

**Міністерство освіти та науки України
Донбаська державна машинобудівна академія**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт з курсу

"ТЕРМІЧНА ОБРОБКА МЕТАЛІВ"

для студентів спеціальності 7.090403 "Ливарне виробництво"

та 7.090404 "Обробка металів тиском"

Перезатверджено на засіданні кафедри ТОЛВ
Протокол №2 від 28.08.2012

Краматорськ ДДМА 2002

Міністерство освіти та науки України
Донбаська державна машинобудівна академія

Методичні вказівки
до лабораторних робіт з курсу
"ТЕРМІЧНА ОБРОБКА МЕТАЛІВ"
для студентів спеціальності 7.090403 "Ливарне виробництво"
та 7.090404 "Обробка металів тиском"

Затверджено на засіданні кафедри
металознавства, технології
та термічної обробки металів.
Протокол № 7 від 5 грудня 2001р.

Краматорськ 2002

УДК 521.875.669.1/89

Методичні вказівки до лабораторних робіт та практичних занять з дисципліни "Термічна обробка металів" для студентів спеціальності 7.090403 "Ливарне виробництво" та 7.090404 "Обробка металів тиском" / Укл.: М.Я. Белкін, В.К.Заболоцький, В.І.Рульов. – Краматорськ: ДДМА, 2002. - с.

У методичних вказівках до кожної лабораторної роботи приводяться короткі теоретичні відомості, перелік приладів, приладдя та матеріалів, порядок виконання роботи, рекомендації з обробки результатів експериментів та складанню технічного звіту про лабораторну роботу.

Укладачі: М.Я. Белкін, проф.,
В.К.Заболоцький, проф.,
В.І.Рульов, доц..

Відповідальний за випуск М.Я. Белкін, проф.

1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

В цих вказівках викладені методики лабораторних робіт з термічної обробки металів і сплавів, характер і зміст яких підібрані відповідно до діючої програми. Ціль лабораторного практикуму: ознайомити студентів з основними прийомами термічної обробки, дати їм можливість одержати навички проведення найбільш розповсюджених видів термічної обробки, навчити студентів узагальнювати отримані експериментальні дані шляхом складання таблиць, побудови графіків і діаграм, складати звіти, робити висновки і заключення за літературними і експериментальними даними. В результаті проведеного лабораторного практикуму студенти практично одержують дані про вплив термічної обробки на структуру і властивості найбільш розповсюджених конструкційних і інструментальних сталей.

Лабораторні роботи виконуються в лабораторіях кафедри металознавства і термічної обробки і базуються на теоретичних положеннях курсу, а також наукових працях, що проводяться у цих лабораторіях. Лабораторний практикум виконується підгрупою студентів у кількості не більш 12 чоловік під безпосереднім керівництвом викладача.

До виконання лабораторних робіт допускаються студенти, знайомі з методикою виконання роботи, конструкцією й особливостями експлуатації лабораторних термічних печей і приладів, що використовуються у лабораторному практикумі, порядком роботи на них, і тільки при наявності короткого конспекту методики виконання роботи. Готовність студентів до виконання лабораторної роботи установлюється викладачем шляхом усного опитування і програмованого контролю знань студентом відповідного розділу теоретичного курсу. Кожен студент при складанні й оформленні звіту повинний виявляти максимум самостійності, ініціативи і творчості.

При виконанні лабораторного практикуму варто дотримувати наступні правила техніки безпеки:

1.1 Забороняється самовільно вмикати і вимикати термічні печі, прилади й інше устаткування лабораторії.

1.2 Завантажувати зразки в термічні печі, а також вивантажувати з них зразки треба тільки при відключених від електричної мережі печах.

1.3 У період безпосереднього виконання термічних операцій у печі дозволяється працювати двом студентам: один з них виконує операції термічної обробки, а другий - відкриває і закриває кришку печі.

1.4. Забороняється встановлювати на термічні печі та випробувальні прилади, сторонні предмети, а також чіпати прилади й устаткування, що не відносяться до даної лабораторної роботи.

Практичні заняття за курсом зв'язані з розробкою технології термічної обробки конкретних деталей. Для рішення поставлених у завданні задач студент використовує графіки технологічних режимів термообробки, які представлені у цих методичних вказівках, що відбивають реальні технологічні процеси, що застосовуються головним чином у термічних у ковальсько-пресових цехах заводів важкого машинобудування (НКМЗ, СКМЗ, КЗВС).

2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

ВИЗНАЧЕННЯ АУСТЕНИТНОГО ЗЕРНА В СТАЛІ

2.1 Ціль роботи

Вивчити методи виявлення аустенітного зерна в сталі, визначити спадкоємне зерно конструкційних і інструментальних сталей.

2.2 Короткі теоретичні відомості

При нагріванні сталі в інтервалі температур від A_{c1} до A_{c3} (A_{cm}) утвориться аустеніт з феритно-перлітної (перлітно-цементитної) суміші. При незначному перегріві (20...30 С°) вище точки A_{c3} (A_{cm}) утвориться велика кількість дрібних (початкових) зерен аустеніту. Подальше нагрівання супроводжується ростом аустенітного зерна. Інтенсивність росту зерна в сталі при її перегріві залежить від хімічного складу, а також від металургійних факторів, зокрема від способу розкислення. Сталі, у яких аустенітне зерно росте вже при значному перегріві вище критичних температур, називаються спадково грубозернистими. Сталі, у яких зерно інтенсивно росте тільки при значному перегріві, називаються спадково дрібозернистими. Спадкоємне (природне) зерно характеризує здатність до росту зерна аустеніту. Зерно, що має сталь в результаті нагрівання до даної температури, називають дійсним зерном. Величина дійсного зерна є результатом сукупності методу виплавки сталі, гарячої і холодної механічної і термічної обробки.

Спадкоємне зерно є технологічною характеристикою і визначається спеціальними методами. У залежності від хімічного складу сталей існує кілька способів виявлення спадкоємного зерна в сталі:

- для маловуглецевої сталі розмір зерна визначають за карбідною сіткою, що утворилася на границі зерен аустеніту при науглецюванні (метод цементації);

- для легованої і середньовуглецевої сталі розмір зерна визначається за сіткою окислів, що утворилися в процесі окислювання (метод окислювання);

- для доевтектоїдної сталі - за сіткою фериту, що відокремився на границі колишнього аустенітного зерна при охолодженні (метод нормалізації).

Величину зерна визначають під мікроскопом одним з наступних методів:

а) візуальним порівнянням видимих під мікроскопом зерен з еталонними зображеннями шкал;

б) підрахунком кількості зерен, що приходяться на одиницю поверхні шліфа;

в) виміром середнього умовного діаметра зерен чи кількості зерен у 1 мм^2 .

2.3 Матеріали, обладнання та приладдя

Для виконання роботи необхідні: зразки сталей, нагрівальні печі, металографічні мікроскопи, кліщі для завантаження зразків у піч і вивантаження їх, матеріали для приготування мікрошліфів, реактиви для травлення (4% -ний розчин азотної кислоти в етиловому спирті), фільтрувальний папір, вата, об'єкт-мікрометр, окуляр-мікрометр, 15%-ний спиртовий розчин соляної кислоти.

2.4 Хід роботи

2.4.1 Виявлення зерна аустеніту методом окислювання

1 Приготувати мікрошліфи з обох торців досліджуваного циліндричного зразка (не травити).

2 Завантажити зразки в піч, нагріту до температури 930°C , і витримати протягом 30 хв з моменту придбання піччю, температури 930°C після посадки зразків.

ПРОСТЕЖИТИ, ЩОБ ПОЛПРОВАНА ПОВЕРХНЯ НЕ ТОРКАЛАСЯ ПОДУ ПЕЧІ.

3 Після витримки остудити зразки на повітрі і знову приготувати мікрошліф. Зішліфувати треба мінімальний шар, щоб не видалити цілком сітку окислів.

4 Протравити мікрошліф 15%-ним спиртовим розчином соляної кислоти.

5 По сітці окислів визначити величину зерна аустеніту за методикою, викладеною у підрозділі 2.5.

2.4.2 Виявлення зерна аустеніту методом нагрівання (нормалізації)

1 У нагріту до температури 930 С° піч завантажити зразки і витримати протягом 30 хвилин з моменту придбання піччю заданої температури після завантаження зразків.

2 Після витримки остудити зразки на повітрі.

3 Приготувати мікрошліф і протравити його в 4%-ному спиртовому розчині азотної кислоти.

4 За сіткою фериту (доевтектоїдна сталь) чи цементиту (заевтектоїдна сталь) визначити величину зерна аустеніту за методикою, викладеною у підрозділі 2.5.

2.4.3 Виявлення зерна аустеніту методом науглецювання

1 Помістити зразки у металевий пенал з твердим карбюризатором, завантажити пенал зі зразками у піч, нагріту до температури 930°С і витримати протягом 2 г, потім зразки в пеналі повільно охолодити разом з піччю.

2 Після остаточного остигання зразків приготувати мікрошліф, протравити 4%-ним спиртовим розчином азотної кислоти.

3 За карбідною сіткою (поблизу поверхні досліджених зразків) визначити величину зерна аустеніту за методикою, викладеною в підрозділі 2.5.

2.5 Хід роботи з визначення величини зерна аустеніту

2.5.1 Метод порівняння з еталонною шкалою

1 Підготувати металографічний мікроскоп до роботи при збільшенні 100^x (дозволяється також інше збільшення).

2 Шляхом перегляду всієї площі шліфа і порівняння видимих на шліфі зерен з еталонними зображеннями визначити бал зерна.

