

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА
ПЕРВОМАЙСЬКА ФІЛІЯ

В.Я. ОШОВСЬКИЙ

**МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО
ТА ТЕХНОЛОГІЯ
КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ
Лабораторний практикум**

Рекомендовано вченою радою ПФ НУК як навчальний посібник
для студентів вищих навчальних закладів

Первомайськ

2018

УДК 621.9(075.8)

ББК 34.1

О-96

Рекомендовано до друку вченою радою ПФ НУК, як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів, протокол № 6 від 20.03.2018 р.

Рецензенти: Ларшин В.П., д.т.н, проф. кафедри технології машинобудування
Одеського національного політехнічного університету;
Каіров О.С., д.т.н., проф. кафедри інженерної механіки та
технологій машинобудування Національного університету
кораблебудування ім. адмірала Макарова

Ошовський В.Я.

О-96 **Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів:
лабораторний практикум. – Первомайськ: ПФ НУК, 2018. – 192 с.**

Навчальний посібник підготовлений відповідно до робочих навчальних програм з дисципліни «Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів», затверджених вченою радою ПФ НУК

В практикумі наведені для кожної лабораторної роботи короткі теоретичні відомості, порядок виконання, форма звіту та контрольні питання. Приведені довідникові дані з урахуванням змін до стандартів та література.

Наведені методики дозволять студентам аналізувати властивості сплавів в залежності не тільки від їх складу, а й від мікроструктури, яка визначається відповідною термічною обробкою. Отримані навички можуть використовуватися з метою аналізу сплавів та їх вибору для конкретних деталей і інструменту з урахуванням експлуатаційних та інших вимог, а також при призначенні технологій виготовлення заготовок та деталей.

Практикум призначений студентам спеціальностей «Прикладна механіка», «Теплоенергетика» та «Енергетичне машинобудування» для підготовки до лабораторних робіт з дисципліни та їх виконання з метою кращого засвоєння теоретичного матеріалу та набуття практичних навичок дослідження і вибору матеріалів для деталей машин, а також для засвоєння основ щодо методів виготовлення заготовок і деталей. . Може бути корисним студентами інших спеціальностей при вивченні матеріалознавства та технології конструкційних матеріалів.

УДК 621.9 (075.8)

ББК 34.1

© Ошовський В.Я., 2018

© Національний університет
кораблебудування ім. адмірала
Макарова, 2018

© Первомайська філія НУК, 2018

Передмова

«Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів» віднесена до обов'язкових дисциплін освітніх програм навчання в галузі знань з механічної інженерії. В дисципліні вивчаються основи теорії про властивості і види машинобудівних матеріалів та відомості про технології виготовлення з них деталей машин з метою обґрунтованого їх вибору.

Так, необхідність вивчення матеріалознавства ґрунтується на тому, що призначаючи матеріал для виготовлення деталі треба враховувати його властивості на всіх процесах етапів його обробки від виробу металургійного виробництва до готової деталі – в технологіях виготовлення заготовки, обробки заготовки ріжучим інструментом, термічної обробки для підвищення оброблюваності та заданих механічних і експлуатаційних властивостей.

Деякі властивості залежать від складу сплаву, наприклад температура плавлення, критичні точки, за якими призначається термічна обробка, температури лиття або обробки тиском. Властивості матеріалу готової деталі в її об'ємі залежать не тільки від складу, а й від мікроструктури, яку можна змінювати термообробкою. В поверхневому шарі деталі можна змінювати не тільки мікроструктуру, а й склад, наприклад хіміко-термічною обробкою та цілим рядом інших сучасних методів підвищення зносостійкості, корозійної стійкості та ін.

Вивчення дисципліни передбачає виконання лабораторних робіт за основними розділами дисципліни.

Лабораторні роботи з дисципліни проводяться для того, щоб студенти придбали практичні навички визначення механічних властивостей металів і сплавів, методів макро- і мікроаналізу, призначення методів термічної обробки, визначення прогартуваності сталі, аналізу мікроструктури сталей вуглецевих і легованих (конструкційних, інструментальних, з особливими властивостями), кольорових сплавів.

В методичних вказівках до кожної лабораторної роботи приведені основні теоретичні відомості, які дають можливість студентам денної і особливо заочної форми навчання краще засвоїти теоретичний матеріал. Приведені також мета, устаткування, порядок виконання, фотографії мікроструктур, форма звіту, контрольні питання, література, довідникові дані.

Отримані навички можуть використовуватися для аналізу сплавів та їх вибору для конкретних деталей машин і інструменту за вихідними даними технологічних, механічних, експлуатаційних та інших вимог.

В практикумі приведені також методичні вказівки до лабораторних робіт з технологій лиття, обробки тиском, зварювання та обробки різанням. Кількість цих робіт обмежена з урахуванням того, що по цій тематиці роботи будуть проводитися у спеціальних дисциплінах професійного спрямування.

ВИЗНАЧЕННЯ ТВЕРДОСТІ МЕТАЛІВ ЗА МЕТОДОМ БРІНЕЛЛЯ

Мета роботи. Вивчення методики і придбання практичних навичок визначення твердості металів за методом Брінелля. Аналіз механічних властивостей сплавів.

Прилади, інструменти та матеріали. Твердоміри Брінелля марок ТШ і 2109ТБ, лупа для вимірювання діаметру відбитків, зразки сплавів, напилки.

1.1 Загальні відомості про твердість матеріалу деталей

Твердість – це здатність матеріалу чинити опір проникненню в нього іншого, твердішого тіла певної форми і розмірів (кульки, конуса та інших).

Чим більша твердість тим вища зносостійкість деталі, більша міцність та менша ударна в'язкість матеріалу деталі.

У відзнаку від випробування на розтяг визначення твердості не потребує виготовлення спеціальних зразків та їх руйнування, не приводить до пошкодження деталі. Тому в машинобудуванні твердість матеріалу вказують на кресленнях і в технологічних процесах та контролюють перед обробкою заготовок ріжучим інструментом та після термічної обробки деталей.

Твердоміри на машинобудівних підприємствах встановлюють на термічних ділянках механічних цехів.

1.2 Суть методу Брінелля

При визначенні твердості за методом Брінелля [3] у випробуваний матеріал втискується кулька діаметром D при навантаженні F (рис.1). Кулька проникає у матеріал залишаючи на поверхні сферичний відбиток діаметром d та глибиною h .

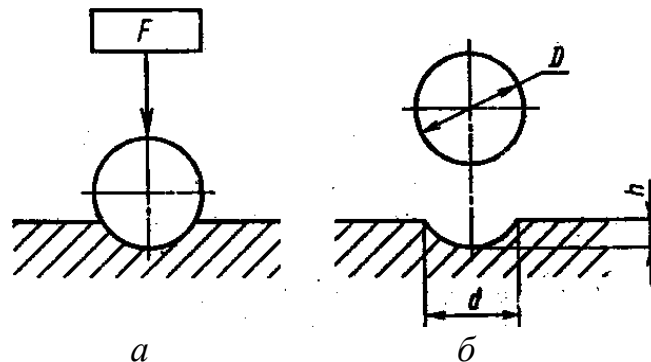


Рисунок 1.1 - Випробування за методом Брінелля:

a – схема; b – шарик і переріз відбитка, D – діаметр кульки, d – діаметр відбитка, h – глибина відбитка

Метод Брінелля був запропонований в 1900 році. За фізичною суттю число твердості за Брінеллем HB є відношенням діючої на кульку сили F (кгс) до площі S (мм²) отриманого сферичного відбитка (шарового сегмента)

$$HB = \frac{F}{S} \text{ кгс/мм}^2.$$

За ГОСТ 9012-59 зі змінами [3] кулька може бути *стальна* (символ твердості HB ; тут H - твердість, B - за Брінеллем) або з *твердого сплаву* (символ – HBW ; тут W – вольфрам, який міститься у вигляді карбіду в твердих інструментальних сплавах) та мати діаметр 10,0; 5,0; 2,5; 2,0; 1,0 мм.

Враховуючи, що в діючій системі вимірювання сила F виражена в Н, $1\text{Н}=0,102 \text{ кгс}$, та інші зміни [3], число одиниць твердості за Брінеллем

$$HB(HBW) = \frac{0,102F}{S}. \quad (1.1)$$

За фізичною суттю числа твердості HB і HBW мають розмірність кгс/мм². Але за стандартом розмірність не вказують. Площа поверхні сферичного відбитка у вигляді шарового сегмента

$$S = \pi D h \text{ мм}^2, \quad (1.2)$$

де D – діаметр кульки, мм;

h – глибина відбитка, мм.

При визначенні твердості простіше вимірювати діаметр відбитка d (мм). Якщо виразити глибину відбитка через d та D ,

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

і підставити в формулу (1.2), то площа відбитка

$$S = \frac{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}{2} \text{ мм}^2. \quad (1.3)$$

Підставимо в формулу (1.1) вираз (1.3), тоді *твердість за методом Брінелля*

$$HB(HBW) = \frac{0,102 \times 2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}. \quad (1.4)$$

1.3 Позначення твердості

Твердість за Брінеллем *позначають* символом HB (HBW), перед яким ставлять тризначне числове значення твердості, а після символу вказують, діаметр шарика, навантаження, і тривалість видержки, якщо вона відрізняється від 10...15 секунд. Приклади позначення [3]:

250 HB 5/750 - твердість за Брінеллем 250, визначена сталеву кулькою діаметром $D=5$ мм, при навантаженні $F=750$ кгс (7355 Н);
 575 HBW 2,5/187 – твердість за Брінеллем 575, визначена кулькою з твердого сплаву діаметром $D=2,5$ мм при навантаженні $F=750$ кгс (7355 Н).

При $D=10$ мм, $F=3000$ кгс (29420 Н) та видержці 10...15 секунд твердість позначають тільки числом і символом:

185 HB – твердість за Брінеллем 185, визначена сталеву кулькою;
 600 HBW – твердість за Брінеллем 600, визначена кулькою з твердого сплаву.

