

ЛІТЕРАТУРА

1. Бялік О.Н., Черненко В.С., Писаренко В.М., Москаленко Ю.Н. Металознавство. Підручник, 2-ге вид. – К.: Політехніка, 2006. – 308 с.
2. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів <http://files.khadi.kharkov.ua/mekhanichnij-fakultet/tekhnologiji-materialiv-ta-materialoznavstva/item/13747-materialoznavstvo-i-tekhnohiiia-konstruktsiinykh-materialiv.html>
3. Анатолій Власенко. Матеріалознавство та технологія матеріалів <http://files.khadi.kharkov.ua/mekhanichnij-fakultet/tekhnologiji-materialiv-ta-materialoznavstva/item/13747-materialoznavstvo-i-tekhnohiiia-konstruktsiinykh-materialiv.html>
4. Методичні вказівки до лабораторних робіт https://physics.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/Stablavyi-Lab_Materialoznavstvo.pdf
5. Гарнець В.М. Матеріалознавство. Підручник . – К.: Кондор, 2008. – 386 с.
6. Гарнець В.М., Коваленко В.М. Конструкційне матеріалознавство https://biblioteka-cpto.ucoz.com/load/profesijna_pidgotovka/materialoznavstvo/garnec_v_m_konstrukcijne_materialoznavstvo/31-1-0-161
7. Попович Василь, Попович Віталій Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Словник-довідник. – К. Світ, 2009. – 386 с.
8. Матеріалознавство. Лабораторний практикум <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/bccd2fda-7adb-4fb2-8774-b1ccba6b0498/content>

**Ужгородський державний університет
Інженерно-технічний факультет
Кафедра приладобудування**

ТУРЯНИЦЯ ІВАН ІВАНОВИЧ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторних робіт з курсу
«МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО»

Туряниця Іван Іванович. Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу «Конструкційні матеріали».

В методичній розробці викладені лабораторні роботи з курсу «Конструкційні матеріали». Розглянуто методи дослідження мікроструктури і властивостей металів та сплавів з використанням рівноважних діаграм стану. Показані основні операції термічної обробки сталі і кольорових металів та її вплив на механічні властивості. На прикладі пересичених розчинів солей досліджені процеси кристалізації.

Методична розробка рекомендована для студентів інженерно-технічних спеціальностей.

Затверджено Вченою радою інженерно-технічного факультету, протокол № 2 від 24.09.2024

1. Обидва торці зразків зачистити на шліфувальному папері.
2. Визначити твердість зразків *НВ* після старіння і одержаний результат записати в таблицю.
3. Побудувати криві залежності твердості зразків від тривалості старіння для всіх досліджуваних температур
4. Вказати місцезнаходження досліджуваних зразків на діаграмі і охарактеризувати його мікроструктуру (намалювати схему).
5. Зробити висновки.

Таблиця термічної обробки дуралюмінію

№ п/п	Марка сплаву	Діаметр або товщина зразка	Твердість в вихідному стані, <i>НВ</i>	Температура гартування, °С	Час нагріву, с	Твердість після гартування, <i>НВ</i>	Температура старіння, °С	Тривалість старіння, с	Твердість після старіння, <i>НВ</i>

Порядок проведення роботи.

а) підготовка зразків до термічної обробки

Зразки повинні бути циліндричної або прямокутної форми діаметром або довжиною 10÷15 мм, висотою 15÷20 мм з дуралюмінію марки Д1, Д6, Д16. На боковій поверхні кожного зразка повинно бути тавро марки сплаву. Марку сплаву записують в таблицю. Розміри зразків вимірюють з допомогою штангенциркуля і теж записують в таблицю.

б) визначення твердості дуралюмінію в вихідному (відпаленому) стані

Визначити твердість зразків в вихідному (відпаленому) стані по *НВ* і значення твердості записати в таблицю.

в) гартування зразків і визначення твердості дуралюмінію після гартування

1. Температуру гартування дуралюмінію (в °С): Д1 – 505_{-10}^{+5} , Д6 – 500 ± 3 , Д16 ± 5 записують в таблицю.
2. Визначити час нагріву зразків, виходячи з розрахунку 2 хв. на 1 мм діаметра або товщини зразка. Дані записати в таблицю.
3. Зразки помістити в піч, нагріти до температури гартування сплаву і витримати в печі необхідний час.
4. Зразки один за одним витягнути з печі і охолодити в воді при енергійному перемішуванні (русі).
5. Обидва торці зачистити на шліфувальній шкурці.
6. Визначити твердість загартованих зразків по *НВ* і одержаний результат записати в таблицю.

г) старіння зразків і визначення твердості дуралюмінію після старіння.

6. Провести штучне старіння загартованих зразків при температурах 100, 150, 175 і 250 °С з витримкою при кожній температурі 10, 20 і 30 хв. Температуру і тривалість старіння записати в таблицю.

Автор:

кандидат фіз.-мат наук,
доцент Туряниця Іван Іванович

Рецензенти:

доктор технічних наук,
професор Жигуц Юрій Юрійович

доктор фіз.-мат. нау,
професор Іваницький Валентин Петрович

Відповідальний за випуск:

кандидат фіз.-мат наук,
доцент Туряниця Іван Іванович

Зміст

	стор.
Вступ.....	5
Лабораторна робота №1. Дослідження твердості матеріалів.....	6
Лабораторна робота №2 Вивчення процесу кристалізації.....	23
Лабораторна робота №3 Визначення температури кристалізації металів та сплавів термічним методом і побудова діаграми стану.....	31
Лабораторна робота №4 Мікроаналіз залізо-вуглецевих сплавів (сталей, чавунів) у рівноважному стані.....	42
Лабораторна робота №5 Термічна обробка вуглецевої сталі.....	53
Лабораторна робота №6 Вплив термічної обробки на властивості дуралюмінію.....	69
Література.....	76

Зони Г.П. представляють собою тонкі пластинчасті, дископодібні утворення товщиною в декілька атомних шарів ($5 \div 10 \text{ \AA}$) і протяжністю в десятки атомних шарів ($40 \div 100 \text{ \AA}$). На цій стадії старіння атоми міді не виділяються з розчину, тому середнє значення параметра решітки розчину не змінюється. Однак, в місцях підвищеної концентрації міді параметр інший, і це створює великі напруження в кристали. Це і приводить до різкого зменшення пластичності сплаву. Хоча в зонах Г.П. вміст міді і підвищений, але він ще не відповідає формулі CuAl_2 .

В дальнішому ці зони збільшуються і вміст міді в них підвищується до стехіометричного співвідношення. При нагріванні до $100 \text{ }^\circ\text{C}$ або збільшенні витримки при більш низьких температурах, зони Г.П. перетворюються в фазу, що позначається θ' . Це вже виділена, нова фаза, яка має кристалічну решітку, відмінну від решітки твердого розчину $\text{Al}(\text{Cu})$ і від решітки стабільної фази CuAl_2 (θ'). Вона когерентно зв'язана з маточним твердим розчином. При подальшому підвищенні температури відбувається перехід фази $\theta' \rightarrow \theta$ і її коагуляція. θ -фаза є стабільною і некогерентною з твердим розчином.