3 У випадку, якщо розглядання структури під мікроскопом проводилося не при збільшенні 100^x, визначити бал зерна, користуючись даними, приведеними в табл.2.1.

Таблиця 2.1

Збільшення	Номер зерна (бал)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
100	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
200	-	-	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
400	-	-	-	-	1	2	3	4	5	6	7	8

2.5.2 Метод виміру середнього умовного діаметра зерна

1 Визначити ціну поділки E_{co} за допомогою об'єкт-мікроскопа.

2 Досліджуваний шліф помістити на предметний столик мікроскопа.

У довільно обраному полі визначити середній (за діаметром) розмір кожного зерна в поділках сітки окуляра. Подібну операцію зробити на наступному полі і т.д. Виміри зробити в 50 полях зору. Отримані результати виміру занести в табл. 2.2.

3 Розрахувати середній діаметр зерна за формулою

$$D_{cp} = \frac{\sum md}{\sum m},$$

де d - діаметр зерна в кожній групі в поділках окулярної шкали
 m - число зерен (див. табл.2.2).

Таблиця 2.2

Діаметр зерен в поділках окул.	1	2	3	.	.	.	20
Число зерен, m							
Відносна частота, %							

Середній діаметр зерна визначити з виразу

$$D_{cp} = D_{cp} E_{ce},$$

де E_{ce} - ціна поділки сітки телеекрана.

4 Розрахувати середню площу зерна за формулою

$$F_{cp} = \frac{\pi \cdot \sum md^2}{4 \cdot \sum m}.$$

5 Розрахувати кількість зерен на площі 1 мм^2 :

$$N_{cp} = \frac{1}{F_{cp}}.$$

6 Визначити бал зерна n з формули

$$N_{cp} = 8 \cdot 2^n,$$

звідки

$$n = \frac{\lg N_{cp} - \lg 8}{\lg 2}.$$

7 Порівнянням отриманих даних N_{cp} , F_{cp} чи d_{cp} із даними табл. 2.3 (ДСТ 5639-65) визначити бал (номер) зерна

Таблиця 2.3

Бал зерна (номер)	Середня площа зерна, $мм^2$	Кількість зерен на площі 1 $мм^2$	Середня кількість зерен в $1мм^2$	Середній діаметр зерна, $мм$
1	0,040... 0,080	12... 24	64	0,250
2	0,020... 0,040	24... 48	179	0,177
3	0,010... 0,020	48... 96	512	0,125
4	0,005... 0,010	96... 192	1446	0,088
5	0,0025... 0,005	192... 384	4096	0,060
6	0,00125... 0,0025	384... 768	11417	0,041
7	0,000625... 0,00125	768... 1536	32768	0,031
8	0,000312... 0,000625	1536... 3072	92160	0,022
9	0,000156... 0,000312	3072... 6144	262144	0,015
10	0,000078... 0,000156	6144... 12288	737280	0,012

8 Результати визначення величини зерна занести в табл.2.4.

Таблиця.2.4

Но- мер зра- зка	Метод вияв- лення розміру зерна	Розрахункові параметри розміру зерна			Бал зерна	
		Середня площа зер- на, $мм^2$	Число зе- рен на пло- щі 1 $мм^2$	Середній ді- аметр зерна, $мм$	За розра- хунком	Візуаль- но
1						
2						
3						

2.6 Зміст звіту

Звіт повинний містити: назву роботи і її ціль, короткі теоретичні відомості, хід роботи, а також наступні результати експериментів:

- а) хімічний склад досліджених сталей;
- б) результати розрахунків з визначення ціни поділки окулярної шкали;
- в) зарисовки мікроструктур зразків і результати візуального визначення величини зерна методом порівняння;
- г) дані виміри середнього діаметра у вигляді табл. 2.2;
- д) дані у вигляді табл.2.4;
- е) висновки про спадкоємну зернистість досліджених сталей.

3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ КРИТИЧНОЇ ШВИДКОСТІ ГАРТУВАННЯ

3.1 Ціль роботи

Вивчити вплив швидкості безупинного охолодження сталі на її структуру і властивості; установити зв'язок між особливостями розпаду переохолодженого аустеніту, мікроструктурою і властивостями сталі.

3.2 Короткі теоретичні відомості

Критична швидкість гартування - це найменша швидкість охолодження, при якій весь аустеніт переохолоджується до точки початку мартенситного перетворення. Графічна крива, що відповідає критичній швидкості гартування, інтерпретується дотичною до кривої ізотермічного розпаду аустеніту біля її вигину. Якщо припустити, що охолодження при гартуванні прямо пропорційне логарифму часу, то в координатах t і $\lg \tau$ (t - температура, τ — час) процес охолодження визначається прямою і критичною швидкістю гартування

$$V_{кр} = \frac{A_n - t_m}{\tau_m} \quad (3.1.)$$

де A_n - температура, нагрівання, $^{\circ}\text{C}$;

t_m - температура найменшої стійкості переохолодженого аустеніту;

τ_m - час найменшої стійкості переохолодженого аустеніту.

3.3 Матеріали, обладнання та приладдя

Для виконання роботи необхідні: зразки сталі У8, нагрівальні печі, бачки з трансформаторною олією, водою, 10%-ним водяним розчином повареної солі; твердомір ТК; телемікроскоп; абразивний круг і папір; реактив для травлення мікрошліфів (4% - ний розчин азотної кислоти).

3.4 Хід роботи

1 Зразки сталі помістити в термічну піч, нагріту до температури 850... 870 С°. Після збігу кольору зразка з кольором розжарювання мурфеля печі призначити витримку тривалістю 10 хв. Зафіксувати час нагрівання.

2 Після витримки один зразок швидко перенести в ємність з маслом, другий – в розчин у воді повареної солі, третій - у воду, четвертий - видати на повітря, п'ятий зразок перенести в іншу піч, нагріту до температури 850 С°, а шостий залишити в печі, де відбувалося нагрівання.

3 Всі зразки (6 шт) залишити до повного остигання, після чого зачистити зразки до металевого блиску, виміряти твердість за Роквелом (HRC). Приготувати мікрошліфи вивчити і замалювати структуру.

4 Результати виміру і дослідження структури внести в табл. 3.1.

Таблиця. 3.1.

Номер зразка	Умови охолодження зразків	твердість					Мікро-структура
		HRC 1	HRC 2	HRC 3	HRC сер	HB сер	
1	Разом з піччю						
2	Разом з піччю і підстужуванням						
3	На повітрі						
4	У маслі						
5	У воді						
6	У солоній воді						

3.5 Побудова термокінетичної діаграми розпаду переохолодженого аустеніту

- 1 Побудувати систему координат "температура (вісь ординат) - час охолодження (вісь абсцис)". Масштаб (бажаний): температура 100 С° в 1 мм, час охолодження - 1 хв у 5 мм.
- 2 Нанести горизонтальну лінію, що відповідає температурі A_{c1} та A_{c3} .
- 3 Побудувати криві охолодження (від температури нагрівання 850°С), скориставшись експериментальними даними, отриманими в лабораторії (табл. 3.2).

Таблиця. 3.2

Умови охолодження	Температура зразка °С, через час від початку охолодження, хв							
	0,5	1,0	2,0	4,0	7,0	10,0	15,0	25,0
Разом з піччю	846	842	834	818	794	770	730	650
Разом з піччю з підстужуванням	840	831	812	775	718	660	560	360
На повітрі	825	800	750	650	500	350	100	20
У маслі	805	760	675	500	235	20	20	20
У воді	700	400	20	20	20	20	20	20
У солоному середовищі	300	20	20	20	20	20	20	20

4 На кожній кривій охолодження відзначити точки, що характеризують температуру початку розпаду аустеніту і час до початку розпаду, відповідно температуру кінця розпаду аустеніту і час розпаду при охолодженні з заданою швидкістю. Необхідні дані взяти з табл. 3.3 (результати отримані в лабораторії).

5 На основі мікроаналізу, вимірювання твердості з'єднати отримані точки на кривих охолодження плавними лініями однакових перетворень. Графічно визначити температуру найменшої стійкості переохолодженого аустеніту t_m та час найменшої стійкості переохолодженого аустеніту τ_m . За цими даними за формулою (3.1) підрахувати критичну швидкість гартування.

Таблиця 3.3

Умови охолодження	Початок розпаду аустеніту		Кінець розпаду аустені-	
	Температура, °C	Час, хв	Температура,	Час, хв
Разом з піччю	710	16	650	24
Разом з піччю з підстужуванням	700	8	600	13
На повітрі	650	4	500	7
У маслі	600	3	400	5
У воді	500	0,7	220	1,5
У солоному середовищі	200	0,5	-	-

3.6 Зміст звіту

Звіт повинен містити: назву роботи і її ціль, короткі теоретичні відомості, хід роботи, а також наступні результати експериментів:

- дані за табл. 3.1;
- побудовану термодіаграму розпаду переохолодженого аустеніту;
- результати розрахунку критичної швидкості гартування;
- хімічний склад досліджуваної сталі.

4 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ ГАРТУВАННЯ СТАЛІ

4.1 Ціль роботи

Визначити вплив температури нагрівання на твердість загартованої сталі із різним вмістом вуглецю; одержати навички виконання гартування.

4.2 Короткі теоретичні відомості

Гартуванням називається нагрівання до температури вище критичної, витримка для завершення фазових перетворень і наступне охолодження зі швидкістю вище критичної. Найважливішим параметром технології гартування є температура нагрівання.

Температура нагрівання для гартування залежить від хімічного складу і, у першу чергу, від вмісту в ній вуглецю. При виборі темпера-

тури нагрівання для гартування варто врахувати необхідність одержання найбільш високої твердості в загартованій сталі.