1.4 Визначення міцності за твердістю

За числом твердості Брінелля HB можна приблизно визначити границю міцності σ_m (без випробування на розтяг, тобто без виготовлення і руйнування зразка) з формули [12]:

$$\sigma_m \approx 9,81kHB \text{ МПа}, \quad (1.5)$$

де k – коефіцієнт пропорційності, визначений на основі досліджень, який має такі значення:

для сталі при HB<175 0,34;
 для сталі при HB>175 0,36;
 для алюмінію відпаленого 0,40;
 для дюралюмінію 0,37;
 для міді холоднокатаної 0,35;
 для міді відпаленої 0,48;

9,81 – урахує перевід одиниць вимірювання з кгс/мм² в МПа.

1.5 Підготовка до вимірювання твердості

ГОСТ 9012-59 [3] регламентує умови випробування - вибір навантаження F , діаметра кульки D , і видержки під навантаженням у секундах залежно від випробуваного матеріалу та його твердості і товщини таким чином.

Товщина зразка S , повинна не менш чим в 8 раз перевищувати глибину відбитка h :

$$S \geq 8h = \frac{0,102F}{\pi D \times HB(HBW)}.$$

При твердості металів менше 450 одиниць (незагартовані сталі, кольорові метали і сплави, не вибілені чавуни та ін.) для вимірювання твердості використовують сталеві кульки або кульки з твердого сплаву. При твердості більше 450 одиниць – тільки кульки з твердого сплаву.

Залежно від металу, що випробується, та його твердості з табл. 1.1 вибирають значення коефіцієнта K , який є відношенням сили втискування до квадрату діаметра кульки

$$K = \frac{0,102F}{D^2} \text{ Н/мм}^2.$$

Таблиця 1.1 - Вибір коефіцієнта K залежно від металу та його твердості

Матеріал	Твердість за Брінеллем	K
Сталь, чавун, високоміцні сплави (на основі нікелю, кобальту та ін.)	До 140	10
	140 і більше	30
Титан і сплави на його основі	Від 50	15
Мідь і сплави на її основі, легкі метали та їх сплави	Менше 35	5
	Від 35	10
Підшипникові сплави	Від 8 до 50	2,5
Свинець, олово та інші м'які метали	До 20	1

Силу F визначають залежно від значення K та діаметру кульки D за табл. 1.2.

Таблиця 1.2 - Залежність сили F від значення K та діаметру кульки D

Діаметр кульки D , мм	Сила F , Н (кгс), для K					
	30	15	10	5	2,5	1
1,0	294,2 (30)	-	98,07 (10)	49,03 (5)	24,52 (2,5)	9,807 (1)
2,0	1177 (120)	-	392,3 (40)	196,1 (20)	98,07 (10)	39,23 (4)
2,5	1839 (187,5)	-	612,9 (62,5)	306,0 (31,2)	153,0 (15,6)	60,80 (6,2)
5,0	7355 (750)	-	2452 (250)	1226 (125)	612,9 (62,5)	245,2 (25)
10,0	29420 (3000)	14710 (1500)	9807 (1000)	4903 (500)	2452 (250)	980,7 (100)

Діаметр отриманого відбитка повинен бути в межах $0,24...0,6D$, а тривалість видержки кульки під дією сили F повинна відповідати табл. 1.3.

Таблиця 1.3 - Тривалість видержки кульки під дією сили залежно від твердості

Твердість за Брінеллем HB, HBW	Тривалість видержки, с
До 10	180
Вище 10 до 35	120
Вище 35 до 100	30
Вище 100	10...15

1.6 Конструкції твердомірів і випробування на твердість

Конструктивна схема *твердоміра марки ТШ* приведена на рис. 1.2. Навантаження на кульку 18 передається від вантажів 4 через систему важелів 6 і 10. Вантажі 4 дозволяють створювати навантаження згідно табл. 1. Важіль 6 правим кінцем шарнірно закріплений на осі 16 і за допомогою серги 9 з'єднаний з малим важелем 10, на якому закріплені призми 8 і 12. Призма 8 з'єднана з сергою 9, призма 12 впирається в жорстко закріплену на корпусі приладу подушку 11, а призма, що розміщена всередині малого важеля 10, впирається в подушку, яка запресована у верхній кінець штока 14. Шток 14 притискається до призми малого важеля 10 пружиною 15. На нижньому кінці штока 14 кріпиться оправка з кулькою 18.

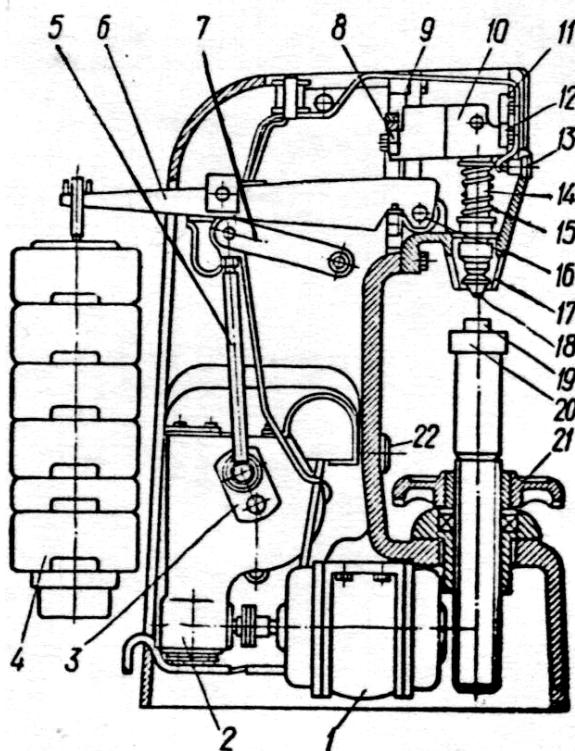


Рисунок 1.2 - Твердомір марки ТШ

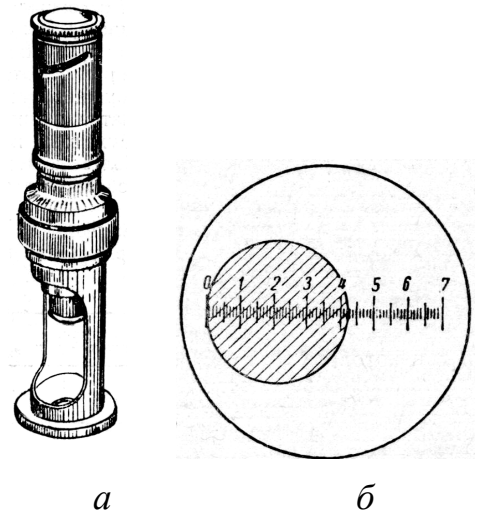


Рисунок 1.3 - Вимірювання діаметру відбитка: а – лупа; б – схема вимірювання

За методом Брінелля сталюну кульку втискають у матеріал, що випробується повільно. Для випробування зразок 19 ставлять на столик 20. Поворотом маховика 21 за напрямком руху годинникової стрілки зразок 19 притискають до кульки 18, стискаючи пружину 15 надіту на шток 14 до торкання зразка до обмежника 17. При вмиканні кнопки 22 електродвигун 1 через редуктор 2 приводить в рух кривошип 3, який повертається проти напрямку руху годинникової стрілки. Кривошип 3 опускає шатун 5 і лівий кінець коромисла 7. При опусканні коромисла 7 опускається важіль 6, що опирається на нього через ролик і вантажі 4 плавно передають навантаження

через важелі 6 і 10 на кульку 18. З кривошипом 3 механічно з'єднаний автоматичний перемикач фаз електрообмотки статора електродвигуна, який після прикладання навантаження і видержки під навантаженням автоматично змінює напрямок обертання вала двигуна 1. Коромисло 7 піднімає важіль 6, навантаження знімається і електродвигун автоматично вимикається. Маховик 21 повертають проти годинникової стрілки і зразок знімають зі столика.

Твердомір марки 2109ТБ у відзнаку від ТШ має стрілочний індикатор, за показниками якого можна розбракувати вироби на групи твердості: “Більше”, “Норма”, “Менше” [2].

При визначенні твердості пластмас треба враховувати величину пружної деформації, яка виникає після зняття навантаження. Тому доцільніше вимірювати величину заглиблення кульки h при незнятому навантаженні (на приладах зі стрілочним індикатором) і визначати твердість за формулою (1.1).

1.7 Визначення твердості після випробування

Діаметр відбитка отриманий при випробуванні вимірюють за допомогою мікроскопа або спеціальної лупи в двох взаємно перпендикулярних напрямках (діаметри d_1 і d_2 , мм) з погрішністю до $\pm 0,25\%$ від діаметра кульки (при $D=10$ і $5,0$ мм), і до $\pm 0,5\%$ (при $D=2,5$; $2,0$ і $1,0$ мм). Так, для кульки діаметром 10 мм допустима погрішність 0,025 мм.

За діаметр відбитка d приймається середнє арифметичне значення результатів вимірювання, тобто $d = (d_1 + d_2)/2$.

Спеціальна лупа (рис. 3, а), має шкалу з ціною поділки 0,1 або 0,05 мм. Лупу отвором в нижній опорній частині щільно прикладають до відбитка. Боковий виріз лупи повертають до світла. Середнім барабаном лупи регулюють різкість відбитка, а верхнім кільцем і окуляром – положення і різкість шкали. Лупу встановлюють на поверхні зразка таким чином, щоб нуль шкали став на краю відбитка і вимірюють діаметр (рис. 3, б).

Твердість визначають за діаметром відбитку d з таблиць ГОСТ 9012-59 [3] або за формулою (1.4). При діаметрі кульки $D=10$ мм і навантаженні $F = 29430$ Н (3000 кгс) твердість приведена нижче, в табл. 1.4.