Максимальне зміцнення сплавів дуралюмінію досягається при природному старінні. При штучному старінні найбільшу міцність можна одержати при нагріванні до $100 \text{ }^\circ\text{C}$. При збільшенні температури ($>100 \text{ }^\circ\text{C}$) спостерігається зменшення міцності.

При старінні виділення CuAl_2 із твердого розчину розміщаються в основному на границях блоків і зерен, на площинах ковзання і навіть на окремих дислокаціях всередині блоків і зерен, що приводить до зменшення пластичності сплаву (підвищення міцності).

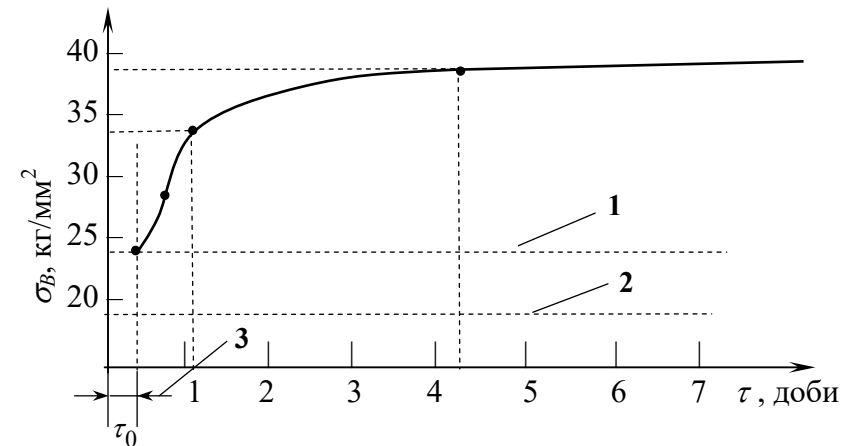


Рис.3. Зміна границі міцності Al–Cu сплаву при природному старінні:
1 – загартований стан;
2 – відпалений стан;
3 – τ_0 інкубаційний період.

Через 2–3 години після гартування здатність сплаву до пластичних деформацій різко погіршується і починає зростати міцність, яка стає максимальною через $5 \div 7$ діб після гартування.

Зміна механічних властивостей загартованого сплаву в процесі витримки при кімнатній температурі називається природним старінням.

Швидкість старіння сильно залежить від температури витримки. Підвищення температури явно прискорює цей процес.

Старіння, що відбувається при спеціальному підігріванні сплаву називається штучним.

Процес старіння заключається в тому, що в перенасиченому твердому розчині (свіжозагартованому сплаві) атоми міді збираються в окремих місцях кристалічної решітки. В результаті цього всередині кристалу утворюються зони підвищеної концентрації розчиненого компонента. Ці зони називаються зонами Гін'є–Престона (Г.П.).

ВСТУП

Методична розробка рекомендується для студентів інженерно-технічних спеціальностей.

В залежності від можливості лабораторії і числа студентів роботи можна виконувати паралельно і послідовно. Але, враховуючи специфіку більшості лабораторних робіт, коли для виконання однієї роботи потрібно чотири-п'ять муфельних печей з стабілізованими різними температурами, необхідними для термічної обробки сплавів з послідовним дослідженням їх механічних властивостей, доцільно проводити паралельне виконання робіт (вся підгрупа виконує одну роботу). При цьому рекомендується розділити підгрупу на бригади, чітко встановивши для кожної з підгруп завдання по виконанню певної технологічної операції.

З метою економії часу учбово-допоміжний персонал лабораторії повинен заздалегідь розігріти печі до необхідної температури (розігрів печей до необхідного режиму складає 3–5 годин), підготувати зразки сплавів, травників і т.д.

Перед виконанням роботи необхідно з'ясувати суть структурних перетворень, які відбуваються в сплавах і вплив на їх властивості.

При виконанні лабораторних робіт потрібно чітко дотримуватись правил техніки безпеки.

Лабораторна робота №1

ДОСЛІДЖЕННЯ ТВЕРДОСТІ МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи: вивчення роботи твердомірів. Визначення величини твердості м'яких, середньої твердості і твердих матеріалів за допомогою твердомірів різних систем. Набуття навичок дослідження.

Прилади, матеріали та інструмент: твердоміри типу ТШ, ТК, ТП; сталева загартована кулька вибраного діаметру; алмазний конус з кутом при вершині 120° ; лупа для вимірювання діаметру відбитку; напилки; взірці з вуглецевих конструкційної та інструментальної сталей, сплавів різної товщини; шліфувальна шкірка; матеріали, необхідні для виготовлення мікрошліфу; зразки азотованої та загартованої сталі.

Методичні вказівки до лабораторних досліджень.

Твердість – це властивість матеріалу чинити опір проникненню в нього іншого більш твердого тіла визначеної форми та розмірів, яке не отримує залишкову деформацію.

Визначення твердості є найбільш поширеним методом дослідження металів, який дозволяє без руйнування виробу і виготовлення спеціальних зразків визначати якість виробу.

Прилади для дослідження твердості прості, високопродуктивні, не потребують високої кваліфікації обслуговуючого персоналу і можуть використовуватись безпосередньо на робочому місці.

При дослідженні на твердість визначається опір металів деформації при вдавлюванні наконечника. Ця характеристика пов'язана з границею міцності. Тому у деяких випадках проводять випробування тільки на твердість і за нею судять про границю міцності матеріалу.

На практиці контроль твердості здійснюється після термічної обробки для встановлення оптимального режиму механічної обробки виробів.

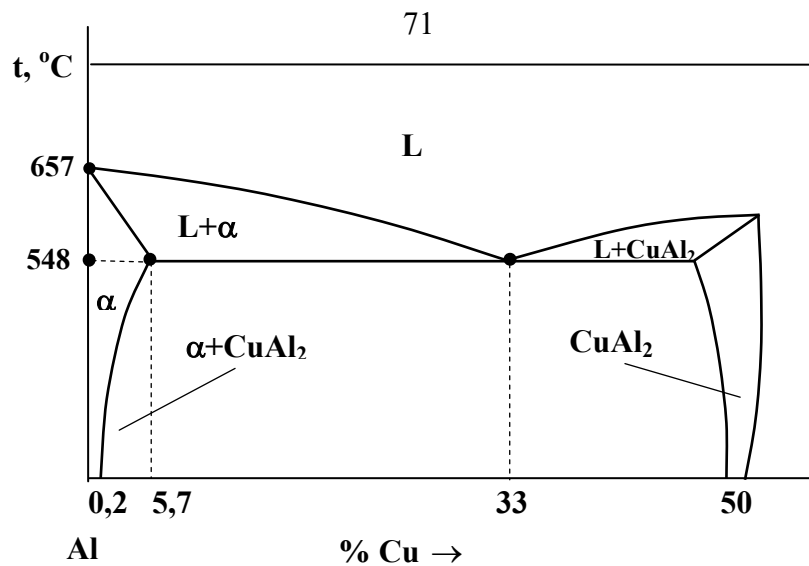


Рис.2. Діаграма стану Al–Cu

В межах цих концентрацій (0,2÷5,7 Cu) структура сплавів в рівноважному стані буде представляти собою твердий розчин Al(Cu) і вторинну фазу CuAl₂. Однак, будь-який із цих сплавів можна перевести в однофазний стан шляхом нагрівання, під час якого надлишкова фаза (CuAl₂) буде розчинятися. Цей однофазний стан можна зафіксувати (заморозити) швидким охолодженням. На цьому і базується гартування алюмінієво-мідних сплавів.