Якщо доевтектоїдну сталь з вихідною структурою перліт-ферит нагріти нижче критичної A_{c1} , то структура перліт-феррит збережеться і після швидкого охолодження. Така технологія властивості сталі не змінить.

У доевтектоїдній сталі, нагрітій вище A_{c1} , але нижче A_{c3} , після гартування поряд з мартенситом збережуться ділянки ферита, що не зазнали перетворення в аустеніт при нагріванні. Присутність ферита знижує твердість сталі після гартування і її механічні властивості після відпуску.

Нагрівання сталі вище A_{c3} викличе утворення аустеніту і після охолодження зі швидкістю вище критичної виникне мартенсит. Нагрівання доевтектоїдної сталі значно вище A_{c3} викликає ріст зерна аустеніту, що приведе до утворення при охолодженні крупногоччастого мартенситу, збільшенню вмісту залишкового аустеніту. Така структура несприятливо впливає на властивості сталі. Отже, нагрівання для гартування доевтектоїдних сталей повинно проходити трохи вище (на 20..40 °C) A_{c3} .

Заевтектоїдні сталі також недоцільно нагрівати нижче A_{c1} , тому що таке нагрівання не викликає структурних перетворень і не змінить властивостей сталі. Нагрівання заевтектоїдних сталей до температур, вище A_{c1} і нижче A_{cm} , приведе до утворення в структурі загартованої сталі мартенситу і надлишкового цементиту. Така структура забезпечує більш високу твердість у порівнянні з тією, що одержується при гартуванні з нагріванням вище A_{cm} , тобто в області однорідного аустеніту. В результаті такого більш високого нагрівання сталь одержує структуру крупногоччастого мартенситу без цементиту, але з підвищеною кількістю залишкового аустеніту. Цементит має більш високу твердість, чим мартенсит, присутність аустеніту знижує твердість. Отже, температура гартування заевтектоїдних сталей призначається на 20..40 °C вище A_{c1} .

4.3 Матеріали, обладнання та приладдя

Для виконання роботи необхідні: зразки для випробування доевтектоїдної (сталь 45) і заевтектоїдної (сталь У13) сталей, нагрівальні печі, кліщі для завантаження зразків у піч і їх вивантаження, бачок з водою, наждачний папір, абразивний круг, твердомір ТК і ТШ.

4.4 Хід роботи

1 У печі, попередньо нагріті до температур 650, 700, 750, 800, 850, 900, 950 °C, завантажити зразки.

2 Після придбання зразками кольору розжарювання стінок печі призначити витримку протягом 7 хв.

3 По закінченню витримки зразки (по одному) швидко перенести в бачок з водою і витримати у воді 10... 15 хв, після чого зразки витягти, торцеву поверхню зачистити на абразивному крузі до металевого блиску і виміряти твердість за допомогою твердоміра ТК.

4 Результати вимірювання твердості (три виміри на кожному зразку) занести в табл.4.1.

5 У результаті виміру твердості $HRC_{\text{ср}}$ (середня з трьох вимірів) представити її графічно в залежності від температури нагрівання.

6 Зробити аналіз ходу кривої вимірювання твердості в залежності від температури гартування досліджених сталей.

Таблиця 4.1

Температура нагрівання, °C	Твердість після гартування							
	Сталь доевтектоїдна				Сталь заевтектоїдна			
	HRC_E 1	HRC_E 2	HRC_E 3	HRC_E ср	HRC_E 1	HRC_E 2	HRC_E 3	HRC_E ср
650								
700								
750								
800								
850								
900								

4.5 Зміст звіту

Звіт повинен містити: назву роботи і її ціль, короткі теоретичні відомості, хід роботи, а також наступні результати експериментів:

- а) дані за табл.4.1;
- б) хімічний склад досліджених сталей;
- в) графіки зміни твердості в залежності від температури нагрівання для гартування;
- г) висновок про доцільну температуру нагрівання для гартування доевтектоїдних сталей.

5 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

ВПЛИВ ПОПЕРЕДНЬОЇ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА МІКРОСТРУКТУРУ ГАРЯЧОДЕФОРМОВАНОЇ СТАЛІ

5.1 Ціль роботи

Вивчити вплив відпалу і нормалізації на механічні властивості і мікроструктуру доевтектоїдної сталі після кування.

5.2 Короткі теоретичні відомості

У результаті гарячої обробки сталі тиском ряд дефектів литої сталі усувається, однак виникають деякі особливості, що знижують властивості гарячочоформованої сталі. Така сталь часто має крупне зерно, характеризується структурною неоднорідністю. В умовах прискореного охолодження гарячочоформована сталь володіє підвищеною твердістю, у зв'язку з чим погіршується оброблюваність заготовок різанням, у заготовках нерідко зберігаються високі внутрішні напруження.

Для забезпечення структурної однорідності і усунення відзначених особливостей гарячочоформовану сталь піддають попередній термічній обробці - відпалу чи нормалізації з метою подрібнювання зерна, зняття внутрішніх напружень, зниження твердості та поліпшення оброблюваності різанням.

Подрібнювання зерна в сталях ґрунтується на $\alpha \rightleftharpoons \gamma$ процесі перекристалізації, тобто обумовлюється алотропічним переходом і утворенням при цьому дрібних зерен. У сталях доевтектоїдних остаточне перетворення $\alpha \rightleftharpoons \gamma$ відбувається при переході за точки A_{c3} , тобто після повного перетворення всієї структури сталі в аустеніт і виключення фериту. Очевидно, отриманий при цьому аустеніт стане дрібнозернистим, і при наступному охолодженні сталь залишиться теж дрібнозернистою.

Необхідною умовою для збереження в аустеніті дрібного зерна є незначне перевищення точки A_{c3} (на 30...50 °).

Попередня термообробка гарячочоформованої сталі полягає у наступному:

- у нагріванні сталі до температури на 30..50° вище точки A_{c3} ;
- витримці до повного переходу всієї структури в аустеніт;
- наступному охолодженні або разом з піччю (відпал), або на спокійному повітрі (нормалізація).

5.3. Матеріали, обладнання та приладдя

Для виконання роботи необхідні: досліджувані зразки (марку сталі, і її хімічний склад повідомляє викладач), нагрівальні печі, кліщі для посадки зразків у піч і вивантаження їх, шліфувальний папір, реактив дня травлення зразків з метою виявлення мікроструктури, випробувальна машина ІМ-4Р, молоток, керн, штангенциркуль, міліметровий папір (550х600 мм), твердомір ТК.

5.4 Хід роботи

1 Визначити режим термообробки:

- а) температура нагрівання - $t_{\text{н}} = A_{c3} + (30 \dots 50)^{\circ}\text{C}$;
- б) час нагрівання установити з розрахунку 1хв на 1 мм максимального діаметра зразка;
- в) час витримки дорівнює подвоєному часу нагрівання.

2 Зразки завантажити в розігріту до заданої температури піч

3 Після виконання режиму термообробки (п.1) частину зразків видати на повітря, частину - остудити разом з піччю.

4 Вивчити властивості сталі після термічної обробки шляхом випробування зразків на розтягання, твердість і визначення мікроструктури, для чого:

- а) зразки, піддані термічній обробці, зачистити наждачним папером до видалення окалини;
- б) заправити міліметровий папір у випробувальну машину ІМ-4Р для запису діаграм розтягання;
- в) виміряти діаметр зразка в трьох перерізах у двох взаємно перпендикулярних напрямках. Отримане найменше значення діаметра d_0 записати в табл. 5.1, Розрахувати площу перетину F_0 ;
- г) підрахувати розрахункову довжину $l_0 = 5 d_0$, обмежити розрахункову довжину зразка двома неглибокими керненнями;

Таблиця 5.1

Фіксація зразка	Розміри до випробування			Розміри після випробування		
	$d_0, \text{мм}$	$l_0, \text{мм}$	$F_0, \text{мм}^2$	$d_1, \text{мм}$	$l_1, \text{мм}$	$F_1, \text{мм}^2$

д) установити зразок у випробувальну машину, включити електродвигун (після перевірки викладачем якості установки зразка) і вести спостереження за процесом випробування, уключивши попередньо записуючий пристрій випробувальної машини;

е) після розриву зразка обидві його частини вийняти з затисків, зняти діаграмний папір, вимірити діаметр зразка d_1 у місці розриву. Розрахувати площу перетину F_1 . Скласти обидві половинки випробуваного зразка і виміряти відстань між керненнями l_1 . Результати виміру записати в табл.5.1;

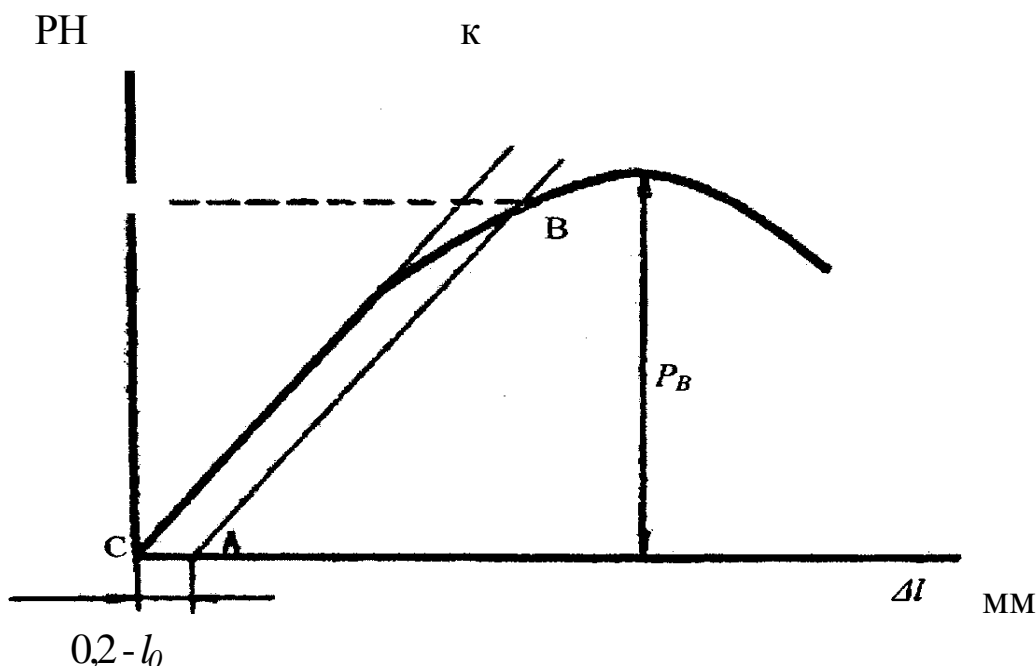
ж) розрахувати механічні властивості досліджуваної сталі.