1.8 Порядок виконання роботи

1. Вивчити суть визначення твердості за методом Брінеля. Ознайомитись з будовою та принципом дії преса Брінелля.
2. Ознайомитись з підготовкою до випробування та методикою вимірювання твердості за методом Брінелля.
3. Виконати випробування заданих зразків та визначити їх твердість за формулою і таблицею, визначити приблизно границю міцності зразків.
4. В процесі виконання роботи оформити звіт (форма приведена на с. 10).
5. У висновку проаналізувати можливості методу в порівнянні з випробуванням на розтяг, та отримані результати.

Таблиця 1.4 - Твердість за Брінеллем при діаметрі кульки $D = 10$ мм, випробуваному навантаженні $F = 29430$ Н (3000 кгс) та $K = 30$ [3]

d , мм	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
2,40	653	648	643	637	632	627	621	616	611	606
2,50	601	597	592	587	582	578	573	569	564	560
2,60	555	551	547	543	538	534	530	526	522	518
2,70	514	510	507	503	499	495	492	488	485	481
2,80	477	474	471	467	464	461	457	454	451	448
2,90	444	441	433	435	432	429	426	423	420	417
3,00	415	412	409	406	404	401	398	395	393	390
3,10	388	385	383	380	378	375	373	370	368	366
3,20	363	361	359	356	354	352	350	347	345	343
3,30	341	339	337	335	333	331	329	326	325	323
3,40	321	319	317	315	313	311	309	307	306	304
3,50	302	300	298	297	295	293	292	290	288	286
3,60	285	283	282	280	278	277	275	274	272	271
3,70	269	268	266	265	263	262	260	259	257	256
3,80	255	253	252	250	249	248	246	245	244	242
3,90	241	240	239	237	236	235	234	232	231	230
4,00	229	228	226	225	224	223	222	221	219	218
4,10	217	216	215	214	213	212	211	210	204	208
4,20	207	205	204	203	202	201	200	199	193	198
4,30	197	196	195	194	193	192	191	190	189	188
4,40	187	186	185	185	184	183	182	181	180	179
4,50	179	178	177	176	175	174	174	173	172	171
4,60	170	170	169	168	167	167	166	165	164	164
4,70	163	162	161	161	160	159	158	158	157	156
4,80	156	155	154	154	153	152	152	151	150	150
4,90	149	148	148	147	146	146	145	144	144	143
5,00	143	142	141	141	140	140	139	138	138	137
5,10	137	136	135	135	134	134	133	133	132	132
5,20	131	130	130	129	129	128	128	127	127	126
5,30	126	125	125	124	124	123	123	122	122	121
5,40	121	120	120	119	119	118	118	117	117	116
5,50	116	115	115	114	114	114	113	113	112	112
5,60	111	111	110	110	110	109	109	108	108	107
5,70	107	107	106	106	105	105	105	104	104	103
5,80	103	103	102	102	101	101	101	100	99,9	99,5
5,90	99,2	98,8	98,4	98,0	97,7	97,3	96,9	96,6	96,2	95,9
6,00	95,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Приклад користування таблицею. Діаметр відбитку $d=4,26=4,20+0,06$. У лівому вертикальному рядку находимо 4,20, у верхньому 0,06. Твердість вказана в комірці проти цих чисел, 200 НВ.

1.9 Форма звіту

Лабораторна робота №1

ВИЗНАЧЕННЯ ТВЕРДОСТІ МЕТАЛІВ ЗА МЕТОДОМ БРІНЕЛЛЯ

Мета роботи. Вивчення методики та придбання практичних навичок визначення твердості металів за методом Брінелля. Використання методу для аналізу механічних властивостей сплавів.

Прилади, інструменти та матеріали. Твердоміри Брінелля марок ТШ та 2109ТБ, лупа для вимірювання діаметру відбитків, зразки сплавів, напилок.

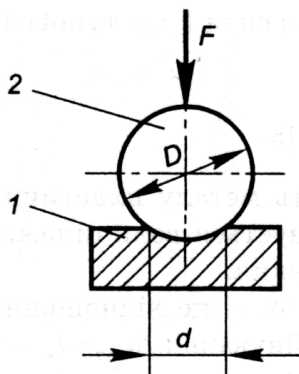


Рисунок 1 - Схема випробування

Формула, що пояснює фізичну суть методу

Формула для визначення числа твердості (1.4)

Марка приладу, на якому визначалась твердість

Матеріал, товщина (мм) і обробка поверхні зразка, що випробується

Матеріал кульки

діаметр кульки $D =$ мм.

З таблиці 1.1 вибираємо коефіцієнт $K =$.

З таблиці 1.2 сила навантаження на кульку $F =$ Н ($\quad$ кгс).

З таблиці 1.3 тривалість видержки наконечника під дією заданої сили $\quad$ с.

Діаметр відбитку, отриманий при випробуванні

$d_1 =$ мм, $d_2 =$ мм, середнє значення $d = (d_1 + d_2)/2 =$ мм.

По значенню $d =$ мм при вибраних D і F визначаємо з табл. 1.4 твердість зразка: $\quad$ HB.

Визначаємо границю міцності зразка за формулою (1.5)

$$\sigma_m \approx 9,81kHB,$$

де k – коефіцієнт пропорційності. Для матеріалу зразка “ $\quad$ ”, в межах твердості $HB < (>) \quad$, $k =$;

тоді границя міцності $\sigma_m \approx 9,81 \times \quad \times \quad =$ МПа.

Висновок. Аналіз методу та отриманих результатів.

Контрольні питання

1. Що таке твердість металу?
2. Як залежать границя міцності та ударна в'язкість від твердості?
3. Які переваги випробування на твердість перед випробуванням на міцність?
4. На яких етапах виробництва деталей використовують випробування на твердість?
5. В чому суть випробування на твердість за методом Брінелля?
6. В чому фізична суть числа твердості за Брінеллем?
7. Які наконечники використовують при випробуванні твердості за методом Брінелля?
8. Як позначають числа твердості за Брінеллем?
9. Що таке границя міцності? Яка приблизна залежність границі міцності від твердості для сталі?
10. Який порядок визначення твердості за методом Брінелля?
11. Яка загальна будова преса Брінелля?
12. В чому особливість визначення твердості пластмас?

ВИЗНАЧЕННЯ ТВЕРДОСТІ МЕТАЛІВ ЗА МЕТОДОМ РОКВЕЛЛА

Мета роботи. Вивчення методики та придбання практичних навичок визначення твердості металів за методом Роквелла; аналіз залежності між твердістю за Роквеллом та твердістю за Брінеллем і границею міцності для загартованих сталей.

Прилади та матеріали. Твердоміри Роквелла марок ТК, ТР-2109, зразки загартованих сталей різної твердості, шліфувальний папір.

2.1 Загальні відомості про високу твердість та її випробування

Висока твердість в об'ємі надає стальним деталям і ріжучому інструменту міцності, а в поверхневому шарі - зносостійкості. Стальні деталі спочатку для отримання достатньої міцності і в'язкості в об'ємі піддають об'ємному гартуванню і високому відпусканню, а потім, якщо є поверхні тертя, то їх для зносостійкості піддають поверхневому гартуванню і низькому відпусканню для отримання найвищої твердості.

Контролюють твердість загартованих сталей в основному методами Роквелла або Віккерса (втискується відповідно – конус або чотиригранна піраміда). Вибирають метод залежно від товщини шару матеріалу, що випробується, допустимості розмірів відбитку для даної поверхні та наявності твердоміра відповідного типу.

Слід відзначити, що прилад Віккерса значно складніший і дорожчий, має вмонтований мікроскоп, і тому використовується рідко. Для контролю твердості сталей після гартування і відпускання в машинобудуванні широке використання знайшли твердоміри Роквелла.

Переваги методу Роквелла. Вимірювання твердості за Роквеллом є зручнішим, бо операції втискання й вимірювання виконуються з одного встановлення, тривалість їх не перевищує 1 хв, зникає необхідність замірювати розміри відбитків (число твердості показує стрілка приладу на шкалі індикатора). Відбитки, що залишаються, незначні (в порівнянні від методу Брінелля), а після відповідної ручної обробки не впливають на якість навіть відповідальних з'єднань.

2.2 Суть методу Роквелла і позначення чисел твердості

За методом Роквелла [4] в поверхню випробуваного зразка (виробу) підвищеної твердості втискають алмазний конус (шкали С і А), а при невисокій твердості - сталеву кульку (шкала В). При послідовній дії попередньої сили F_0 і основної сили F_1 вимірюють індикатором остаточне збільшення e глибини проникнення наконечника після зняття основної сили F_1 (рис. 2.1).

Шкала індикатора (рис. 2.3) має поділки ціною 0,002 мм, що відповідає прийнятій одиниці твердості. Але шкала нанесена таким чином. Позначка “С0” відповідає рівню відліку 100 на шкалі твердості (рис. 2.1 д). На “С0” стрілка ставиться при проникненні конуса на глибину h_0 під дією попередньої сили F_0 (рис. 2.3, б). При дії загальної сили $F_0 + F_1$ стрілка відхиляється і показує в числах твердості величину h , яка враховує не тільки поглиблення, а й пружні деформації випробуваного матеріалу та деталей приладу (рис. 2.1, в). Для усунення впливу останніх на показники індикатору сила F_1 знімається. Після зняття F_1 і залишенні F_0 стрілка на “С0” не повертається і показує в числах твердості заглиблення e конуса (рис. 2.1, г), яке утворилося від дії сили F_1 . Чим більша твердість тим менша величина заглиблення e .