Якщо загартований сплав витримати на протязі декількох діб або незначно нагрівати, то виявляється, що його властивості істотно змінюються.

На рис.3 показана зміна границі міцності σ_B в процесі витримки при кімнатній температурі.

Початковий період характеризується відсутністю підвищення міцності і його називають інкубаційним. Інкубаційний період має важливе практичне значення, так як в цей час сплав має порівняно велику пластичність, тому загартовані деталі можна рихтувати, гнути, кувати і ін.

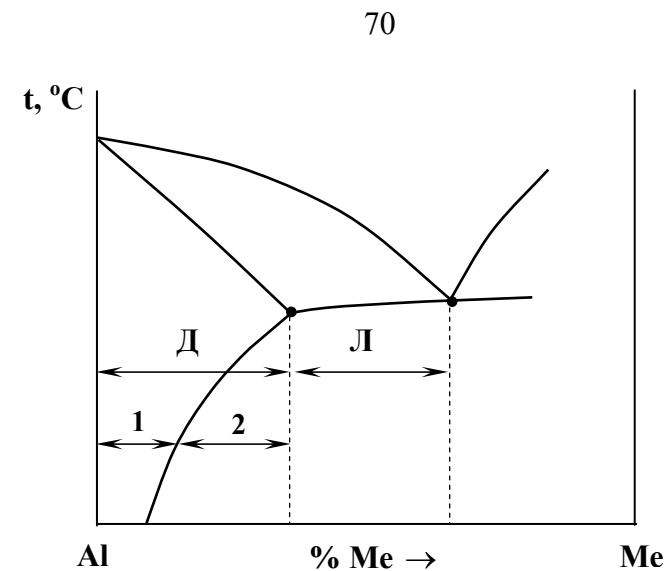


Рис.1. Частина діаграми стану системи Al–Me (Me – метал):

Д – область деформівних сплавів;

Л – область ливарних сплавів;

1 – деформівні сплави, що не зміцнюються термічною обробкою;

2 – деформівні сплави, що зміцнюються термічною обробкою.

Для підвищення механічних властивостей дуралюміній термічно обробляють. Термічна обробка дуралюмінію зводиться до гартування і природного або штучного старіння.

Розглянемо коротко суть цих видів термічної обробки на прикладі сплавів Al–Cu, тому що в дуралюмінах мідь є основним другим компонентом і внесення інших легуючих елементів не приводить до принципових, суттєвих змін у властивостях сплавів Al–Cu.

Як видно з діаграми стану Al–Cu (рис.2), мідь при кімнатній температурі розчиняється в алюмінії. Біля 0,2%, а максимальна розчинність при евтектичній температурі – 5,7%.

Найбільш розповсюдженими є такі способи вимірювання твердості:

1. вдавлювання сталеві кульки (метод Брінеля);
2. вдавлювання алмазного конусу (метод Роквелла);

1. Вимірювання твердості вдавлюванням сталеві кульки (метод Брінеля)

Твердість за методом Брінеля визначають шляхом вдавлювання сталеві загартованої кульки діаметром 10, 5 або 2,5 мм у плоску поверхню зразка під дією навантаження протягом визначеного часу.

Діаметр кульки, навантаження і час витримки під навантаженням вибирають в залежності від матеріалу і товщини досліджуваного зразка за таблицею 1.

Число твердості по Брінелю визначається як відношення сили тиску P до сферичної поверхні відбитку S і позначається буквами HB (рис.1, а):

$$HB = \frac{P}{S} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \text{ кГ/мм}^2 \quad (1)$$

де D – діаметр кульки у мм,

d – діаметр відбитку у мм,

P – навантаження на кульку.

Значення твердості по Брінелю записують як безрозмірну величину, наприклад $HB 350$.

Чим твердіший метал, тим менший діаметр відбитку і тим вище число твердості по Брінелю.

Діаметр відбитку вимірюється за допомогою спеціальної лупи, яка має шкалу з ціною поділки 0,1 мм (рис.1, б).

Найбільш поширеними стандартними умовами при визначенні твердості є: навантаження 3000 кГ, діаметр кульки 10 мм, тривалість витримки 10 сек.

Таблиця 1

Вибір діаметра кульки та навантаження в залежності від твердості і товщини досліджуваного зразка (ГОСТ 9012-59)

Матеріал	Інтервал твердості у числах Брінеля	Мінімальна товщина досліджуваного зразка у мм	Співвідношення між навантаженням P і діаметром кульки D	D , мм	P , кГ	Тривалість витримки під навантаженням у сек
Чорні метали	>140	6-3	$P = 30D^2$	10	3000	10
		4-2		5	750	
		~2		2,5	187,5	
Те ж	<140	>6	$P = 10D^2$	10	1000	10
		6-3		5	250	
		~3		2,5	62,5	
Кольорові метали	>130	6-3	$P = 30D^2$	10	3000	30
		4-2		5	750	
		~2		2,5	187,5	
Те ж	35-130	9-3	$P = 10D^2$	10	1000	30
		6-3		5	200	
		~3		2,5	62,5	
Кольорові метали	8-35	>6	$P = 2,5D^2$	10	250	60
		4-3		5	62,5	
		~3		2,5	15,6	

ВПЛИВ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА ВЛАСТИВОСТІ ДУРАЛЮМІНІЮ

Мета роботи: ознайомитися з режимами термічної обробки і одержати практичні навички для проведення гартування і штучного старіння дуралюмінію.

Прилади, матеріали та інструмент: муфельна піч з регулятором температури, посудина з водою, твердомір Брінелля, лупа для вимірювання відбитку, зразки дуралюмінію, кліщі, шліфувальна шкурка.

Методичні вказівки до лабораторних досліджень.