Умовна границя текучості

$$\sigma_{0,2} = \frac{P_{0,2}}{F_0}$$

де F_0 - початкова площа поперечного перерізу зразка, мм²;

$P_{0,2}$ - навантаження, визначають, як показано на мал.5.1.



Малюнок 5.1- Схема визначення навантаження на діаграмі розтягання

Від точки C відкласти відрізок CA , рівний 0,2% розрахункової довжини зразка (з урахуванням масштабу діаграми). З точки A провести лінію AB , паралельну лінії CK . Ордината точки B визначає $P_{0,2}$.

Тимчасовий опір

$$\sigma_B = \frac{P_B}{F_0}$$

де P_B — найбільше навантаження, що передувало руйнуванню зразка, Н.

Відносне подовження

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} 100 ,$$

де l_1 - довжина робочої частини зразка (між керненням) після випробування;

l_0 - довжина робочої частини зразка (між керненням) до випробування.

Відносне звуження

$$\Psi = \frac{F_0 - F_1}{F_0} 100$$

де F_0 - площа поперечного перерізу зразка до випробування;

F_1 - площа поперечного перерізу в шийці (див. табл. 5.1);

і) на голівках зразків після розриву зачистити на шліфувальному крузі "лиску" і визначити твердість HRB ;

к) на торцевих поверхнях зразків виготовити шліфи, вивчити і охарактеризувати мікроструктуру до і після термічної обробки. Замалювати структуру, що спостерігається, визначити величину зерна за стандартною шкалою. Отримані результати занести в табл. 5.2.

Таблиця 5.2

Мар- ка сталі	Номер зразка	Вид тер- мооброб- ки	Механічні властивості					Характеристика мікро- структури	
			HRB	σ_B	$\sigma_{0.2}$	δ	Ψ	Структурні складові	Бал зерна
				Мпа		%			

5.5 Зміст звіту

Звіт повинний містити:

- назву роботи і її ціль, короткі теоретичні відомості, хід роботи, ескіз зразка;
- режими термообробки у вигляді графіків;
- дані за табл.5.1 і 5.2;
- дані з розрахунку механічних властивостей сталі;
- зарисовки мікроструктур сталі до і після термообробки;
- висновки про вплив відпалу і нормалізації на механічні властивості і мікроструктуру горячедеформованої сталі.

6 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

ВИЗНАЧЕННЯ ПРОГАРТОВАНOSTІ СТАЛІ МЕТОДОМ ТОРЦЕВОГО ГАРТУВАННЯ

6.1 Ціль роботи

Вивчити метод торцевого гартування при випробуванні сталі на прогартованість; дослідити вплив хімічного складу на прогартованість конструкційної сталі.

6.2 Короткі теоретичні відомості

Під прогартованістю сталі розуміється глибина проникнення загартованої зони. Прогартованість залежить від критичної швидкості гартування $V_{кр}$. Чим менше $V_{кр}$, тим більша прогартованість сталі. Прогартованість визначається як відстань від поверхні деталі до шару з напівмартенситною структурою (50% мартенситу і 50% троститу). Твердість напівмартенситної зони залежить від вмісту вуглецю і визначається за таблицею 6.1

Таблиця 6.1

Вміст вуглецю, %	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,70	0,80
Твердість HRC, напівмартенситної зони	40	42	45	47	48	49	50	58

Метод торцевого загартування стандартизований (ДСТ 5657-69), проводиться на спеціальній установці, що забезпечує стандартні умови живлення. Сутність випробування полягає у нагріванні зразка стандартної форми до температури гартування, витримки його і наступному гартуванню шляхом охолодження струменем води з торця.

За результатами вимірювання твердості вздовж утворюючої судять про прогартованість.

Характеристиками прогартованості є:

а) відстань від торця зразка уздовж його утворюючої до зони з напівмартенситною структурою - характеристична відстань X ;

б) критичний діаметр $D_{кр}$, що являє собою найбільший діаметр прутка сталі, що прожарюється наскрізь. $D_{кр}$ визначається за характеристичною відстанню за допомогою номограми Блантера М.Е

6.3 Матеріали, обладнання та приладдя

Для виконання роботи необхідні: стандартні зразки, установка для торцевого гартування, нагрівальні печі, кліщі для завантаження зразків у піч і вивантаження їх, наждачне точило, твердомір ТК, номограма М.Е. Блантера, лінійка.

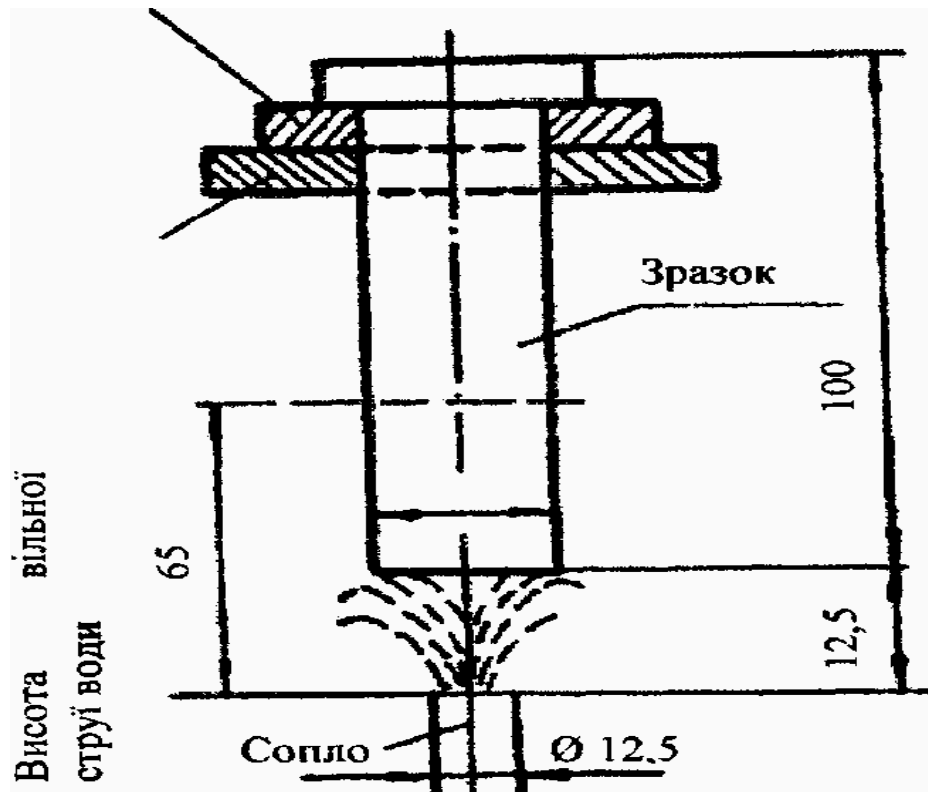
Установка для гартування (мал. 6.1).

Основними елементами установки є кронштейн із настановною шайбою і сопло.

Умови загартування стандартні:

- температура води - $10...25^{\circ}\text{C}$;
- діаметр сопла 12,5 мм;
- відстань від торця, зразка до сопла - 12,5 мм;
- висота вільного струменя води (до установки зразка) - 65 мм.

Установочна шайба



Малюнок 6.1 — Схема установки для гартування зразків

Перед випробуванням варто зробити перевірку і регулювання пристрою (висоту вільного струменя води).

6.4 Хід роботи

- 1 Визначити температуру нагрівання під гартування

$$t_2 = Ac_3 + (30...50) ^\circ C,$$

де Ac_3 - критична температура для досліджуваних сталей (повідомляє викладач).

- 2 Зразки завантажити у піч. Час витримки 10 хв з моменту, коли колір зразка збіжиться з кольором розжарювання стінок печі.

- 3 Після нагрівання і витримки зразок швидко (за час не більш 8 с) переносять у гартівну установку. Швидкість охолодження зразка у різних точках буде різною. Біля торця, що гартується, вона відповідає охолодженню у воді ($600 ^\circ C/c$), а на іншому кінці - швидкості охолодження на повітрі ($2 ^\circ C/c$). Час охолодження не менш 10 хв.

- 4 Після повного охолодження по довжині зразків зачистити смужку (лиску) шириною 1,5...2 мм, виміряти твердість за Роквелом (шкала С): перший вимір зробити на відстані 1,5 мм від торця, далі через кожні 1, 5... 4,5 мм - на довжині 15... 50 мм.

- 5 Виміряти відстань між відбитками. Результати занести в табл.6.2.

