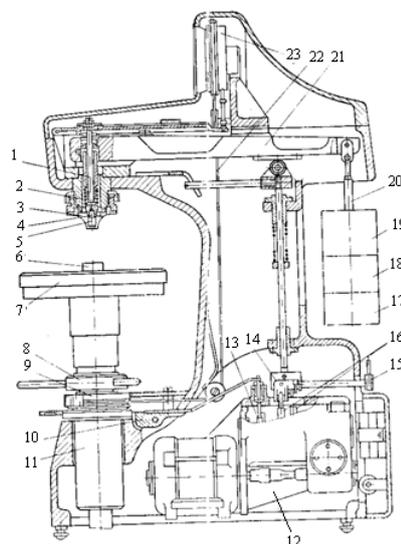
Прибор типа Роквелла ТК-2

Общий вид и схема прибора ТК-2 показаны на рисунке 1.4.

Шпиндель 1 прибора (смотри рисунок 1.4, б) служит для закрепления на его конце с помощью винта 4 оправки 5 с шариком или алмазным (или из твердого сплава) конусом.



а) – общий вид



б) – схема

Рисунок 1.4 – Прибор ТК-2 (типа Роквелла)

Постоянный груз 17 создает нагрузку 500Н; если на постоянный груз 17 установлен груз 18 (400 Н), то создается нагрузка 900Н, а если установлен груз 18 и груз 19 (500 Н), то нагрузка 1400Н.

Стол 7 служит для установки на нем испытываемого образца 6. При вращении по часовой стрелке маховика 8 приводится во вращение винт 11, который, перемещается вверх, поднимает стол 7, и образец 6 подводится к оправке 5 с шариком или алмазным конусом. При дальнейшем вращении маховика 8 сжимается пружина 2, шарик или алмазный конус начинает

внедряться в испытываемый образец 6, а стрелки поворачиваются по шкале индикатора 23. Циферблат индикатора имеет две шкалы – черную (С) и красную (В). Независимо оттого, что вдавливается в испытываемый образец – алмазный конус или шарик, с большой стрелкой индикатора всегда совмещается нуль черной шкалы со знаком «С». Большую стрелку с нулевым штрихом красной шкалы со значком «В» не совмещают ни в каком случае.

Приведение в действие основной нагрузки осуществляется с помощью привода 12 от электродвигателя, работающего непрерывно и отключаемого с помощью тумблера 13 только при длительных перерывах в работе прибора.

Нажатием клавиши 10 приводят в действие кулачковый блок 16 механизма привода 12, передача от которого к грузовому рычагу 21 осуществляется с помощью штока 14. При этом подвеска 20 с грузами 17-19 опускается, и этим обеспечивается действие основной нагрузки и создается общая нагрузка (предварительная + основная).

По окончании цикла испытания кулачковый блок автоматически отключается и фиксируется в исходном положении. Нормальная продолжительность цикла испытания 4 с (при положении рукоятки 15 (смотри рисунок 1.2 б) указателя против буквы Н). Ускоренный цикл испытания 2 с (при положении рукоятки указателя против буквы У).

При вращении маховика 8 против часовой стрелки стол 7 опускается, и образец 6 освобождается от действия предварительной нагрузки.

Выбор нагрузки и наконечника

Нагрузку и наконечник выбирают в зависимости от твердости испытываемого металла (таблица 1).

Таблица 1 – Выбор нагрузки и наконечника для испытаний

Обозначение шкалы	Вид наконечника	Нагрузка, Н	Обозначение твердости по Роквеллу	Пределы измерения в единицах твердости по Роквеллу.
В	Стальной шарик	1000	HRB	25-100
С	Алмазный конус	1500	HRC	20-67
А	То же	600	HRA	70-85

Примечание. Для испытания неответственных деталей твердостью HRC 20-50 допускается применение наконечника из твердого сплава.

Вопросы для самопроверки

1. Какими свойствами характеризуются металлы?
2. Какие существуют виды деформации металлов?
3. Перечислить технологические и эксплуатационные свойства металлов и сплавов.
4. В каких единицах измеряется твердость по Роквеллу?
5. Как обозначается твердость по Роквеллу?

Испытание на твердость по Бринеллю

Испытание на твердость по Бринеллю производится вдавливанием в испытуемый образец стального шарика определенного диаметра под действием заданной нагрузки в течение определенного времени.

Для испытания применяют специальный пресс типа Бринелля, внешний вид которого показан на рисунке 1.5.

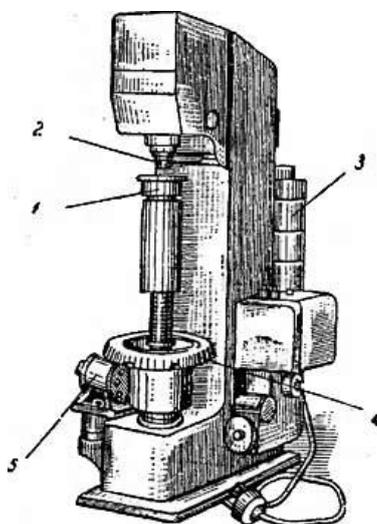


Рисунок 1.5 – Пресс типа Бринелля

Стальной шарик крепится в оправке 2. Исследуемый образец ставится на предметный столик 1 и поднимается к шарикау штурвалом 4. При включении мотора 5 грузы пресса 3 опускаются и вдавливают стальной шарик в образец.