1. Сплави на основі алюмінію (короткі теоретичні відомості)

Практично в усіх важливих подвійних сплавах алюмінію з металом, за винятком Al-Si, утворюються інтерметалічні сполуки і тверді розчини мають обмежену розчинність другого компоненту в алюмінії, яка зменшується при пониженні температури. Це дозволяє зміцнювати ці сплави шляхом термічної обробки.

Технічні сплави алюмінію поділяють на деформівні і ливарні (рис.1).

Деформівні сплави в свою чергу поділяють на такі, що не зміцнюються термічною обробкою (обл.1, рис.1) і, які зміцнюються при термічній обробці (обл.2, рис.1).

Серед деформівних алюмінієвих сплавів одержали широке практичне застосування сплави типу дуралюмінію. Основними складовими дуралюмінію є алюміній і мідь (Cu ~ 4%). Для підвищення міцності і корозійної стійкості до дуралюмінію добавляють Mg (0,4÷1,8%), Mn (0,3÷0,9%). Крім того, в дуралюмінії постійно містяться домішки Si, Fe (0,5÷0,7% кожного).

Одержують дуралюміній декількох марок. Найбільш поширеними є марки Д1 і Д16. Якщо Д1 називають нормальним дуралюмінієм, то Д16 часто іменують супердуралюмінієм, завдяки добавкам, які покращують його механічні властивості.

Режим термічної обробки і твердість інструментальної вуглецевої сталі

Марка сталі	Гартування			Відпуск		Відпал	
	Температура в °С	Охолоджуюче середовище	Твердість HRC	Температура в °С	Твердість HRC	Температура в °С	Твердість HB
У7, У7А	800–820	Вода - масло	61–63	160–200 200–300 300–400 400–500	63–60 60–54 54–43 43–35	750–760	187
У8, У8А, У8Г, У8ГА	780–800	Вода - масло	62–64	160–200 200–300 300–400 500–600	64–60 65–60 55–45 35–27	750–760	187
У9, У9А	760–780	Вода - масло	62–65	160–200 200–300 300–400 400–500 500–600	64–62 62–56 56–46 46–37 37–28	750–760	192
У10	760–780	Вода - масло	62–65	160–200	64–62	760–780	197
У12, У12А	760–780	Масло	62–65	160–200 200–300	65–62 62–57	760–780	207

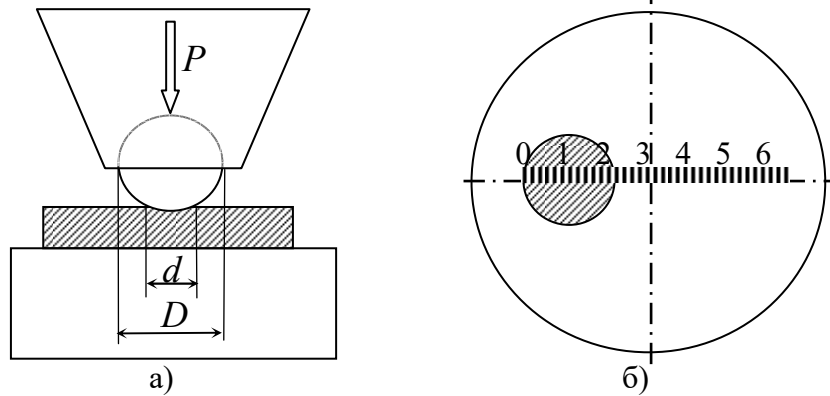


Рис.1. Схема вимірювання по Брінелю (а)
та відлік по шкалі (б)

Для визначення твердості по Брінелю користуються твердоміром типу ТШ (рис.2).

Прилад має станину 1, у нижній частині якої знаходиться гвинт 2 із змінними столиками 4 для досліджуваних зразків. Переміщення гвинта здійснюється вручну маховиком 3. У верхній частині станини знаходиться шпindel 6 із змінними наконечниками, у які вставляються кульки 5. Основне навантаження прикладається до зразка за допомогою важільної системи. На довгому плечі основного важеля 7 є підвіс 8 з тягарцями 9. Комбінацією тягарців можна здійснити навантаження 187,5; 250; 750; 1000 та 3000 кГ. Навантаження прикладається при натисканні пускової кнопки автоматично, за допомогою електродвигуна 11, який знаходиться всередині станини. Тривалість випробування задають перемикачем 10 до початку вимірювань, встановлюючи його у положення, що відповідає необхідній витримці (10, 30 або 60 сек).

До недоліків методу Брінеля відносять:

- 1) неможливість дослідження металів, які мають твердість більше $HB\ 450$, тому що кулька буде деформуватись і покази будуть неточними;
- 2) неможливість дослідження твердості тонкого поверхневого шару (менше 1–2 мм), тому що кулька буде продавлювати тонкий шар металу;

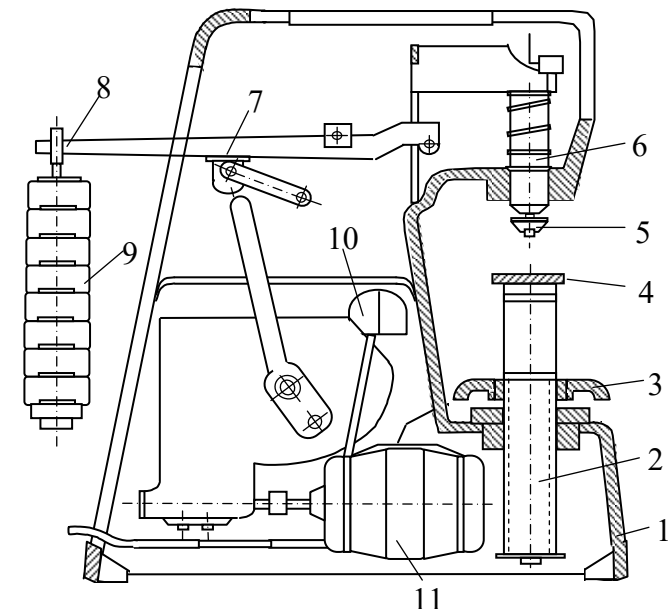


Рис.2. Прилад типу ТШ з механічним приводом:
а) загальний вигляд; б)кінематична схема

**Режим термічної обробки та механічні властивості
якісної конструкційної вуглецевої сталі**

Марки сталі	Температура нагріву для гартування і нормалізації в °С	Охолоджуюче середовище	Температура відпуску в °С	Твердість після гартування і відпуску HRC
35	840–880	Вода	300–400	50–41
			400–500	41–31
			500–600	31–23
40	820–860	Вода	200–300	52–48
			300–400	48–41
			400–500	41–33
			500–600	33–22
45	810–840	Вода	200–300	54–50
			300–400	50–41
			400–500	41–33
			500–600	33–24
			600–700	24–15
50	800	Вода	180–200	55–50
			380–400	48–40
			500–550	33–24
			560–620	24–20
60	785–820	Вода–масло	400	40–35
			550–620	24–18
70	770–815	Вода–масло	400	46–39
			610–670	27–22