- 6 Побудувати (у масштабі) графік зміни твердості у залежності від відстані від торця. Користуючись даними табл.6.1 і знаючи вміст вуглецю в дослідженій сталі, визначити твердість напівмартенситної зони. Визначити відстань від торця до напівмартенситної зони - характеристична відстань X .

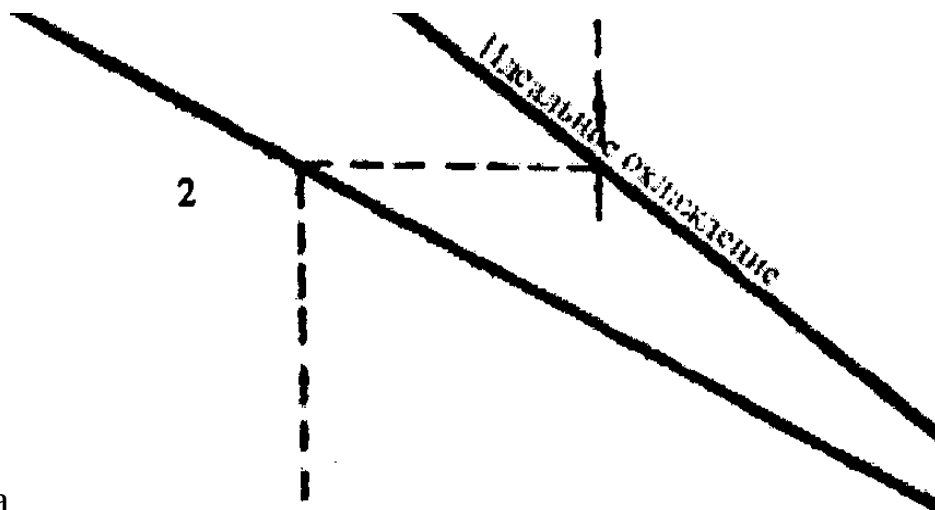
Таблиця 6.2

Результати виміру твердості по утворюючій зразка з вуглецевої сталі	
Відстань від торця, що гартується, мм	
Твердість, HRC	
Результати виміру твердості по утворюючій зразка з легованої сталі	
Відстань від торця, що гартується, мм	
Твердість, HRC	

- 7 За величиною X , користаючись номограмою прогартуваності Блантера М.Е., визначити швидкість охолодження у центрі деталі, а також реальний критичний діаметр при охолодженні її у воді, маслі і на повітрі. Ключ до користування номограмою показаний на мал.6.2.

Характеристична відстань

X_1



Форма тіла

Розмір, мм

Відповідь

Малюнок 6.2 - Схема визначення прогартуваності сталей за номограмою М.Е. Блантера

На шкалі варто знайти відстань до напівмартенситної зони (характеристична відстань) X , яку було визначено дослідним шляхом на стандартному зразку даної сталі. Від знайденої точки X_1 опустити перпендикуляр до лінії "ідеальне охолодження". Від точки перетину 1 провести горизонтальну лінію до перетину з лінією, що відповідає заданому охолоджуючому середовищу (вода, мінеральна масло, повітря). Від точки перетину 2 опустити перпендикуляр до шкали "форма тіла" (для тіла обраної форми, наприклад, циліндра). У точці перетину з цією шкалою читати відповідь: діаметр тіла заданої форми в міліметрах, що має в центрі напівмартенситну структуру $D_{кр}$ і висоту H . Результати визначення прогартуваності записати в табл. 6.3.

6.5 Зміст звіту

Звіт повинний містити: назву роботи і її ціль, короткі теоретичні відомості, хід роботи, а також наступні експериментальні дані:

- а) марку і хімічний склад досліджених сталей;
- б) ескіз зразка, що гартується;
- в) схеми у вигляді мал.6.1 і 6.2;
- г) графік технології термообробки;

Таблиця 6.3

Сталь	Характеристична відстань, мм	Максимальний розмір циліндра $D_{кр}$, мм, що має у центрі напівмартенситну зону при гартуванні					
		У воді		У маслі		На повітрі	
		H --- = 0,1 $D_{кр}$	H --- = 10 $D_{кр}$	H --- = 0,1 $D_{кр}$	H --- = 10 $D_{кр}$	H --- = 0,1 $D_{кр}$	H --- = 10 $D_{кр}$
Вуглецева							
Легована							

д) графік зміни твердості в залежності від відстані від торця, що гартується;

е) результати за табл.6.2 і 6.3;

ж) висновки про прогартованість досліджених сталей.

7 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

ТЕРМІЧНА ОБРОБКА КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ

7.1 Ціль роботи

Освоїти практику термічної обробки сталі: вивчити вплив основних параметрів технології на твердість і мікроструктуру конструкційної сталі.

7.2 Короткі теоретичні відомості

Конструкційні сталі можуть піддаватися чотирьом основним видам термічної обробки: відпалу, нормалізації, гартуванню і відпуску. Найбільш високий комплекс механічних властивостей конструкційних сталей досягається гартуванням з наступним відпуском.

7.3 Матеріали, обладнання та приладдя

Для виконання роботи необхідні: зразки для випробування, нагрівальні печі, бачки з охолоджуючим середовищем (водою і мінеральним маслом), кліщі для вивантаження зразків з печі, мікроскоп, твердоміри, наждачний папір, шліфувальний круг.

7.4 Хід роботи

7.4.1 Вивчення впливу швидкості охолодження на властивості сталі

1 Установити температурний режим нагрівання зразків для виконання відпалу, нормалізації і загартовування:

- температура нагрівання $t = A_{c3} + (30...50)^{\circ}\text{C}$, де A_{c3} верхня критична точка досліджуваної сталі, визначити за довідковою літературою;
- час нагрівання - визначити з розрахунку 1,5 хв на 1 мм діаметра зразка;
- тривалість витримки - установити рівну половині часу нагрівання.

Тривалість витримки зразків у печі відраховувати від моменту збігу кольору зразків з кольором розжарювання муфеля печі.

2 На двох-трьох зразках (з виділених для виконання роботи) виміряти твердість за Роквелом (за шкалою В). Отриманий результат перевести на *HV* (за таблицями).

3 У піч, нагріту до необхідної температури завантажити всі зразки. Нагрівання і витримку зразків проводити відповідно до п.1. Визначити фактичний час витримки (для побудови графіка режиму термооброби).

4 Після витримки частину зразків швидко перенести в бак з водою, частину - у бак з маслом, частину - видати на повітря, а решту - залишити для охолодження разом з піччю. При охолодженні у воді і маслі зразки енергійно переміщати протягом 2...3 с.

5 Після охолодження зразки зачистити на абразивному крузі (до появи металевого блиску).

6 Виміряти твердість за Роквелом (шкала С) не менш, ніж у двох точках. Результати визначення твердості занести в табл. 7.1.

7 Побудувати діаграму впливу швидкості охолодження на твердість сталі. По осі ординат відкладати твердість за Брінелем (у масштабі), а по осі абсцис - швидкість охолодження (дані про швидкість охолодження взяти з табл.7.2).

7.4.2 Вплив відпуску на властивості сталі

1 Загартовані у воді зразки випробувати на твердість за Роквелом і у випадку отримання задовільних результатів гартування (HRC 50...55) піддати відпуску.

2 Відпуск провести при температурах 200, 400, 650 °С. Час витримки при кожній температурі 30 хв.

3 У піч, нагріту до заданої температури відпуску, завантажити зразки і витримати при постійній температурі 30 хв.

Таблиця 7.1

№ пп	Темпе- ратура нагрі- вання, °С	Час, хв.		Охолоджу- юче сере- довище	Найме- нування виду термо- обробки	Твердість				
		на- грі- ван- ня	ви- три- мки			до тер- мо- обро- бки	Після термообробки			
							HRC 1	HRC 2	HRC сер.	HB
1				Разом з піччю						
2				На повітрі						
3				У маслі						
4				У воді						

Таблиця 7.2

Охолоджуюче середовище	Швидкість охолодження в інтервалі температур 650. . 550 °С/с
Разом з підчю	0,5
На повітрі	150
У маслі	30
У воді	600

4 Після витримки зразки остудити на повітрі, зачистити на абразивному крузі до появи металевого блиску, вимірити твердість за Роквелом (шкала 3) не менш чим у двох точках (дозволяється також виміряти твердість за Брінелем).

5 Отримані результати вимірювання твердості занести в табл.7.3.

6 На підставі результатів дослідів побудувати графік у координатах "твердість (по осі ординат) - температура відпуску (по осі абсцис)". На цьому графіку показати якісно, у якому напрямку змінюється при відпуску межа міцності і відносне подовження сталі.

7.4.3 Мікроструктура термічно обробленої конструкційної сталі

1 Зі зразків після усіх видів термічної обробки приготувати мікрошліфи, піддати їх травленню в 4%-ному спиртовому розчині азотної кислоти і структуру вивчити під мікроскопом.

Таблиця 7.3

№	Темпера- тура на- грівання, °C	Час ви- тримки, хв	Охоло- джуюче середо- вище	Твердість пі- сля гарту- вання, HRC	Твердість після відпуску			
					HRC 1	HRC 2	HRC сер	HB
1	200	30	Повітря					
2	400	30	Повітря					
3	650	30	Повітря					

2 Замалювати і охарактеризувати структуру всіх досліджених зразків сталі, звертаючи особливу увагу на форму і розміри зерен. Результати оцінки мікроструктури представити у вигляді табл. 7.4.