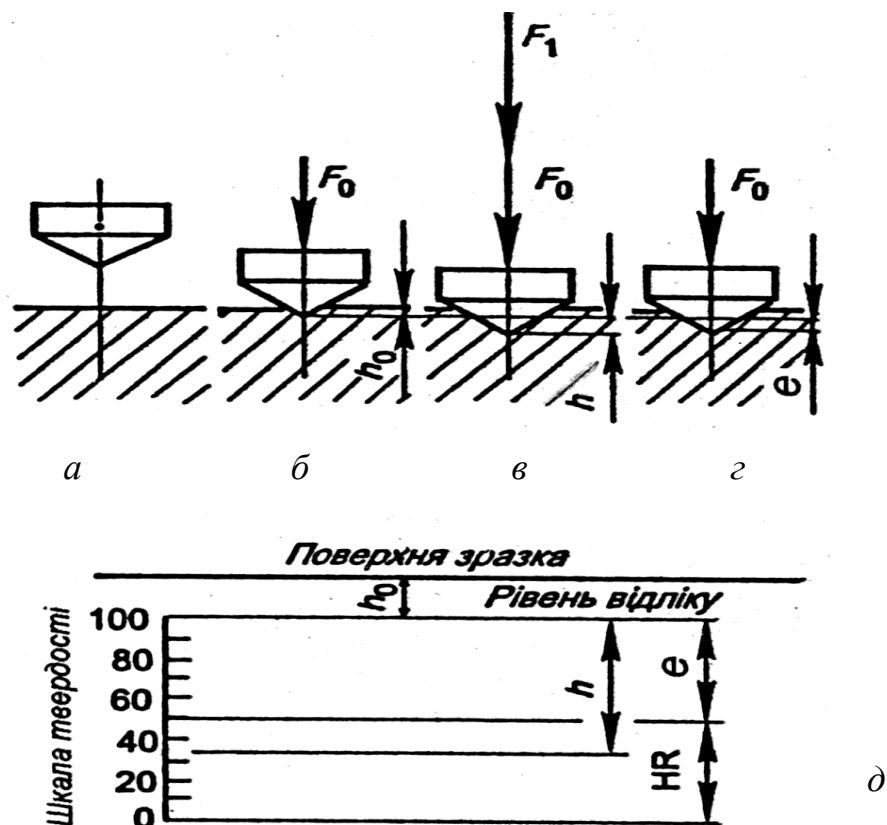


Рисунок 2.1 - Схема вимірювання твердості конусом (а-г) та визначення твердості HRC(A) за шкалою 100...0 (д):

- а – положення конуса до випробування;
- б – заглиблення конуса до рівня відліку h_0 під дією попередньої сили $F_0 = 98 \text{ Н}$ (10 кгс);
- в - заглиблення h конуса під дією сил попередньої F_0 та основної F_1 ;
- г – заглиблення $e < h$ конуса після зняття F_1 , під дією F_0 ;
- д – принципова схема визначення твердості $\text{HR}(\text{C}, \text{A}) = 100 - e$

За ГОСТ 9013-59 число твердості HRC(A, B) визначається таким чином:

- при випробуванні конусом (рівень відліку – 100):

а) по шкалі С, сила $F_0 + F_1 = 1471 \text{ Н}$ (150 кгс), $\text{HRC} = 100 - e$;

б) по шкалі **A**, сила $F_0 + F_1 = 588 \text{ Н}$ (60 кгс), **HRA**=100-*e* ;
-при випробуванні сталеною кулькою (рівень відліку 130):

в) по шкалі **B**, сила $F_0 + F_1 = 981 \text{ Н}$ (100 кгс), **HRB**=130-*e* .

Твердість за Роквеллом позначають цифрами, що характеризують величину твердості, та літерами HR з вказівкою шкали твердості. Наприклад: 61 HRC (твердість 61, шкала C). В позначеннях *H* - твердість; *R* - за Роквеллом; *C*, *A*, *B* – шкали твердості при дії відповідної сили $F_0 + F_1$.

Алмазний конус має кут при вершині 120°С і радіус закруглення 0,2 мм. Іноді замість алмазного використовують твердосплавний конус. Твердість HR(C, A) визначається по зовнішній чорній шкалі (C, A) індикатора (рис. 2.3).

Метали невисокої твердості випробують сталеною загартованою кулькою $\varnothing 1,588 \text{ мм}$. Твердість HRB визначається по внутрішній червоній шкалі (B) індикатора.

2.3 Використання методу

Наконечник і діючу на нього загальну силу вибирають залежно від твердості металу або сплаву:

- алмазний конус і силу 1471 Н (150 кгс) - для випробування загартованих сталей. Числа твердості визначають по шкалі C. Допустимі границі визначення твердості 22...68 HRC. При твердості до 50 HRC можна використовувати конус з твердого сплаву;
- алмазний конус і силу 588 Н (60 кгс) - для випробування твердих сплавів. Числа твердості визначають по шкалі A. Допустимі границі визначення 70...85 HRA;
- кулька і силу 981 Н (100 кгс) - для випробування незагартованих сталей та кольорових сплавів. Числа твердості визначають по шкалі B. Допустимі границі визначення 25...100 HRB.

В основному ж випробування на твердість за методом Роквелла широко використовують для контролю механічних властивостей сталених деталей і інструменту після гартування і відпускання або поверхневої обробки завдяки простоті, швидкості та малого пошкодження поверхні. Результати випробування порівнюють з заданою твердістю. При невідповідності можна скорегувати режим термічної обробки.

Товщина зразка або глибина поверхневого шару, що випробується повинна бути не менш чим у 8 раз більше величини *e*.

2.4 Визначення твердості на приладах Роквелла

Твердість за Роквеллом визначають на спеціальних приладах – твердомірах Роквелла. На рис. 2.2 приведена конструктивна схема твердоміра типу ТК. Число твердості при випробуванні знаходиться безпосередньо на стрілочному індикаторі твердоміра (рис. 2.3) за такою методикою.

Зразок чи деталь (виріб) кладуть на предметний столик 11 (рис. 2.2.) Штурвалом 12 піджимають виріб до наконечника 10, таким чином, щоб стрілки індикатора (рис. 2.3 а) – мала 3 і велика 1 з початкового положення повернулися приблизно вгору (рис. 2.3, б - мала стрілка показує на точку). Рухомим ободком індикатора 7 (рис. 2.2) шкалу встановлюють позначкою С0 (рис. 2.3 в) проти великої стрілки. Таке положення індикатора відповідає силі навантаження наконечника $F_0 = 98 \text{ Н}$ при його поглибленні на величину h_0 , тобто до рівня відліку 100 (рис. 2.1, д). Це необхідно для встановлення певного зусилля дотику спражених деталей у ланцюзі виріб-наконечник-індикатор.

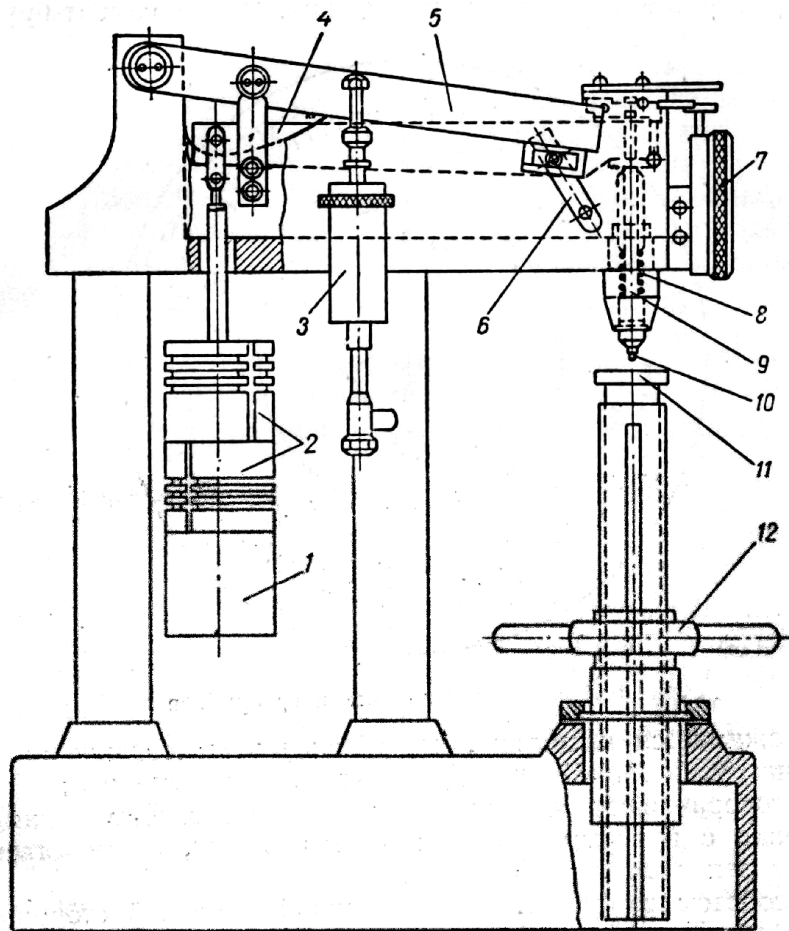


Рисунок 2.2 - Твердомір типу ТК: 1, 2 – гирі; 3 – амортизатор; 4, 5 – важелі; 6 – рукоятка; 7 – індикатор; 8 – пружина; 9 – шток; 10 – наконечник; 11 – предметний столик; 12 – штурвал

Для прикладання загальної сили $F_0 + F_1 = 1471 \text{ Н}$ (або 588 Н; 981 Н) повертають рукоятку 6 (рис. 2.2) “від себе”. Гирі 1, 2 тягнуть вниз важіль 4, який опускається плавно з-за дії масляного амортизатора 3. Малим плечем відносно осі важіль натискає на шток 9 з закріпленим в ньому наконечником 10. Стрілка індикатора, зв’язаного зі штоком обертається, урахувуючи не тільки поглиблення наконечника, а й пружні деформації деталей ланцюга виріб-наконечник-індикатор. Щоб деформації деталей не враховувалися

основну силу F_1 знімають через 2 секунди після різкого уповільнення руху стрілки індикатора повертаючи рукоятку 6 “до себе”. Під дією пружини 8 (сила $F_0=98$ Н) наконечник остається в утвореному від дії сили F_1 поглибленні на глибині e від рівня відліку (рис.2.1, г, д). Велика стрілка на С0 не повертається і показує на шкалі “С” число твердості HRC (рис. 2.3, г).