**Склади солей,
які використовуються при гартуванні і відпуску**

Складові	Вага в %	Температура плавлення в °С	Рекомендована температура термічної обробки в °С
KNO ₃ +NaNO ₂	50÷44	153	175–500
KNO ₃ +NaNO ₃	50÷50	220	245–500
NaNO ₃	100	317	325–600
NaCl+Na ₂ CO ₃	50÷50	560	590–900
NaCl+Ba ₂ CO ₃	22,5÷77,5	635	665–870
NaCl	100	801	830–1100
BaCl ₂	100	962	1100–1350

Властивості вуглецевої сталі після нормалізації

Марки сталі	Механічні властивості				
	σ_B , в кг/мм ²	$\sigma_{0,2}$, в кг/мм ²	δ , в %	ψ , в %	Твердість НВ
10	28–42	–	27	–	76–118
20	35	–	24	–	–
25	43	24	18	50	121–170
35	52	28	15	45	143–187
45	60	32	13	40	170–229
50	63	34	13	40	174–255

3) після дослідження на поверхні залишаються помітні сліди на поверхні виробу.

2. Вимірювання твердості вдавленням алмазного конусу (метод Роквелла)

Методом Роквелла твердість визначають за глибиною проникнення в досліджувану поверхню сталевий кульки діаметром 1,588 мм при навантаженні 100 кГ або алмазного конусу з кутом при вершині $\alpha=120^\circ$ при навантаженні 60 та 50 кГ.

При дослідженні, спочатку прикладають попереднє навантаження P_0 , яке дорівнює 10 кГ, а потім нормальне P , яке дорівнює 60, 100 або 150 кГ. Різниця глибин проникнення кульки або алмазу під навантаженням P_0 та $P = h - h_0$ характеризує твердість (див.рис.3).

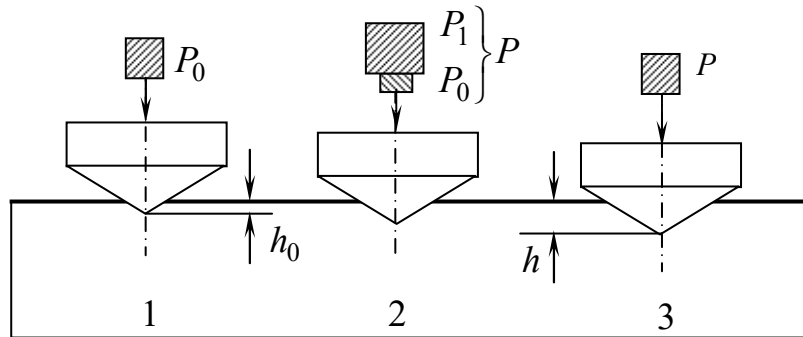


Рис.3. Схема визначення твердості по Роквеллу:

- 1—заглиблення конуса під попереднім навантаженням P_0 ;
- 2—заглиблення конуса при загальному навантаженні $P = P_0 + P_1$;
- 3—глибина вдавлення конуса під дією навантаження P_0 .

Чим менша ця різниця, тим твердіший досліджуваний матеріал. І навпаки, чим більша різниця, тим м'якший матеріал.

Число твердості по Роквеллу можна визначити за формулою:

$$HR = \frac{k - (h - h_0)}{c} \quad (2)$$

де h_0 – глибина проникнення наконечника під дією сили P_0 ;

h – глибина проникнення наконечника під дією загального навантаження;

k – постійна величина, для конуса $k=0,2$;

c – ціна поділки циферблата індикатора.

Для визначення твердості застосовують твердомір типу ТК (рис.4). У нижній частині станини 9 встановлений гвинт 7, який обертається маховиком 8 і закінчується столиком 6 для розміщення досліджуваних зразків 5. У верхній частині станини закріплені індикатор 3, масляний редуктор 11 і шпиндель, в якому встановлений наконечник 4 з сталевий кулькою або алмазним конусом. Індикатор представляє собою циферблат, на якому нанесені дві шкали – чорна і червона, і є дві стрілки – велика і мала (рис.5). При випробуванні кулькою відлік проводять по червоній шкалі В, при випробуванні алмазним конусом – по чорній шкалі С. Циферблат розділений на 100 поділок, кожна з яких відповідає глибині вдавлення 0,002 мм.

Нульова поділка червоної шкали співпадає з початковим положенням стрілки. Червона шкала зміщена відносно нульової поділки чорної шкали на 30 поділок у напрямку, протилежному руху стрілки індикатора при вдавленні наконечника. Тому початок відліку по червоній шкалі співпадає з поділкою 30 на циферблаті індикатора. Це зміщення зроблене тому, що глибина вдавлення кульки часто перевищує 0,2 мм, і тоді стрілка при вдавленні відхилялась би більше ніж на 100 поділок, тобто значення твердості виходили б від'ємними.

Велика стрілка служить для відліку твердості, а мала – для контролю величини попереднього навантаження, яке надається маховиком 8 (рис.4). Прикладання основного навантаження 10 на шпиндель та наконечник здійснюється поворотом ручки 1 від

1. характеристику сталі після нормалізації (твердість, мікроструктура);
2. опис перетворень в структурі сталі, які викликали зміну твердості;
3. висновки;
4. протокол запису виконаної роботи.

Протокол запису виконаної роботи

№ зразка	Назва матеріалу	Твердість до гартування	Гартування			Твердість після гартування	Відпуск			Твердість після відпуску
			Температура в °С	Час нагрівання і витримки в хв.	Охолоджуюче середовище		Температура в °С	Час нагрівання і витримки в хв.	Охолоджуюче середовище	

№ зразка	Назва матеріалу	Твердість до нормалізації НВ	Нормалізація			Твердість після нормалізації НВ	Мікроструктур а
			Температура в °С	Час нагрівання і витримки в хв.	Охолоджуюче середовище		

1. За отриманими даними побудувати діаграму в координатах твердість – температура відпуску.
2. Порівняти механічні властивості доевтектоїдної та заевтектоїдної сталей після гартування і відпуску до різних температур. Встановити залежність механічних властивостей від умов охолодження при гартуванні і від температури відпуску. Зробити висновки.

2. Нормалізація

1. Визначити твердість зразків у вихідному стані вдавлюванням сталльної кульки або алмазного конусу.
2. Користуючись діаграмою стану залізо–вуглець, вибрати температуру нагрівання зразків для нормалізації.
3. Визначити час нагрівання зразків у печі, користуючись вказівками, наведеними у роботі.
4. Помістити зразки у нагрівальну піч і витримати необхідний час.
5. Вийняти зразки з печі і охолодити на повітрі.
6. Зачистити шліфувальною шкуркою окалину з торців зразка і визначити його твердість вдавлюванням сталльної кульки.
7. Зробити висновки про зміну механічних властивостей в результаті нормалізації.