Таблиця 7.4

Марка сталі	Вміст елементів, %					Вид термообробки	Найменування отриманої структури
						Відпал	
						Нормалізація	
						Гартування у воді	
						Гартування в маслі	
						Гартування + відпуск при $t = 200^{\circ}\text{C}$	
						Гартування + відпуск при $t = 400^{\circ}\text{C}$	
						Гартування + відпуск при $t = 650^{\circ}\text{C}$	

7.5 Зміст звіту

Звіт повинен містити: назву роботи і її ціль, короткі теоретичні відомості, хід роботи, а також наступні результати експериментів:

а) розрахунки для визначення режимів нагрівання з метою відпалу, нормалізації і гартування;

б) фактичні режими термообробки у вигляді графіків;

в) дані за табл. 7.1, 7.3, 7.4;

- г) діаграму впливу швидкості охолодження на твердість сталі;
- д) графік впливу температури відпуску загартованої сталі на її твердість;
- е) зарисовки мікроструктур зразків після всіх досліджених видів термічної обробки (у колах діаметром 35...40 мм) з висновками по кожній структурі.

8 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

СТРУКТУРА І ВЛАСТИВОСТІ ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ ДЕТАЛЕЙ, ПІДДАНИХ ЦЕМЕНТАЦІЇ

8.1 Ціль роботи

Вивчити мікроструктуру поверхневих шарів деталей, підданих цементациї; оцінити характер розподілу вуглецю, визначити вплив післяцементациї термічної обробки на твердість деталей.

8.2 Короткі теоретичні відомості

Цементациєю називається процес насичення поверхневого шару вуглецем. Основною метою цементациї є одержання твердої і зносостійкої поверхні, що досягається збагаченням поверхневого шару вуглецем до концентрації 0,8...1,1% і наступним гартуванням. Для цементациї застосовують маловуглецеві сталі, що містять до 0,2% С.

Цементацийний шар має перемінну концентрацію вуглецю по товщині, що убуває від поверхні до серцевини виробу. У зв'язку з цим після повільного охолодження у структурі цементованого шару можна розрізнити (від поверхні до серцевини) три зони: заевтектоїдну, що складається з перліту і вторинних карбідів, евтектоїдну, що складається з одного перліту і доевтектоїдну, що складається з перліту і фериту. За товщину (глибину) цементованого шару приймається сума всіх трьох зазначених зон.

Цементация створює тільки сприятливий розподіл вуглецю, однак необхідні властивості цементовані вироби отримують тільки після остаточної термічної обробки - гартування і наступного низькотемпературного відпуску.

8.3 Матеріали, обладнання та приладдя

Для виконання роботи необхідні: зразки маловуглецевої сталі до і після цементації, мікрошліфи зразків після цементації, нагрівальні печі, твердомір ТК, мікроскоп, кліщі для завантаження зразків у піч і їх вивантаження, шліфувальний круг, окуляр-мікрометр, об'єкт-мікрометр.

8.4 Хід роботи

1 Виміряти твердість зразків, підданих і не підданих цементації. Результати вимірювання твердості занести в табл. 8.1.

Таблиця 8.1

№ пп	Твердість, HRC							
	до гартування зразків				після гартування зразків			
	нецементовані		цементовані		нецементовані		цементовані	
	на по- верхні	в центрі	на по- верхні	в центрі	на по- верхні	в центрі	на по- верхні	в центрі
1								
2								
3								
4								
5								

2 Цементовані і нецементовані зразки завантажити в піч, попередньо нагріту до температури 850...860 °С.

3 Після збігу кольору зразків і стінок робочого простору печі призначити витримку тривалістю 5 хв.

4 Після закінчення витримки всі зразки швидко охолодити у воді.

5 Зачистити поверхні зразків (з торця і по утворюючій) до металевго блиску і знову виміряти твердість HRC. Результати занести в табл. 8.1.

6 Вивчити мікроструктуру зразків, підданих цементації (зразки з представленої колекції мікрошліфів) без гартування від поверхні всередину. Замалювати і охарактеризувати мікроструктуру поверхневих, перехідних і центральних шарів. Визначити глибину цементації до перших зерен фериту і загальну за допомогою окуляра-мікрометра і об'єкт-мікрометра.

7 Сформулювати висновки про особливості мікроструктури і властивості поверхневих шарів цементованих виробів після термічної обробки.

8.5 Зміст звіту

Звіт повинен містити: назву роботи і її ціль, короткі теоретичні відомості, хід роботи, а також наступні результати експериментів:

- а) марку дослідженої сталі і її хімічний склад;
- б) результати експериментів за табл.8.1;
- в) зарисовки мікроструктур зразків, підданих цементації (у колах діаметром 35...40 мм) з висновками;
- г) висновки про мікроструктуру цементованої сталі і вплив післяцементацийної термічної обробки на твердість поверхневих і центральних шарів.

9 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РЕКРИСТАЛІЗАЦІЙНОГО ВІДПАЛУ НА СТРУКТУРУ І ВЛАСТИВОСТІ ХОЛОДНОДЕФОРМОВАНОЇ ВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ

9.1 Ціль роботи

Вивчити вплив температури нагрівання на структуру і властивості холоднодеформованої сталі, експериментально визначити температуру початку рекристалізації.

9.2 Короткі теоретичні відомості

У результаті холодної пластичної деформації в металі виникають значні структурні зміни. Чим більша величина деформуючого напруження, тим більші структурні зміни. Найважливішим практичним наслідком пластичної деформації є зміцнення металів. Процес зміцнення під дією пластичної деформації називається наклепом. Підвищуються межа текучості, межа міцності і твердість і одночасно знижується пластичність металу. Основна причина зміцнення металу обумовлена збільшенням перекручувань просторових ґрат, підвищенням щільності дислокації. Безладно орієнтовані кристали під дією деформації повертаються осями найбільшої міцності уздовж напрямку деформації.

Таке закономірне кристалографічне орієнтування зерен одержало назву текстури.

Сліди зрушень виявляються на зернах металу у вигляді ліній ковзання. Зі збільшенням ступеня деформації кількість ліній ковзання збільшується.

Пластично деформований метал знаходиться в структурно-нестійкому стані. Як тільки атоми здобувають достатню рухливість внаслідок підвищення температури, починаються процеси відпочинку, полігонізації і рекристалізації. Найбільш помітно властивості змінюються в результаті рекристалізації.

Мінімальна абсолютна температура рекристалізації за А.А. Бочваром

$$T_p = K T_{пл}$$

де $T_{пл}$ - абсолютна температура плавлення металу;

K - коефіцієнт, що залежить від ступеня чистоти металу.

В результаті рекристалізації спостерігається зниження межі міцності, границі текучості і твердості наклепаного металу. При цьому зростає пластичність, змінюється мікроструктура.

Після рекристалізації метал складається з нових рівноосних зерен. Величина рекристалізаційних зерен залежить від температури нагрівання і ступеня попередньої деформації. З підвищенням температури прискорюються дифузійні процеси, що викликає ріст зерен. Термічна обробка деформованого металу чи сплаву, при якому головним процесом є рекристалізація, називається рекристалізаційним відпалом. Таку обробку застосовують після холодної обробки тиском.

9.3 Матеріали, обладнання та приладдя

Для виконання роботи необхідні: зразки сталі Ст3 деформовані на 50...60%, твердомір ТК, металографічні мікроскопи, нагрівальні печі, шліфувальний папір.

9.4 Хід роботи

1 Зразки після деформації в межах 50...60% (у звіті написати фактичний ступінь деформації) завантажити в печі, метал нагріти до температури 200, 400, 600 і 700 °С, один зразок не нагрівати, залишити для контролю.

2 Після завантаження зразків і досягнення в печі заданої температури витримати зразки в печі 15 хв, потім остудити їх на повітрі. Одну поверхню зразка зачистити на наждачному точилі до металевого блиску.

3 Виміряти твердість за Роквелом (шкала В) і результати занести в табл. 9.1.

4 Вивчити і охарактеризувати мікроструктуру, що спостерігається, замалювати її. Побудувати графік, що показує зміну твердості холодно-

деформованого металу в залежності від температури нагрівання, і вказати приблизну температуру початку рекристалізації на підставі отриманих результатів і розрахунку за формулою А.А. Бочвара.

Таблиця 9.1

№ п/п	Ступінь де- формації, %	Темпера- тура нагрі- вання, °С	Твердість за Роквелом, HRB			Середня твер- дість за Рокве- лом, HRB _{сер}
			I	II	III	
1						
2						
3						
4						
5						

9.5 Зміст звіту

Звіт повинен містити: назву роботи і її ціль, короткі теоретичні відомості, хід роботи, а також наступні результати експериментів:

- а) експериментальні дані за табл.9.1;
- б) графік зміни твердості деформованого металу в залежності від температури нагрівання;
- в) зарисовки мікроструктур;
- г) результати теоретичного й експериментального визначення порога рекристалізації;
- д) висновки про вплив рекристалізаційного відпалу на структуру і властивості деформованої сталі.

10 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9

ІЗОТЕРМІЧНЕ ГАРТУВАННЯ СТАЛЕЙ

10.1 Ціль роботи

Вивчити вплив ізотермічного гартування на структуру і властивості сталей.