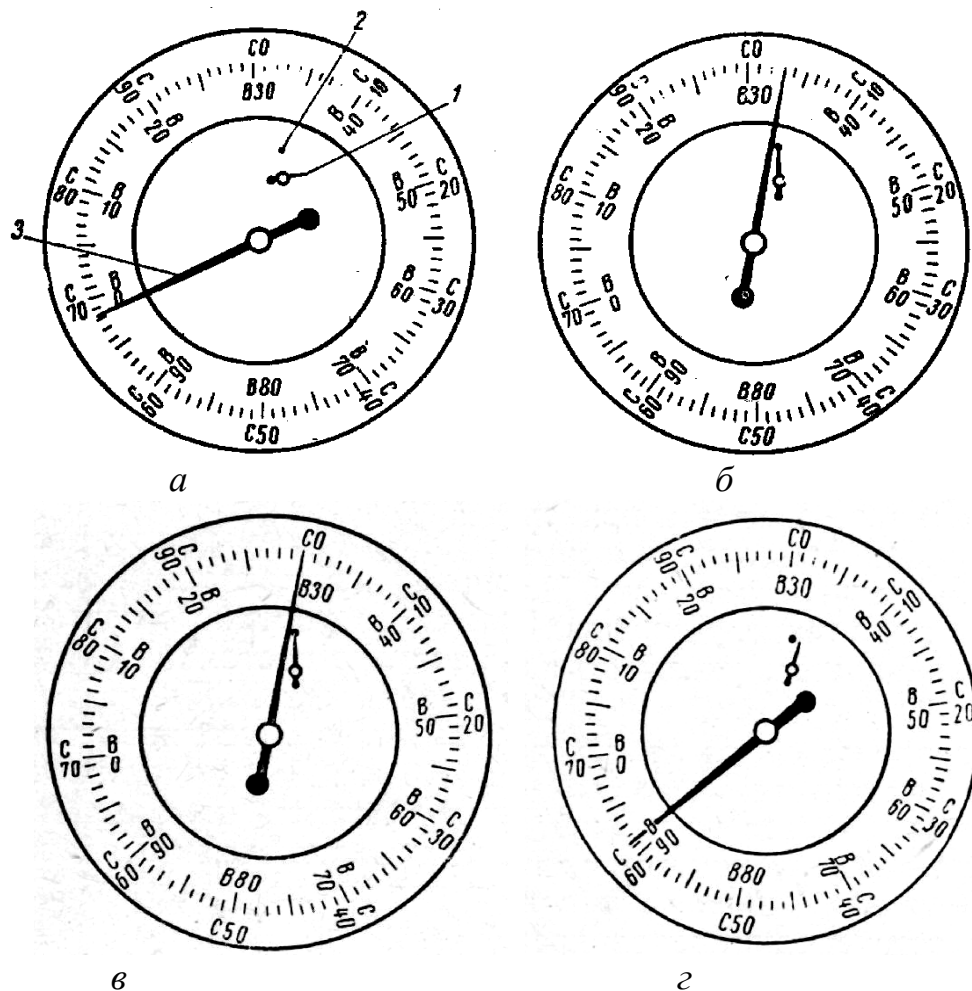


Рисунок 2.3 - Індикатор: а – початкове положення стрілок індикатора; б – стрілки підведені штурвалом приладу у верхнє положення, що відповідає попередньої сили F_0 ; в – рухома шкала підведена позначкою “C0” до великої стрілки; г – після дії загальної сили $F_0 + F_1$ і зняття основної сили F_1 велика стрілка показує твердість 61,4 HRC

Для визначенні твердості м’яких матеріалів, вдавллюванням шарика при дії загальної сили 981 Н (100 кгс), використовується аналогічно червона (внутрішня) шкала “В” індикатора.

2.5 - Динамічні мікропроцесорні твердоміри

Вимірювання твердості крупних виробів на звичайних твердомірах потребує вирізування зразка, що пошкоджує виріб.

Науково-виробничою фірмою “Ультракон-Сервіс” розроблені динамічні мікропроцесорні переносні твердоміри ТДМ-1 та ТДМ-2 (рис. 2.4), які дозволяють вимірювати твердість виробів масою не менше 3 кг за пружними властивостями матеріалу [5]. Вимірювати твердість можна в лабораторних,

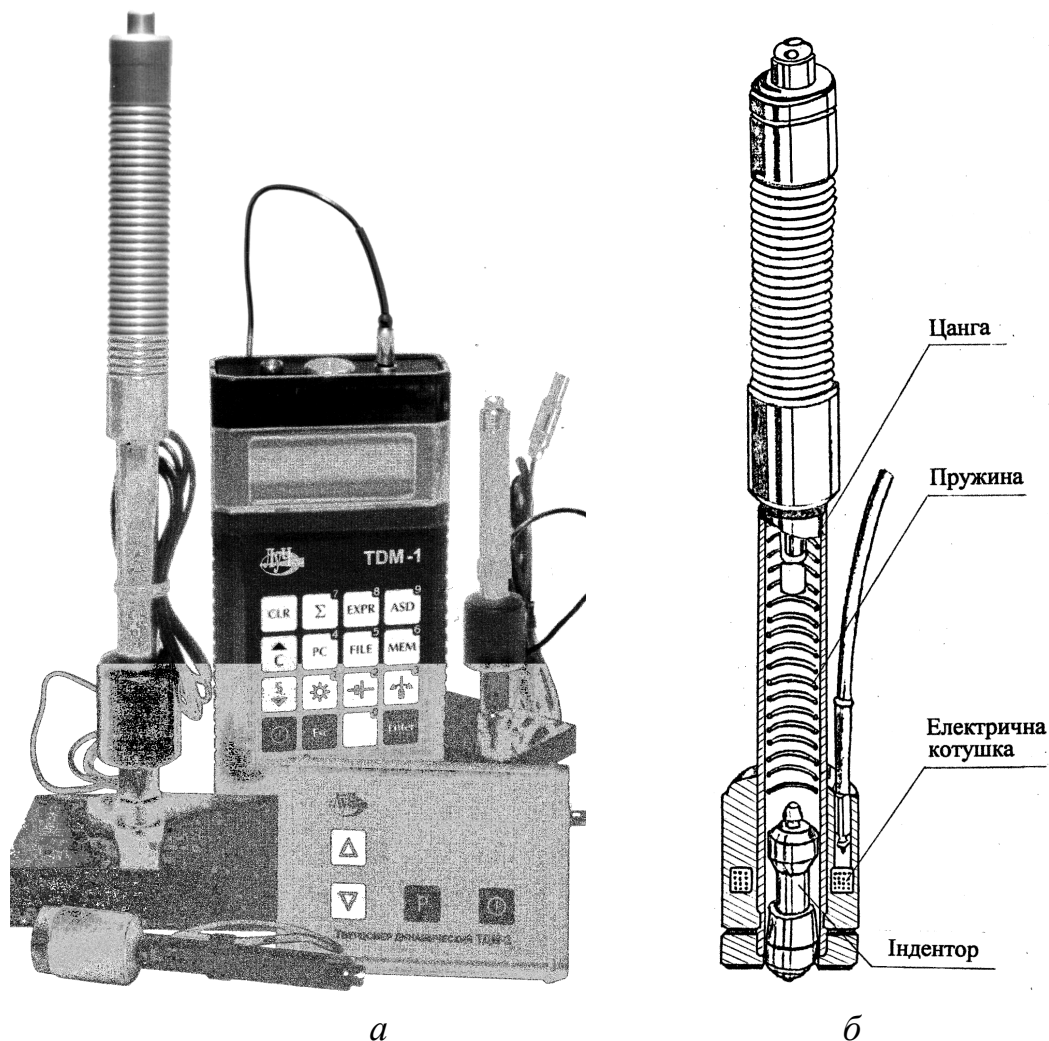


Рисунок 2.4 - Динамічні мікропроцесорні переносні твердоміри ТДМ-1, ТДМ-2:
а - зовнішній вигляд; *б* - конструктивна схема механічного перетворювача

цехових та польових умовах. Принцип дії твердомірів ТДМ оснований на вимірюванні відношення швидкостей індентора при його падінні на випробувану поверхню та відскоку від неї. Твердомір ТДМ-1 може вимірювати твердість за методами Роквелла, Брінелля, Віккерса та іншими, твердомір ТДМ-2 – за методами Роквелла та Брінелля.

В зв'язку з тим, що визначення твердості за пружними властивостями матеріалу є не прямим методом випробування, твердоміри ТДМ мають режим калібрування за твердістю 2...9 зразкових мір твердості. Вмонтована мікро-ЕОМ будує в пам'яті калібровочну криву, за якою прилад вимірює твердість і видає її на рідкокристалічний або світлодіодний цифровий індикатор.

Твердоміри ТДМ складаються з механічного перетворювача, електронного блоку та зарядного пристрою.

Механічний перетворювач (рис. 2.4, а) складається з індентора, в якому закріплена твердосплавна кулька, пружини, цангового спускового механізму, що утримує наконечник, та електричної котушки. При натисканні на спускову кнопку цанга відпускає наконечник і він під дією пружини кидається на випробувану поверхню. В осередку індентора є постійний магніт, поле якого перетинає витки котушки і в ній наводиться електрична напруга, пропорційна швидкості руху наконечника.

Електронний блок підсилює електричні сигнали, залежні від швидкості кидання наконечника на випробувану поверхню та швидкості його відскоку. Мікро-ЕОМ побудована на базі швидкодіючого процесора фірми INTEL обробляє сигнали і видає на індикатор цифрове значення твердості як функцію відношення двох швидкостей наконечника.