Складання звіту про роботу

У звіті про виконану роботу повинно бути:

5. мета роботи;
6. характеристика сталі у вихідному стані (твердість, мікроструктура);
7. частини діаграми залізо–вуглець, які мають відношення до даної сталі з вказаними температурами гартування і нормалізації сталей;
8. дані, що мають відношення до вибору режимів термообробки (температура, час нагрівання, швидкість охолодження і ін.);
9. діаграми залежності механічних властивостей від температури відпуску;

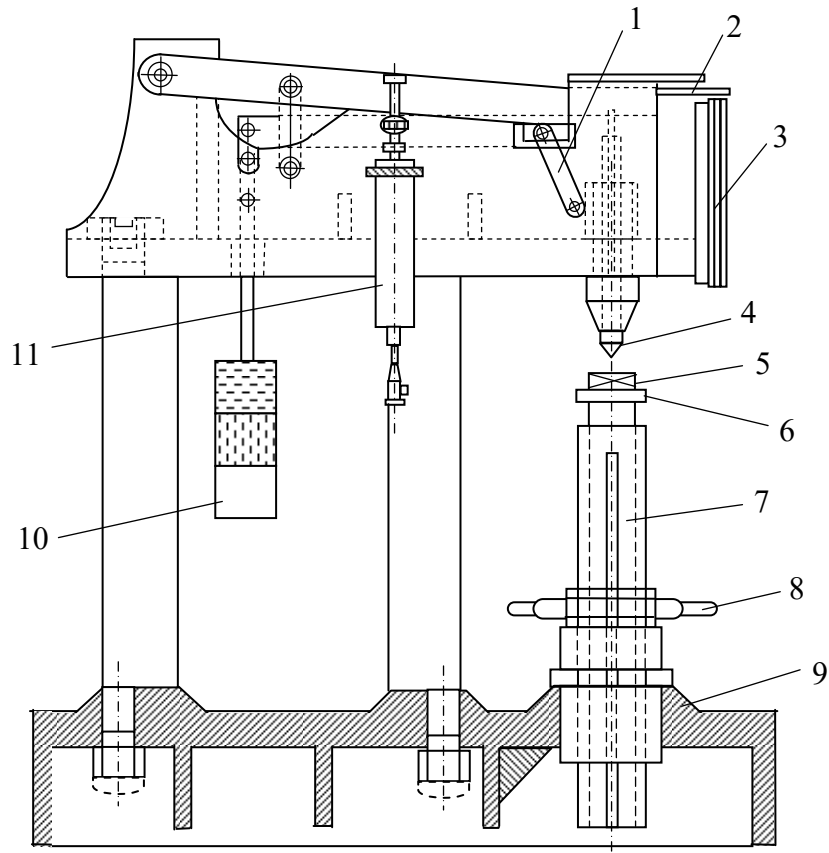


Рис.4. Схема приладу типу ТК

себе (вліво). Передача руху від шпинделя приладу до індикатора 3 проводиться важелем 2.

Орієнтовно тип наконечника і навантаження при випробуванні на приладі типу ТК можна вибрати згідно даних, наведених у таблиці 2.

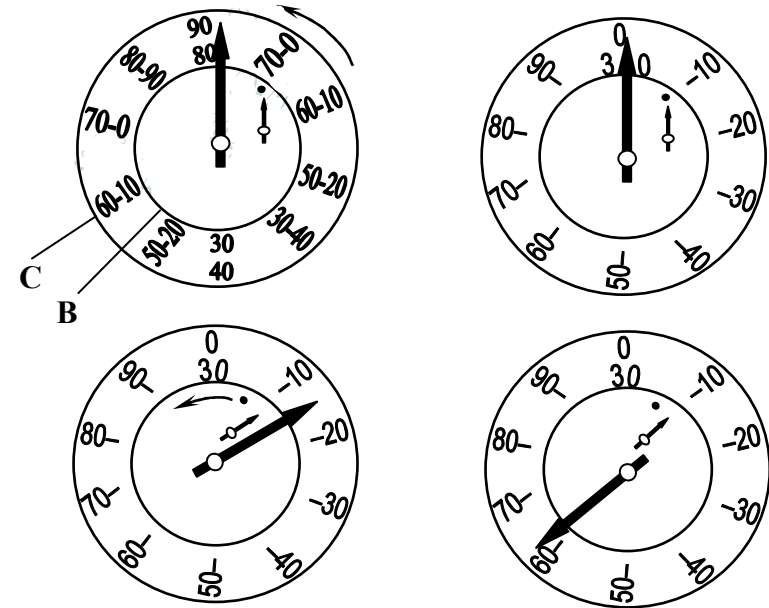


Рис.5. Схема переміщення стрілок на циферблаті індикатора при дослідженні на приладі ТК.

Таблиця 2

Орієнтовний вибір наконечника і навантаження при дослідженні на приладі типу ТК (ГОСТ 9013-59)

Границі вимірювання у одиницях твердості по Роквеллу	Шкала	Форма наконечника	Навантаження P , кг	Відповідні наближені значення чисел твердості по Віккерсу HV
HRB 25–100	В	Сталева кулька	100	60–240
HRC 20–67	С	Алмазний конус	150	240–900
HRA 70–85	А	Алмазний конус	60	390–900

Соляні ванни дають змогу швидко нагрівати деталі без окислення та зневуглицьовування їх поверхні і дозволяють більш точно регулювати температури нагрівання.

Для охолодження деталей при гартуванні використовують баки для води, масла, емульсії та інших охолоджувачів різних розмірів і конструкцій.

Для вимірювання температур при термічній обробці застосовують термоелектричні пірометри з хромалюмінієвими (для вимірювання температур до 1100 °С) і платинородієвими (для вимірювання температур до 1600 °С) термопарами.

Порядок проведення роботи

1. Гартування та відпуск

3. Визначити твердість зразків у вихідному стані вдавлюванням сталльної кульки.
4. Вибрати температуру гартування даної деталі, користуючись діаграмою стану залізо–вуглець.
5. Визначити час нагрівання зразків у печі.
6. Помістити зразки у нагрівальну піч і витримати необхідний час. Після того, як колір нагрітого зразка і стінок печі стане однаковим, витримати зразок при цій температурі ще 5 хв.
7. Вийняти зразки з печі і охолодити у заданій охолоджуючій рідині. Зразок у охолоджувач потрібно занурювати вертикально і переміщувати його 2–3 сек для руйнування парової сорочки, яка сповільнює охолодження.
8. Зачистити торець зразка (протилежний шліфу) на абразивному колі для зняття окалини і зневуглицьованого шару. Визначити твердість вдавлюванням алмазного конусу або алмазної піраміди. Результати вимірювань перевести на твердість по Брінелю – НВ.
9. Провести відпуск загартованої сталі до потрібної температури. Після відпуску охолодити зразки на повітрі.
10. Зачистити торці зразка шліфувальною шкуркою і виміряти твердість вдавлюванням алмазного конусу або алмазної піраміди. Результати вимірювань перевести на твердість по Брінелю.