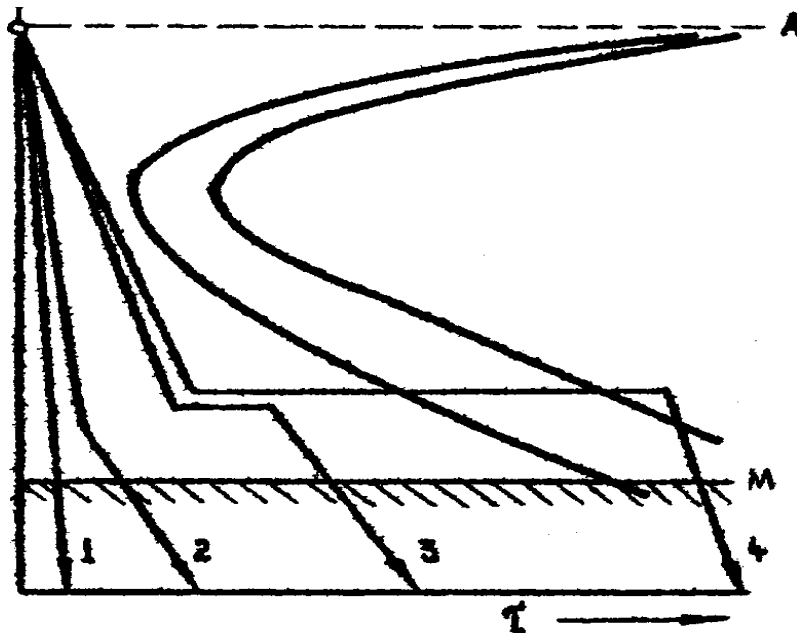
10.2 Короткі теоретичні відомості

Сутність ізотермічного гартування полягає в тому, що нагріту до визначених температур деталь, занурюють у середовище для гартування

і витримують у ньому стільки часу, щоб устигло закінчитися ізотермічне перетворення аустеніту.

Звичайно температура ізотермічної витримки призначається на $30...50\text{ }^{\circ}\text{C}$ вище температури початку мартенситного перетворення ($M_p + 30...50\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Тривалість витримки в середовищі для гартування визначається часом перетворення аустеніту при даній температурі - її знаходять за діаграмою ізотермічного розпаду аустеніту для даної сталі (мал.10.1). Охолодження після ізотермічної витримки проводять на повітрі. Відпуск не потрібний, що є важливою перевагою цього способу термообробки.



1 - гартування в одному охолоджувачі; 2 - переривчасте гартування у двох середовищах; 3 - ступінчасте гартування; 4 - ізотермічне гартування

Малюнок 10.1 - Криві охолодження для різних способів гартування, нанесені на діаграму ізотермічного розпаду аустеніту

У результаті ізотермічного гартування утвориться структура бейніт, забезпечується необхідна твердість і підвищена в'язкість, деформація практично відсутня. Останнє обумовлено тим, що перед перетворенням вирівнюється температура за всім перерізом виробу і перетворення відбуваються при постійній температурі у відсутності термічних напружень. Структурні напруження при перетворенні аустеніту в бейніт значно менші, ніж у випадку перетворення аустеніту в мартенсит.

Ізотермічне гартування призначається найчастіше для виробів з великим відношенням довжини до діаметру чи товщини (3 і більш), для

яких звичайне гартування на мартенсит приводить до значних короблень. Ізотермічне гартування застосовується також при термообробці дроту з вуглецевих сталей 45, 50, 55, 60, 65, У7, У8, що піддаються наступній холодній пластичній деформації. Структура сорбіт, що при цьому виходить, дозволяє проводити деформацію з великими ступенями, що неможливо при звичайній феритно-перлітній структурі.

Ізотермічне гартування, що застосовується при термічній обробці дроту, називається патентуванням.

10.3 Матеріали, обладнання та приладдя

Для виконання роботи необхідні: зразки зі сталі 65Г, печі для нагрівання під гартування і піч для ізотермічної витримки при 350...400 °С в розплавленій селітрі $NaNO_3$ чи лугу $NaOH$, електроплитка, бачки з водою для кип'ятіння і промивання зразків, шліфувальний папір, твердомір ТК.

10.4 Хід роботи

1 Зразки зі сталі 65Г в кількості 3 шт завантажити в піч при температурі 850 °С і витримати протягом 5...10 хв.

2 Остудити зразки в розплавленій селітрі (лугу) при 400 °С на протязі 3...5 хв, після чого остудити зразки на повітрі протягом 5...10 хв.

3 Прокип'ятити загартовані зразки у воді протягом 5...10 хв для очищення поверхні зразків від селітри чи лугу.

4 Після кип'ятіння зразки промити в холодній воді і просушити.

5 Просушені зразки зачистити і заміряти твердість за Роквелом. Результати досліджень занести в табл. 10.1.

Таблиця 10.1

№ пп	Режим нагріву під гартування		Режим ізотермічної витримки		Твердість після ізотермічного гартування, HRC_E			
	Температура, °С	Витримка, хв	Температура, °С	Витримка, хв	I	II	III	Ср
1								
2								
3								

6 Виготовити мікрошліф і вивчити мікроструктуру після ізотермічного гартування.

10.5 Зміст звіту

Звіт повинен містити: назву роботи і її ціль, короткі теоретичні відомості, хід роботи, а також наступні результати експерименту:

- а) дані експерименту по табл. 10.1;
- б) зарисовку мікроструктури;
- в) висновки, що пояснюють характер зміни твердості і структури після ізотермічного загартування.

11 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 10

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ ВІДПУСКУ НА УДАРНУ В'ЯЗКІСТЬ ЗАГАРТОВАНОЇ КОНСТРУКЦІЙНОЇ СТАЛІ

11.1 Ціль роботи

Експериментально установити зміну ударної в'язкості загартованої сталі в залежності від температури нагрівання при відпуску.

11.2 Короткі теоретичні відомості

Термообробку, що полягає в нагріванні загартованої сталі до температури нижче критичної A_1 називають відпуском. При відпуску відбуваються складні процеси, що впливають на усі властивості сталі, причому повнота цих перетворень і зміна властивостей залежать від температури відпуску, тривалості витримки і, у меншій мері, від швидкості охолодження при відпуску. Особливо сильно впливає температура відпуску. З підвищенням температури відпуску знижуються твердість загартованої сталі, тимчасовий опір, межа текучості, але сильно підвищуються відносно подовження і звуження і особливо ударна в'язкість. Це пояснюється зменшенням вмісту вуглецю в α -розчині, порушенням когерентності на межі між карбідами і α -фазою, розвитком у ній спочатку процесів повернення, а при високій температурі – рекристалізацією, а також коагуляцією карбідів.

11.3 Матеріали, обладнання та приладдя

Для виконання роботи необхідні: зразки для випробування на ударну в'язкість (зразки 10x10x55 мм див з U- образним надрізом) у кількості не менш 5 шт, нагрівальні печі, кліщі для завантаження зразків у піч і їх вивантаження, бачок з маслом, наждачний папір, твердомір ТК, маятниковий копер МК-30, мікроскоп.

11.4 Хід роботи

1 Установити тепловий режим нагрівання, зразків для виконання гартування:

- температура нагрівання $t_H = Ac_3 + (30...50)^\circ$, де Ac_3 - верхня критична точка досліджуваної сталі, визначити за довідковою літературою, дані записати в табл. 11.1;
- час нагрівання - визначити з розрахунку 1,5 хв на 1 мм товщини зразка;
- тривалість витримки - установити рівну половині часу нагрівання;
- охолодження у маслі (у воді).

Таблиця 11.1

Марка сталі	Вміст елементів, %							Критичні точки	
	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Ac_1	Ac_3

2 У піч, нагріту до необхідної температури, завантажити всі зразки. Нагрівання і витримку зразків проводити відповідно до п. 1. Визначити фактичний час витримки (для побудови графіка термообробки), він дорівнює часу від моменту завантаження зразків у піч до моменту, коли колір зразків збіжиться з кольором розжарювання стінок муфеля печі.

3 Після витримки зразки по одному перенести в бак для гартування. Зразки в рідині для гартування витримувати 20...25 с, при цьому зразок інтенсивно погойдувати у рідкому середовищі.

4 Після охолодження зразки зачистити наждачним папером до металевого блиску.

5 На зразках вимірити твердість HRC_E в 2...3 точках. Результати вимірювання твердості занести в табл. 11.2. Один зразок залишити як контрольний.

Таблиця 11.2

Марка сталі	Твердість HRC_E					Ударна в'язкість, МДж/м ²				
	після гартування	після відпуску при температурі, °C				після гартування	після відпуску при температурі, °C			
		100	200	400	650		100	200	400	650

6 Провести відпуск загартованих зразків. Для цього один зразок після гартування помістити в піч з температурою 100°C, другий з температурою 200°C, третій - з температурою 400°C, а четвертий - з температурою 650°C. Тривалість витримки 30 хв з моменту посадки зразків. Після витримки зразки остудити на повітрі.

7 Відпущені зразки після повного охолодження зачистити наждачним папером до металевого блиску, вимірити твердість за Роквеллом (шкала С) не менш чим у двох точках. Середнє значення твердості *HRC* занести в табл. 11.2.

8 Підготовлені зразки випробувати на ударну в'язкість на копрі МК-30. Результати записати в табл. 11.2.

9 На підставі результатів дослідів побудувати графік у координатах "твердість" (по осі ординат) - "температура відпуску" (по осі абсцис), а також другий графік у координатах "ударна в'язкість" (по осі ординат) - "температура відпуску" (по осі абсцис).

10 Після випробування на одній половинці ударних зразків приготувати мікрошліфи, вивчити мікроструктуру. Замалювати і охарактеризувати структуру всіх досліджених зразків сталі.

11.5 Зміст звіту

Звіт повинний містити: назву роботи і її ціль, короткі теоретичні відомості, хід роботи, а також наступні результати експерименту:

- а) розрахунки з визначення режимів нагрівання і витримки при нагріванні для гартування;
- б) фактичні режими гартування і відпуску у вигляді графіків;
- в) графіки впливу температури відпуску на твердість і ударну в'язкість;
- г) зарисовки мікроструктур зразків після усіх видів термообробки (гартування і гартування з наступним відпуском), а також висновки по кожній мікроструктурі;
- д) висновки що до впливу температури відпуску на твердість і ударну в'язкість конструкційної загартованої сталі.