Схема испытания на твердость по Бринеллю дана на рисунке 1.6.

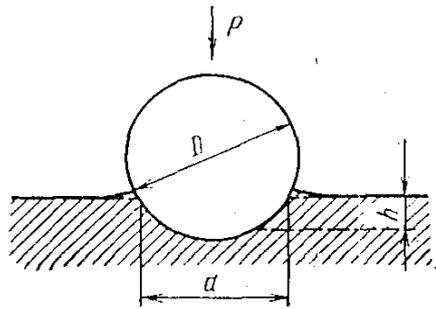


Рисунок 1.6 – Схема испытания на твердость по способу Бринеля

В результате вдавливания шарика на поверхности образца получается отпечаток (лунка). Отношение нагрузки P , Н², к поверхности полученного отпечатка (шарового сегмента) F , мм², дает число твердости, обозначаемое HB:

$$HB = \frac{P}{F},$$

Поверхность F шарового сегмента

$$F = \pi Dh,$$

где D – диаметр вдавливаемого шарика, мм;

h – глубина отпечатка, мм.

Так как глубину отпечатка h измерить трудно, а гораздо проще измерить диаметр отпечатка d , то целесообразно величину h , мм, выразить через диаметры шарика D и отпечатка d :

$$h = \frac{D - \sqrt{D^2 - d^2}}{2},$$

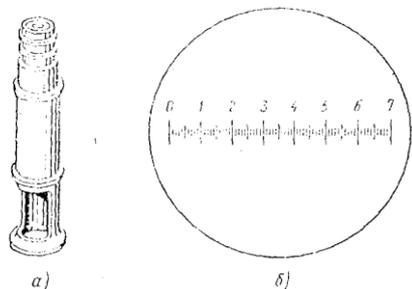
Методика измерения отпечатка и определение твердости

Полученный отпечаток измеряют с помощью лупы или микроскопа в двух взаимно перпендикулярных направлениях, диаметр отпечатка определяется как среднее арифметическое из двух измерений.

Лупа (рисунок 1.7, а) имеет шкалу (рисунок 1.7, б), малое деление которой равно 0,1 мм. Лупу нижней опорной частью надо плотно установить на испытываемую поверхность образца над отпечатком (рисунок 1.8); если лупа не имеет специальной лампочки для освещения поверхности, вырез

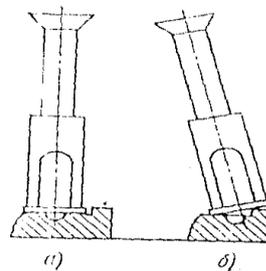
² 1 Н ≈ 0,1 кгс

(окно) в нижней части лупы обратить к свету. Поворачивая окуляр, необходимо добиться, чтобы края отпечатка были резко очерчены.



а) внешний вид; б) шкала лупы

Рисунок 1.7 – Лупа для измерения отпечатков



а) правильное положение;

б) неправильное положение.

Рисунок 1.8 – Положение лупы при измерении отпечатка

Затем, передвигая лупу, надо один край отпечатка совместить с началом шкалы (рисунок 1.9). Прочитать деление шкалы, с которым совпадает противоположный край отпечатка. Данный отсчет и будет соответствовать размеру диаметра отпечатка (на рисунок 1.9 диаметр отпечатка $d=4,30\text{мм}$). Затем лупу или образец надо повернуть на 90° и измерить диаметр отпечатка второй раз.

Чтобы не прибегать к длительным вычислениям твердости по приведенной выше формуле, на практике пользуются специальной таблицей, которая дает перевод диаметра отпечатка в число твердости НВ.

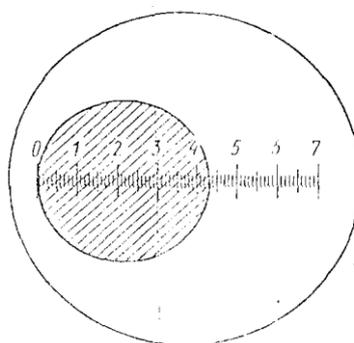


Рисунок 1.9 – Отсчет по шкале лупы

Для получения правильной характеристики твердости данного материала необходимо провести еще два повторных испытания на твердость того же образца, определить средний результат и записать в протокол испытания полученное число твердости НВ.

Вопросы для самопроверки

1. Какими свойствами характеризуются металлы?
2. Какие существуют виды деформации металлов?
3. Перечислить технологические и эксплуатационные свойства металлов и сплавов.
4. В каких единицах измеряется твердость по Бринеллю?
5. Как обозначается твердость по Бринеллю?

ЗАДАНИЕ НА СЛЕДУЮЩУЮ СЕССИЮ

К следующей сессии необходимо выполнить контрольную работу по методическому указанию. Номера заданий выбираются по 2-м последним цифрам номера зачетной книжки. Оформление выполнить согласно указаниям.