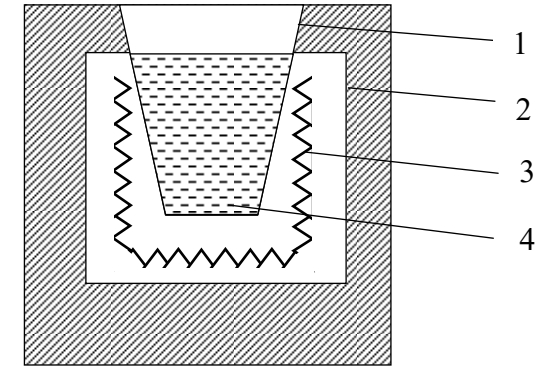


Рис.4. Нагрівальна соляна ванна із спіральними нагрівальними елементами:
1 – тигель; 2 – камера із вогнетривкої цегли;
3 – дротяний нагрівальний елемент;
4 – розплавлена сіль.

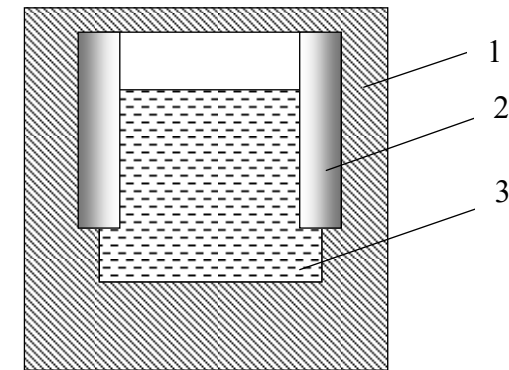


Рис.5. Нагрівальна соляна ванна з металевими електродами:
1 – камера із вогнетривкої цегли;
2 – металеві електроди;
3 – розплавлена сіль.

Твердість на приладі типу ТК можна виміряти:

- 1) алмазним конусом з загальним навантаженням 150 кГ (попереднє 10 кГ і основне 140 кГ); в цьому випадку значення твердості визначають за чорної шкалою С і позначають *HRC*. Ця шкала застосовується для дослідження загартованих сталей, які мають твердість до *HRC* 67, і для визначення твердості тонких поверхневих шарів товщиною більше 0,5 мм;
- 2) алмазним конусом з загальним навантаженням 60 кГ (10+50); в цьому випадку значення твердості також визначають за чорною шкалою С, але позначають *HRA*. Числа *HRA* можна перевести у числа *HRC* за формулою:

$$HRC = 2 \times HRA - 104 \quad (3)$$

Ця шкала застосовується для дослідження надтвердих сплавів (наприклад, карбідів вольфраму, які мають твердість *HRC* > 68, тонкого листового матеріалу і для вимірювання твердості тонких поверхневих шарів (0,3–0,5 мм) або тонких пластинок;

- 3) сталевую кулькою з загальним навантаженням 100 кГ (10+90); в цьому випадку значення твердості визначають за червоною шкалою В і позначають *HRB*. Шкала В служить для дослідження металів середньої твердості і для досліджень зразків товщиною від 0,8 до 2 мм (коли дослідження твердості методом Брінеля не може бути виконане).

Для вимірювання твердості тонких пластин і тонких поверхневих шарів (цементованих, азотованих, ціанованих) використовують прилади типу суперроквелл. Загальне навантаження, яке застосовується в такому приладі, складає від 15 до 45 кГ, попереднє – 3 кГ, а кожна поділка шкали індикатора відповідає глибині вдавлювання 0,001 мм (1 мк). Ці прилади мають велику чутливість.

На основі експериментальних робіт встановлений зв'язок між числами твердості по Роквеллу і по Брінелю, який дозволяє здійснювати перехід від одних чисел твердості до інших (див.табл.6).

Перевагами методу Роквелла є: висока продуктивність, простота обслуговування, точність вимірювання та збереження якісної поверхні після випробування. Не рекомендується застосовувати цей метод для визначення твердості неоднорідних за структурою сплавів (чавуну), для дослідження криволінійних поверхонь з радіусом кривизни менше 5 мм і для випробування деталей, які під дією навантаження можуть деформуватися.

Порядок проведення роботи

Метод Брінеля

1. Зачистити зразок напилком або шліфувальною шкіркою.
2. Вибрати в залежності від заданих умов дослідження і типу зразка діаметр кульки, навантаження і час витримки під навантаженням.
3. Помістити на підвіс потрібну для вимірювання кількість змінних тягарців.
4. Встановити перемикач 10 (див.рис.2) на необхідну тривалість витримки.
5. Встановити на столик досліджуваний зразок і обертанням маховика підняти його до кулькового наконечника. Попереднє навантаження має становити близько 100 кГ. Навантаження має бути прикладене перпендикулярно до площини зразка. Центр відбитку повинен знаходитись від краю зразка на відстані не менше діаметра кульки, а від центра сусіднього відбитку – на відстані не менше двох діаметрів кульки.
6. Провести вимірювання.
7. Після вдавлювання виміряти діаметр відбитку у двох взаємно перпендикулярних напрямках за допомогою вимірювальної лупи. Діаметр відбитку вимірюють з точністю до 0,05 мм при дослідженні кульками діаметром 10 і 5 мм і з точністю до 0,01 мм при дослідженні кулькою діаметром 2,5 мм.
8. За величиною діаметра відбитку, діаметра кульки і навантаження, розрахувати число твердості *HB*.
9. Результати дослідження занести у протокол.

Температура нормалізації вуглецевих сталей

Вміст С в %	Температура нормалізації в °С	Вміст С в %	Температура нормалізації в °С
0,1	920–940	0,8	775–790
0,2	890–910	1,0	830–850
0,4	850–870	1,2	900–920
0,6	800–820	1,4	950–970

Низьковуглецева сталь після нормалізації складається із перліту та фериту. Перетворення в такій сталі відбуваються згідно діаграми залізо–вуглець. Структура середньовуглецевих сталей після нормалізації являє собою сорбіт з включеннями фериту. Складні деталі з невеликою товщиною стінок, виготовлені із середньовуглецевої сталі, після нормалізації повинні піддаватися відпуску для ліквідації внутрішніх напруг. Твердість вуглецевої сталі після нормалізації залежить від складу сталі і знаходиться в межах НВ 150÷300.

Нормалізована сталь більш тверда, ніж відпалена, тому що при нормалізації швидкість охолодження більш висока, ніж при відпалі.

Для нагрівання виробів застосовують електричні печі і соляні ванни.

Електричні камерні або муфельні печі з електронагрівальними елементами використовують для нагрівання виробів до 900 °С, печі з карборундовими або вугільними електродами – для нагрівання виробів до температури вище 900 °С.