2.6 Порядок виконання роботи

1. Вивчити принцип визначення твердості за Роквеллом, використання методу, позначення чисел твердості, порядок визначення твердості.
2. Зарисувати схему випробування з приведенням формул, пояснюючих метод визначення твердості.
3. Вказати марку твердоміра. Для випробуваного зразка вказати матеріал, вибраний тип наконечника та загальну діючу силу.
4. Визначити твердість HRC для заданих зразків. Твердість визначається, як середнє значення трьох випробувань, починаючи з четвертого (перші три випробування дають велику погрішність). Результати оформити у вигляді табл. 2.1 звіту.
5. Для визначених випробуванням чисел твердості за Роквеллом по табл. 2.3 знайти відповідні числа твердості за Брінеллем HB. Вихідні дані і результати подальших досліджень механічних характеристик зразків внести у табл. 2.2 звіту.
6. Визначити коефіцієнти k_1 переводу чисел HRC в числа HB для заданих зразків.
7. За формулою $\sigma_m = 3,6HB$ (МПа) знайти границі міцності зразків.
8. Визначити коефіцієнти k_2 переводу HRC в σ_m для заданих зразків.
9. Визначити середній коефіцієнт k_1 та скласти формулу $HB=f(HRC)$ для інтервалу чисел випробуваної твердості.
10. Визначити середній коефіцієнт k_2 та скласти формулу залежності границі міцності від твердості за Роквеллом $\sigma_m = f(HRC)$ для інтервалу чисел випробуваної твердості.
11. Висновок. Проаналізувати метод Роквелла та отримані результати випробування в порівнянні з методом Брінелля і результатами отриманими в попередній роботі.

2.7 Форма звіту

Лабораторна робота №2

ВИЗНАЧЕННЯ ТВЕРДОСТІ МЕТАЛІВ ЗА МЕТОДОМ РОКВЕЛЛА

Мета роботи. Вивчення методики та придбання практичних навичок визначення твердості металів за методом Роквелла; аналіз залежності між твердістю за Роквеллом та твердістю за Брінеллем і границею міцності.

Прилади та матеріали. Твердоміри Роквелла марок ТК, ТР-2109, зразки загартованих сталей різної твердості, шліфувальний папір.

Схема, що пояснює суть визначення твердості за методом Роквелла.

Марка приладу, на якому вимірювалася твердість _____.

Матеріал зразка _____. Наконечник _____.

Загальна сила навантаження $F_0 + F_1 =$ _____. Шкала твердості _____.

Результати випробування заносимо в табл. 2.1 (перші три випробування після встановлення наконечника є пробними, тому не занесені в таблицю)

Таблиця 2.1 Результати визначення твердості за Роквеллом

Зразок №	Результати випробування, HRC			Середнє значення, HRC
	4-е	5-е	6-е	

Числа твердості за Роквеллом (HRC) переводимо по табл. 2.3 у відповідні числа твердості за Брінеллем (HB) і вносимо їх у табл. 2.2.

Таблиця 2.2 Результати аналізу твердості та міцності зразків

Зразок №	HRC	HB	k_1	$\sigma_m = 3,53HB$, МПа	k_2

Визначаємо коефіцієнт переводу чисел HRC в числа HB в інтервалі чисел випробуваної твердості, $k_1 = HB/HRC$.

За формулою (1.5) попередньої роботи визначаємо границю міцності матеріалу зразка: $\sigma_m = 3,53HB$, МПа.

Визначаємо коефіцієнт переводу HRC в границю міцності σ_m для чисел випробуваної твердості: $k_2 = \sigma_m / HRC$. Результати розрахунків заносимо в табл. 2.2.

Визначаємо середній коефіцієнт k_2 для випробуваних зразків та приблизну формулу залежності границі міцності σ_m від твердості HRC

$$\sigma_m = k_2 \times HRC = ___\times HRC \text{ МПа.}$$

Висновок. Аналіз методу та отриманих результатів.

2.8 Порівняння чисел твердості, визначених різними методами

Порівняння чисел твердості, визначених різними методами, приведено в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 - Порівняння чисел твердості Брінелля HB та Роквелла HR(C,A,B)

HB	HRC	HRA	HB	HRC	HRA	HRB
780	72	89	262	27	64	-
745	70	87	255	26	64	-
712	68	86	248	25	63	-
682	66	85	241	24	63	100
653	64	84	235	23	62	99
627	62	83	228	22	62	98
601	60	82	223	21	61	97
578	58	81	217	20	61	97
555	56	79	212	19	60	96
534	54	78	207	18	60	95
514	52	77	202	16	59	94
495	50	76	196	15	58	93
477	49	76	192	-	58	92
461	48	75	187	-	57	91
444	46	74	183	-	56	89
429	45	73	179	-	56	88
415	44	72	174	-	55	87
409	43	72	170	-	-	86
401	42	71	166	-	-	85
388	41	71	163	-	-	84
375	40	70	159	-	-	83
363	39	70	156	-	-	82
352	38	69	153	-	-	81
341	37	68	149	-	-	80
331	36	68	146	-	-	79
321	35	67	143	-	-	78
311	34	67	140	-	-	77
302	33	67	137	-	-	76
293	31	66	134	-	-	74
286	30	66	131	-	-	72
277	29	65	128	-	-	71
269	28	65	126	-	-	70

Контрольні питання

1. Якими основними методами випробують на твердість матеріали підвищеної твердості?
2. Які наконечники втискаються у випробуваний матеріал за методами Роквелла і Віккерса?
3. Які переваги методу Роквелла порівняно з методом Брінелля?
4. В чому суть методу Роквелла?
5. У яких випадках найчастіше використовується випробування на твердість за Роквеллом?
6. Від якого геометричного параметру випробування залежать показники твердості на індикаторі приладу Роквелла?
7. За якою залежністю (формулою) визначається число твердості за Роквеллом по шкалам С і А?
8. При яких умовах використовують числа твердості HRC?
9. При яких умовах використовують числа твердості HRA?
10. При яких умовах використовують числа твердості HRB?
11. Який порядок випробування на твердомірі Роквелла?
12. Які наконечники і діючі сили використовують при випробуваннях за Роквеллом?
13. Яке приблизне співвідношення чисел твердості Брінелля і Роквелла?
14. Як визначити приблизне значення границі міцності за числом твердості Роквелла?
15. Який принцип дії динамічних мікропроцесорних твердомірів?
16. За допомогою чого калібрують динамічні мікропроцесорні твердоміри?
17. Якої найменшої маси вироби можна випробувати на твердомірах ТДМ?
18. В чому переваги і недоліки твердомірів ТДМ, порівняно зі звичайними?

Лабораторна робота №3

ВИЗНАЧЕННЯ УДАРНОЇ В'ЯЗКОСТІ МЕТАЛІВ

Мета роботи. Вивчення будови і принципу дії маятничового копра та засвоєння методики визначення ударної в'язкості металів на маятничовому копрі. Аналіз механічних властивостей сталюого зразка.

Прилади, інструменти та матеріали. Маятничовий копер і зразки для визначення ударної в'язкості.

3.1 Загальні відомості про ударну в'язкість

В умовах експлуатації на деякі деталі (наприклад поршневий палець двигуна та ін.) діють ударні навантаження. Якщо матеріал деталі недостатньо в'язкий, то деталь може зруйнуватися при ударних навантаженнях незважаючи на її достатню міцність при статичних навантаженнях. Значно підвищують небезпечність руйнування при ударних навантаженнях згин наявність концентраторів напружень на поверхні деталі. Ними можуть бути сліди обробки, надрізи, подряпини, канавки та ін. Для того, щоб поверхні деталей не мали концентраторів напружень, їх полірують або утворюють в них напруження стискання хіміко-термічною обробкою, а в не спряжених поверхнях - дробоструменним наклепом.

Щоб оцінити опір матеріалу динамічним силам, проводять випробовування на удар. Одним із видів таких випробувань є *ударний згин*, за яким виявляють схильність матеріалів, зокрема конструкційних сталей, до крихкого руйнування внаслідок збільшення швидкості деформації, крупнозернистості, зниження температури; наявності крихких структурних складових, надрізів, шкідливих домішок (S, P, O₂, H₂) та інших факторів.

3.2 Зразки для випробування на ударну в'язкість

Випробування на ударний згин регламентується за ГОСТ 9454-78, який передбачає використання зразків з трьома типами концентраторів (надрізів): U, V, T. На рис. 3.1 приведена конструкція зразка 2 з U-подібним надрізом, який знаходиться на двох опорах 1 для випробування ударною силою в напрямі А.

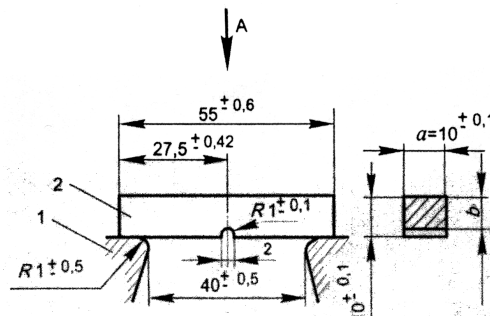


Рисунок 3.1 - Конструкція стандартного зразка з U-подібним надрізом

та схема випробовування: 1 - опора зразка; 2 - зразок; А - напрямок удару маятника; b – товщина зразка у місці надлому, $b=8\pm0,1$ мм

Посередині довжини стандартний зразок (рис. 3.1) на одній грані має U-подібний надріз з радіусом заокруглення $R = 1$ мм. Глибина надрізу становить 2 мм. Надріз є концентратором напружень.

Поряд з розглянутим зразком використовують також зразки з надрізом V-подібним та Т-подібним (надріз у вигляді тріщини). На рис. 3.2 приведені види зразків з V-подібним та Т-подібним концентраторами. Зазначимо, що V-подібний надріз (радіус надрізу 0,25 мм) вибирають для матеріалів конструкцій підвищеної надійності, а Т-подібний - для матеріалів особливо відповідальних конструкцій.