12 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 11

ОКИСЛЕННЯ ТА ОБЕЗВУГЛЕЦЮВАННЯ СТАЛЬНИХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ АУСТЕНІТИЗАЦІЇ

12.1 Ціль роботи

Вивчити методу визначення глибини обезвуглецюваного шару при нагріванні сталі металографічним способом, встановити вплив температури нагрівання і тривалості витримки на процеси обезвуглецювання.

12.2 Короткі теоретичні відомості

Нагрівання сталі до високих температур при термічній обробці, або для гарячої обробки тиском, супроводжується окисненням та обезвуглецюванням. Окислення відбувається внаслідок взаємодії металу з окислювальним середовищем печі і супроводжується утворенням окалини (окислів). Обезвуглецювання з тієї ж причини проявляється у вигоранні вуглецю з поверхневих шарів заготовки.

Обезвуглецювання сталі приводить до зниження механічних властивостей, коробленню виробів, появі тріщин при наступних операціях термічної обробки. Особливо сильно знижується опір втомленості деталей з обезвуглецюваним шаром. Окислення і обезвуглецювання приводить до збільшення припусків на механічну обробку, до переводу металу в стружку.

Інтенсивність окислення та обезвуглецювання сталі залежать від терміну витримки, температури нагрівання, тиску в робочому просторі нагрівальної печі, підсосу повітря в піч, коефіцієнта витрати повітря на горіння палива, сорту спалюваного палива, складу сталі, конструкції топливоспалюючих пристроїв.

Розрізняють дві зони обезвуглецювання:

- зона повного обезвуглецювання до структури чистого фериту;
- зона часткового обезвуглецювання.

Зона повного обезвуглецювання – це відстань від поверхні зразка (деталі) до перших зерен перліту.

Зона часткового обезвуглецювання – це відстань від поверхні до основної (вихідної) структури сталі. Загальна глибина обезвуглецювання складається із суми зони повного та часткового обезвуглецювання. Глибину обезвуглецювання виражають у міліметрах або у процентах до товщини виробу.

12.3 Матеріали, обладнання та приладдя

Для виконання роботи необхідні: муфельні електричні печі опору, зразки сталі, мікроскоп, реактив для травлення сталі (4% - ний розчин азотної кислоти у спирті) шліфувальний папір, шліфувально-полірувальний станок.

12.4 Хід роботи

Досліджені зразки сталі в кількості 9 шт помістити у муфельну електропіч (обережно, дотримувати правил техніки безпеки) і провести нагрівання за результатами, указаними в табл. 12.1

Таблиця 12.1

Температура нагрівання, °С	Час витримки, хв		
	15	30	45
750	зразок № 1	зразок № 2	зразок № 3
800	зразок № 4	зразок № 5	зразок № 6
850	зразок № 7	зразок № 8	зразок № 9

Техніка нагрівання така: після досягнення заданої температури перший зразок витягається з печі через 15 хв, другий – через наступні 15 хв, третій – через наступні 15 хв. Охолодження зразків проводити на повітрі.

Після охолодження торцеві поверхні зразків зішліфувати за допомогою гліфувального круга на спеціальному станку, при цьому слід видалити шар у межах 1,5...2 мм. Приготувати мікрошліф та виконати його травлення в 4%-ному розчині азотної кислоти у спирті. Приготований мікрошліф вивчити під мікроскопом. Користуючись об'єкт-мікрометром, виміряти глибину обезвуглецювання. Структуру поверхневого шару замалювати у крузі діаметром 35...40 мм. Сформулювати висновки. Результати вимірювань записати в табл. 12.2

Таблиця 12.2

№ зразка	Температура нагрівання, °С	Тривалість витримки, хв	Глибина обезвуглецюваного шару	
			повне обезвуглецювання	загальна глибина
1	750	15		
2	750	30		
3	750	45		
4	800	15		
5	800	30		
6	800	45		
7	850	15		
8	850	30		
9	850	45		

За результатами вимірювань побудувати графіки залежності глибини обезвуглецювання від температури нагрівання при постійній витримці (три кривих) та терміну витримки при постійній температурі (ще три криві).

12.4 Зміст звіту

Звіт повинен містити: назву роботи, її мету, короткі теоретичні відомості, хід роботи, дані у вигляді табл.12.1 та 12.2, зарисовки мікроструктур, графіки, що характеризують залежність обезвуглецювання від температури і терміну витримки, висновки.

13 ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ТИПОВИХ ДЕТАЛЕЙ (ІНСТРУКТИВНІ МАТЕРІАЛИ)

13.1 Ціль практичних занять

Одержати навички розробки технології термічної обробки деталей та інструментів для забезпечення необхідних механічних властивостей, заданих технічними умовами креслення (завданням).

13.2 Зміст практичних занять

Індивідуальне завдання на практичну розробку технології термічної обробки складається з найменування деталі з вказівкою основних габаритних розмірів, необхідних для встановлення параметрів технології термічної обробки. Завдання включає також ряд вихідних даних (технічні умови креслення):

- матеріал деталі (марку сталі);
- масу деталі;
- необхідні механічні властивості.

При виконанні індивідуального завдання студент вирішує задачі, аналогічні розв'язуванню цеховими технологами термічних відділень ковальсько-пресових цехів чи термічних відділень.

13.3 Методика виконання практичного завдання (розробки технології термічної обробки)

Отримавши індивідуальне завдання необхідно:

1 Вивчити конфігурацію деталі, визначити найбільш важливі габаритні розміри, що впливають на процес нагрівання (діаметр перерізів, товщина стінок, довжина деталі, наявність різких переходів).

2 Ознайомитись з необхідними механічними властивостями.

3 Установити види попередньої термообробки: для заготовок з конструкційних сталей з врахуванням флокеночутливості і можливості обробки різанням, для заготовок з інструментальних сталей - з врахуванням можливості обробки різанням і підготовки структури до остаточної термічної обробки.

4 Установити вид остаточної термічної обробки для забезпечення потрібних механічних властивостей.

5 Розробити технологію попередньої і остаточної термічної обробки заданої деталі. Для вибору температурно-часових параметрів термообробки рекомендується використовувати керівні матеріали, викладені у методичному посібнику “Курс лекцій з дисципліни “Термічна обробка металів” в таблицях і схемах” (розділ “Металознавство”).

6 Розробити маршрут руху заготовки по цехах.

7 Представити у вигляді графіка з вказівкою температурно-часових параметрів для конкретно розроблюваної деталі розроблену технологію попередньої і остаточної термообробки, а також маршрутну технологію.

13.4 Зміст звіту

По кожній деталі, для якої розроблена технологія термічної обробки звіт повинен містити:

- ескіз деталі з вказівкою технічних умов;
- марку сталі з вказівкою вмісту основних елементів;
- технологію попередньої термообробки у вигляді графіка з вказівкою конкретних (для розроблюваної деталі) температурно-часових параметрів;
- обґрунтування обраної технології у вигляді короткого опису;
- технологію остаточної термообробки у вигляді графіка і її обґрунтування;
- маршрут руху заготовки, починаючи з заготівельного цеху;
- контроль якості;
- опис остаточної мікроструктури металу заготовки.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- 1 Новіков І. І. Теорія термічної обробки металів. - М.: Металургія, 1978. - 332 с.
- 2 Натанов Б. С. Термічна обробка металів. - Київ: Вища школа, 1980. - 287 с.
- 3 Гуляєв А. П. Металознавство. - 6 вид. - М.: Металургія, 1988. - 647 с.
- 4 Соколов К. Н., Коротич І. К. Технологія термічної обробки і проектування термічних цехів. — М.: Металургія. 1988, 384 с.

ЗМІСТ

1 Загальні положення	3
2 Лабораторна робота 1. Визначення аустенітного зерна в сталі	4
3 Лабораторна робота 2. Експериментальне визначення критичної швидкості гартування	9
4 Лабораторна робота 3. Визначення оптимальної температури гартування сталі	12
5 Лабораторна робота 4. Вплив попередньої термічної обробки на механічні властивості і мікроструктуру гарячодетформованої сталі	15
6 Лабораторна робота 5. Визначення прогартуваності сталі методом торцевого гартування	19
7 Лабораторна робота 6. Термічна обробка конструкційних сталей	23
8 Лабораторна робота 7. Структура і властивості поверхневих шарів деталей, підданих цементації	27
9 Лабораторна робота 8. Дослідження впливу рекристалізаційного відпалу на структуру і властивості холоднодетформованої вуглецевої сталі	29
10 Лабораторна робота 9. Ізотермічне гартування сталей	31
11 Лабораторна робота 10. Вплив температури відпуску на ударну в'язкість загартованої сталі.....	34
12 Лабораторна робота 11. Окислення та обезвуглецювання сталейних деталей при аустенітизації.....	36
13 Практичні заняття. Розробка технології термічної обробки типових деталей (інструктивні матеріали).....	39
Список рекомендованої літератури.....	41

Учбове видання

Методичні вказівки

до лабораторних робіт з курсу "ТЕРМІЧНА ОБРОБКА МЕТАЛІВ"

для студентів спеціальності 7.090403 "Ливарне виробництво"
та 7.090404 "Обробка металів тиском"

Укладачі: Белкін Михайло Якович,
Рульов Віктор Іванович

Редактор: Єршоміна Наталія Володимирівна

Формат 60x84/16. Офсетний друк.

Підп. до друку
Умов. друк. арк.

Облік.-вид.арк.

Тираж 50 прим.

Заказ №

ДДМА, 84313, м. Краматорськ, вул. Шкадинова, 72