У соляних ваннах деталі нагрівають від 150 до 1350 °С в залежності від складу солей. Для нагрівання деталей до 600 °С під відпуск і охолодження при ізотермічному гартуванні застосовують ванни із азотнокислих солей (рис.4). Для нагрівання деталей вище 600 °С застосовують соляні ванни із кухонної і хлорбарієвої солі, розігріті за допомогою металевих електродів (рис.5).

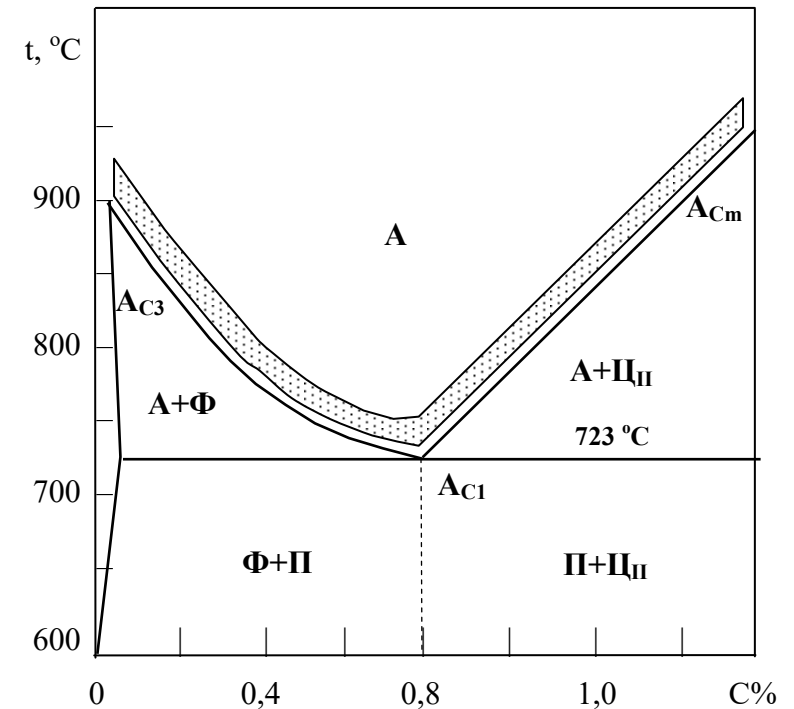


Рис.3. Діаграма температур нагрівання для нормалізації вуглецевих сталей.

Для вуглецевих конструкційних сталей 10, 15, 20, 25, 30, 35 нормалізація часто є кінцевою операцією, тому що ці сталі у нормалізованому стані мають механічні властивості, які відповідають умовам експлуатації.

Доевтектоїдні сталі при нормалізації нагрівають на 30–50 °С вище критичної точки A_{C3} , а заевтектоїдні – на 30–50 °С вище A_{Cm} . Практично температуру нормалізації вуглецевих сталей можна витримувати в межах, наведених у таблиці 3.

Час нагрівання виробів із вуглецевої сталі при нормалізації такий же, як і при гартуванні, тому можна використати дані, приведені у таблиці 1

**Протокол дослідження матеріалів на твердість
за методом Брінеля**

№ п/п	Найменування матеріалу	Діаметр кульки, <i>D, мм</i>	Навантаження <i>P,</i> <i>кГ</i>	Діаметр відбитку <i>d, мм</i>	Число твердості по Брінелю <i>HB</i>
Середнє значення <i>HB</i>					

Метод Роквелла

1. Зачистити зразок.
2. Підібрати навантаження відповідно вибраному наконечнику і шкалі, за допомогою якої буде проводитись відлік.
3. Встановити досліджуваний зразок на столик.
4. Провести попереднє навантаження до тих пір, поки мала стрілка індикатора не співпаде з червоною точкою на шкалі, а велика не прийме вертикальне положення (рис.5, а). Якщо мала стрілка індикатора перейде за червону точку, необхідно вибрати на досліджуваній поверхні іншу точку і знову почати вимірювання; потім повернути кільце індикатора до співпадання нуля чорної шкали з великою стрілкою (рис.5,б).
5. Натиснути на рукоятку, навантаження повільно опускається до упору і зупиняється. За цей час велика стрілка повернеться проти годинникової стрілки (рис.5, в). Після секундної витримки зняти основне навантаження. Велика стрілка при цьому обертається по годинниковій стрілці (рис.5, г).
6. Зробити відлік чисел твердості за шкалою індикатора.
7. Результати досліджень занести у протокол.

Протокол дослідження твердості по Роквеллу

№ п/п	Найменування матеріалу	Навантаження <i>P, кГ</i>	Шкала	Число твердості по Роквеллу <i>HR</i>	Число твердості по Брінелю <i>HB</i>
Середнє значення <i>HB</i>					

Складання звіту про виконану роботу

Звіт по роботі повинен вміщати: номер, найменування і мету роботи; опис методики проведення випробувань; протоколи випробувань на твердість.

Вуглецева сталь, яка містить вуглецю більше 0,6%, після гартування буде складатися із мартенситу – деякої кількості залишкового аустеніту. В результаті гартування збільшується питомий об'єм сталі (до 1%), внаслідок чого виникають значні залишкові напруги.

Для зменшення чи зняття внутрішніх напруг, приведення нестійкої структури мартенситу в більш стійку та одержання потрібної твердості загартовану сталь відпускають.

Структурні зміни у загартованій сталі та виникаюча при цьому зміна властивостей залежать від температури відпуску. Розрізняють три види відпуску: низький, середній та високий.

Низький відпуск отримують при нагріванні деталей до 300–400 °С. При таких температурах в структурі сталі залишається мартенсит, але із зміненою решіткою. Внаслідок цього зменшується твердість та внутрішні напруги і збільшується пластичність сталі.

Середній відпуск отримують при нагріванні виробів від 400 до 500 °С. Сталі, що відпущені до цих температур складається в основному із троститу відпуску. Вироби мають високу міцність і деяку пластичність.

Високий відпуск отримують при нагріванні виробів від 500 до 700 °С. Загартована сталь в цьому випадку складається із сорбіту відпуску. Сорбіт має твердість меншу ніж тростит, але твердіший перліту. Чим вища температура відпуску, тим менша твердість сталі і тим вища її пластичність та в'язкість (особливо збільшується ударна в'язкість), тому гартування з високим відпуском називається покращенням сталі.

Нормалізація – це нагрівання сталі до температур вище критичних точок, витримки при цих температурах і охолодження на повітрі. Температура нагрівання визначається складом сталі і залежить від положення критичних точок A_{C3} і A_{Cm} на діаграмі залізо–вуглець (рис.2).

Нормалізація вуглецевої сталі застосовується для зміни мікроструктури, що приводить до покращення механічних властивостей, а також для підготовки до послідувочої термічної обробки (для легованих сталей) і покращення оброблюваності м'яких та в'язких сталей.