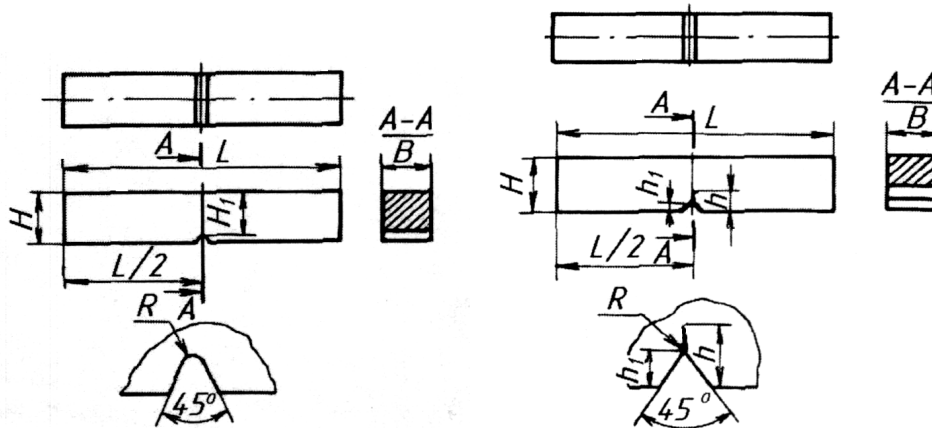


Рисунок 3.2 - Види зразків з V-подібним (а) та Т-подібним (б) концентраторами

3.3 Випробування на ударний згин та визначення ударної в'язкості

При випробуванні на ударний згин визначають таку механічну характеристику металу, як *ударна в'язкість*.

Ударною в'язкістю КС називають відношення роботи K (так позначається робота при ударі), яка витрачається на руйнування стандартного зразка, до площі його поперечного перерізу

$$КС = \frac{K}{S_0} \text{ МДж/м}^2, \quad (1)$$

де K – робота, витрачена на руйнування зразка, МДж;

S_0 – площа поперечного перерізу зразка у місці руйнування, м^2 .

В позначенні ударної в'язкості залежно від форми надрізу вводяться відповідні індекси: KCU , KCV та KCT .

Суть методу визначення ударної в'язкості зводиться до руйнування надрізаного зразка призматичної форми одним ударом при падінні маятника.

Схема руху маятника приведена на рис. 3.3. Руйнівний удар наносять по протилежній від надрізу грані зразка ножем маятника, який має радіус закруглення $2,5\pm0,5$ мм і кут 30° .

Якщо запас потенціальної енергії маятника в його положенні перед ударом mgH , а після удару - mgh , то робота K , витрачена на руйнування зразка, дорівнює різниці енергій маятника в положеннях до і після удару

$$K = Q(H-h) = mg(H-h) \text{ Дж}, \quad (2)$$

де Q - вага маятника в центрі маси, Н;

m — приведена маса маятника, кг;

g — прискорення земного тяжіння, $9,81 \text{ м/с}^2$;

H і h — висота підняття центра маси маятника в положенні до і після удару відносно центра мас маятника в стані спокою, м.

Висота центра маси маятника в положенні до удару

$$H = l + l_1 = l + l \times \sin(\alpha - 90^\circ) = l - l \times \cos \alpha = l(1 - \cos \alpha) \text{ м},$$

де l — довжина маятника (відстань від його осі до центра ваги), м;

l_1 — висота підняття центра маси маятника над віссю в положенні до удару, м.

Висота центра маси маятника в положенні після удару

$$h = l - l_2 = l - l \times \cos \beta = l(1 - \cos \beta) \text{ м},$$

де l_2 — відстань від осі маятника до центра маси при його піднятті після удару, м.

Тоді різниця висот маятника до і після удару

$$H - h = l(\cos \beta - \cos \alpha), \text{ м}. \quad (3)$$

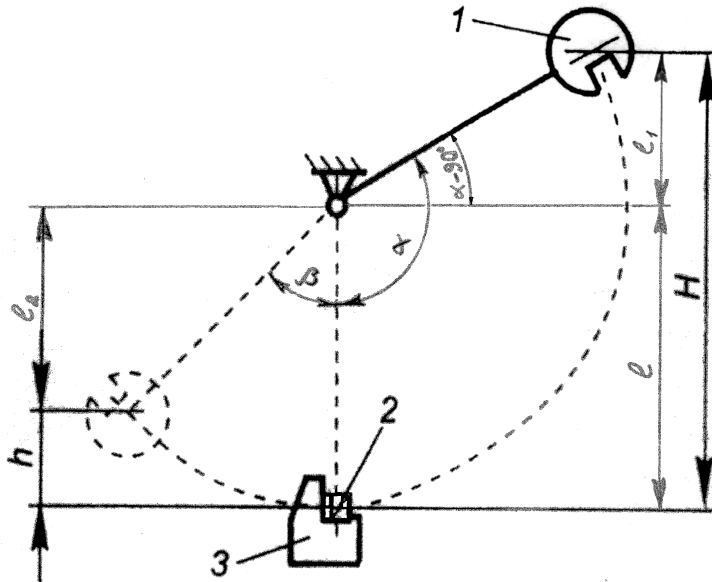


Рисунок 3.3 - Схема руху маятника при руйнуванні зразка: 1 - маятник; 2 - зразок; 3 - опора зразка; H і h - висота підняття маятника, відповідно до і після удару

Таким чином роботу K , витрачену на руйнування зразка можна визначити за кутами підйому маятника α і β в градусах - відповідно до і після злому зразка (рис. 3)

$$K = mgl(\cos \beta - \cos \alpha) \text{ МДж}, \quad (4)$$

Ударну в'язкість позначають сполученням літер і цифр. перші дві літери (КС) позначають ударну в'язкість, третя літера – вид концентратора (U, V або Т), верхній індекс при останній літері означає температуру випробування, далі перша цифра – максимальна енергія удару маятника, друга – глибина концентратора, а третя – ширина зразка.

Наприклад: КСУ⁺²⁰ 150/2/10 – ударна в'язкість (КС), визначена на зразку з концентратором виду U при температурі +20⁰С, максимальна енергія удару маятника 150 Дж (15 кГ×м), глибина концентратора – 2 мм, ширина зразка – 10 мм. Цифри не вказуються при визначенні ударної в'язкості на копрі МК30 з максимальною енергією удару 294 (30) Дж (кГ×м), при ширині зразка 10 мм і глибині концентратора виду U і V та глибині 3 мм для концентратора виду Т.

3.4 Будова маятникового копра

Випробування на ударний згин виконують на маятникових копрах. Загальний вигляд маятникового копра МК-15 приведено на рис. 3.4.

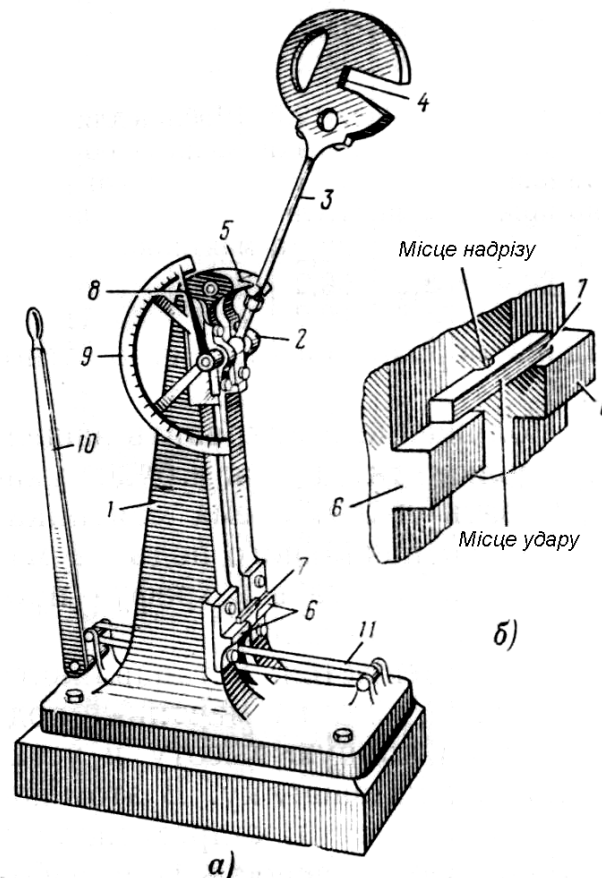


Рисунок 3.4 - Маятниковий копер

Маятниковий копер складається з станини 1, на якій у верхній її частині до горизонтальної осі 2 підвішений маятник 3 з ножем 4 (радіус закруглення $2,5 \pm 0,5$ мм і кут 30°). На початку випробування маятник підіймається уручну на деяку висоту H (рис. 3.2) і закріплюється в цьому положенні заскочкою 5. У нижній частині копра на двох опорах 6 встановлюється зразок 7. При повороті рукоятки заскочки маятник падає, руйнуючи зразок 7, що розташований на шляху руху маятника. Після злому зразка маятник по інерції підіймається на висоту h . Стрілка 8 призначена для вказівки на шкалі 9 кута підйому маятника до і після руйнування зразка. Рукоятка 10 призначена для зупинення маятника після удару натягуванням ремінного гальма 11.

Основні *характеристики маятникового копра МК-15*: максимальна енергія удару маятника приблизно 150 Дж ($15 \text{ кГ} \times \text{м}$); найбільший кут підйому маятника $\alpha = 160^\circ$; вага маятника $Q=97,972$ Н; довжина маятника від осі до центру маси $l=0,7945$ м; центр маси знаходиться на лінії перпендикулярній середині ножа 4.

3.5 Види зломів, отриманих при випробуванні

На рисунку 3.5 приведені види зломів зразків, залежно від їх в'язкості.

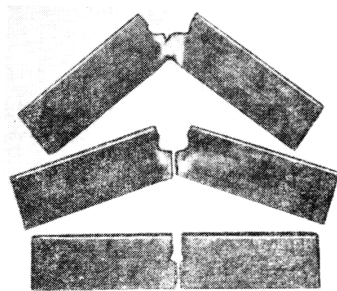


Рисунок 3.5 - Вид зразків після випробування на ударну в'язкість залежно від в'язкості сталі: вверху – дуже в'язка сталь, зразок не зламався; внизу – крихка сталь

3.6 Порядок виконання роботи

1. Виміряти розміри в перерізі руйнування зразка з точністю до 0,1 мм штангенциркулем, розрахувати площу перерізу. Вказати вид концентратора.
2. Виміряти довжину маятника l (м) та визначити його вагу Q (Н). Розмірності та одиниці вимірювань приведені в кінці методичних вказівок (додаток Б).
3. Встановити опори 6 (рис. 3.4) симетрично до ножа маятника МК-15 і закріпити їх.

4. Підвести стрілку до упора в штифт (на нуль шкали). Стрілка насаджена на вісь маятника вільно, але з деяким тертям.
5. Встановити зразок 7 на опори 6 відповідно до рис. 3.1, тобто надрізом в сторону протилежну маятнику та симетрично відносно опор та ножа маятника.
6. Підняти маятник у верхнє положення і закріпити заскочкою 5. Визначити і записати *кут підйому маятника (α) до руйнування зразка* - за показанням стрілки. *Техніка безпеки. Заборонено встановлювати зразок, коли маятник піднятий на повну висоту і закріплений заскочкою. В цьому положенні маятник являє велику небезпеку для працюючих, тому що при випадковому звільненні заскочки може спричинити тяжкі наслідки. Під час випробування не можна стояти спереду або позаду маятника. Випробування повинно проводитися тільки в присутності викладача.*
7. Звільнити заскочку. При цьому маятник вільно падає на зразок і ударом руйнує його. Стрілка в момент удару упирається в упор (нуль шкали), а при підйомі маятника після удару повертається на кут β (від нуля шкали).
8. Спинити маятник за допомогою ремінного гальма. Після того як маятник спиниться і буде у вільному положенні стрілка покаже на шкалі кут β .
9. Визначити і записати *кут підйому маятника (β) після руйнування зразка* - за показанням стрілки.
10. Розрахувати за формулою 3 роботу руйнування зразка, а за формулою 1 – ударну в'язкість KCU матеріалу зразка.
11. Схарактеризувати вид злому (крихкий, в'язкий).
12. Визначити твердість та міцність зразка за методикою попередніх робіт.

Примітки. Розмірності та одиниці вимірювань, які використовуються в даній роботі.

Сила: $1\text{ кГ} = 9,80665\text{ Н}$.

Робота: $1\text{ Дж} = 1\text{ Н} \times 1\text{ м}$; $1\text{ кГ} \times \text{м} = 9,80665\text{ Дж}$; $1\text{ Дж} = 1 \times 10^{-6}\text{ МДж}$.

Довжина; площа: $1\text{ мм} = 1 \times 10^{-3}\text{ м}$; $1\text{ мм}^2 = 1 \times 10^{-6}\text{ м}^2$.

Тригонометричні функції. Якщо величина кута α або β знаходиться в інтервалі від 90° до 180° , то величина косинусу має знак (-) і знаходиться за формулою:

$$\cos \alpha = -\cos(180-\alpha) = -\sin(\alpha-90^\circ); \quad \cos \beta = -\cos(180-\beta) = -\sin(\beta-90^\circ).$$

3.3 Форма звіту

Лабораторна робота №3

ВИЗНАЧЕННЯ УДАРНОЇ В'ЯЗКОСТІ МЕТАЛІВ

Мета роботи. Вивчення будови і принципу дії маятникового копра та засвоєння методики визначення ударної в'язкості металів на маятниковому копрі. Аналіз механічних властивостей сталюого зразка.

Прилади, інструменти та матеріали. Маятниковий копер і зразок для визначення ударної в'язкості.

Схема маятникового копра та короткий опис його будови.

Короткий опис методу визначення ударної в'язкості з приведенням відповідних формул та їх поясненнями.

Вихідні дані, числові дані результатів випробування, результати розрахунку та висновок привести в такій послідовності.

Марка маятникового копра МК.

Маса маятника $m =$ _____ кг.

Вага маятника $Q =$ _____ Н

Довжина маятника, тобто відстань від його осі до центра ваги $l =$ _____ м.

Матеріал зразка _____.

Вид концентратора _____.

Розміри зразка у перерізі для руйнування: $a =$ _____ мм, $b =$ _____.

Площа поперечного перерізу зразка $S_0 =$ _____ мм², м².

Кут підйому маятника до руйнування зразка _____⁰.

Кут підйому маятника після руйнування зразка _____⁰.

Різниця висот $H - h$ маятника до і після удару (3)

Робота K , витрачена на руйнування зразка (2) в Дж та МДж

Ударна в'язкість матеріалу (1)

Позначення ударної в'язкості матеріалу

Характеристика злому _____.

Твердість матеріалу зразка _____.

Висновок.

Контрольні запитання

1. Поясніть фізичну суть ударної в'язкості та її позначення.
2. На яких зразках визначають ударну в'язкість залежно від вимог до надійності виробу і як її позначають?
3. Приведіть формули роботи руйнування та ударної в'язкості.
4. Як позначається робота удару?
5. Як позначається ударна в'язкість? Приведіть приклад з розшифровкою.
6. Як залежить ударна в'язкість від радіусу надрізу?
7. Як впливає температура на ударну в'язкість?
8. Як впливає величина зерен на ударну в'язкість?
9. Як впливає на ударну в'язкість швидкість дії сили?
10. Як впливає на ударну в'язкість наявність надрізів на деталі?
11. Які елементи, що входять в склад сталі, знижують ударну в'язкість?

МАКРОСКОПІЧНИЙ АНАЛІЗ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ

Мета роботи. Придбати практичні навички макроскопічного аналізу металів і сплавів зовнішнім оглядом та на зломах і макрошліфах.

Устаткування, інструменти та матеріали. Зразки для виявлення макроструктур: зломи чавуну і сталі; злом цементованого зразка сталюого поршневого пальця; втомний злом колінчастого вала ДВЗ з наплавленими шийками; макрошліф штампованої деталі з виявленою волокнистістю; зразки для виявлення розподілу сірки; лупа, щипці, шліфувальний папір, глянцеий бромосрібний папір, ванночка, 5%-вий водний розчин сірчаної кислоти.

4.1 Суть і використання макроаналізу, елементи макроструктури та процеси і причини їх утворення

Макроаналізом називають дослідження макроструктури, тобто будови металів, неозброєним оком або через лупу, що збільшує в 10...30 раз.

Макроструктурний аналіз використовують для виявлення зовнішніх дефектів (тріщин, пор, шлакових включень та ін.), а також для дослідження макроструктури сплавів. Це один з найпростіших методів контролю.

Макроаналіз проводять зовнішнім оглядом заготовок та виробів, дослідженням зломів, а також аналізом макроструктури сплавів на спеціально підготовлених (відшліфованих і протравлених) зразках, які називають темплетами.

В процесах кристалізації, обробки тиском, термічної і хіміко-термічної обробки, зварювання та інших можуть утворюватися такі елементи макроструктури.

Зерна різної величини або певної орієнтації, які утворюються у виливках в процесі кристалізації при нерівномірному або направленому охолодженні.

Міждендритна ліквіація (неоднорідність між зернами) – утворюється, якщо при кристалізації шкідливі домішки (наприклад в сталях сірка, фосфор та ін.) витискуються на межі зерен.

Зональна ліквіація (неоднорідність по зонам вилівка) – утворюється при повільній кристалізації, якщо зерна які утворюються з рідини або тверді домішки відрізняються за питомою вагою від рідини і тому підіймаються в верхню частину форми або осідають вниз. В сталях вуглець, сірка, фосфор та ін. переміщуються з нижньої частини вилівка у верхню.

Усадочні раковини (пустоти) утворюються у верхній частині вилівка. Сплав починає твердіти з поверхні і, якщо сплав при кристалізації значно зменшується в об'ємі, тобто має велику усадку, в верхній частині вилівка утворюється пустота.

Газові пори (рис. 4.3) можуть утворюватися, якщо при охолодженні з рідкого металу виділяються гази. Це буває з-за зменшенні розчинності газів у

рідких металах при їх охолодженні. При вищій температурі метали розчиняють більше газів.

Волокнистість (рис. 4.5, 4.6) утворюється з неметалевих крихких включень, які при гарячому прокатуванні і видовженні виливка (круг, рейка та ін.) роздроблюються і витягуються у вигляді волокон, уздовж яких сталь міцніша.

Флокени (рис. 4.4) – дуже небезпечні пороки легованої сталі (німецьке слово “флокени” – пластівці). Виникають після прокатування або кування гарячої сталі в процесі послідуєного швидкого охолодження [2]. З-за того що при швидкому охолодженні водень, розчинність якого зменшується в цьому процесі, не встигає дифузійним шляхом вийти з сталі в зовнішню зону - виникають високі тиски у внутрішніх шарах сталі і тріщини.

В зломі сталевих деталей, поверхневий шар яких насичений вуглецем (при цементації), можна побачити дві зони: поверхневий насичений шар має *зернистий злом* (крихкий); ненасичений осередок має *волокнистий злом* (в'язкий). За зернистим зломом визначають глибину цементації.

4.2 Методи макроаналізу

До методів макроаналізу відносять:

- зовнішній огляд заготовок або виробів;
- дослідження зломів;
- дослідження поверхні макрошліфів – відшліфованих та протравлених зразків.

4.2.1 Зовнішній огляд заготовок або виробів

Зовнішнім оглядом виявляють *тріщини* (рис. 3.1), *газові раковини*, *усадовочні пори*, *шлакові включення*, *дефекти зварних з'єднань* та інші.

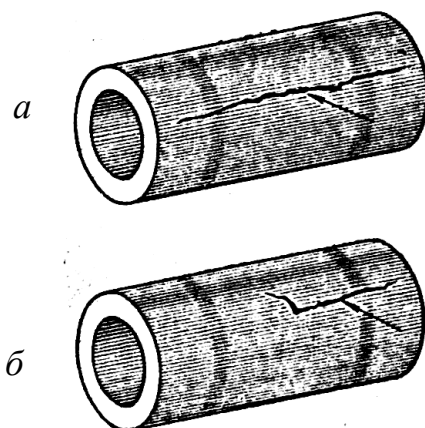


Рисунок 4.1 - Типові тріщини на зовнішній поверхні поршневого пальця двигуна внутрішнього згоряння з-за овалізації при максимальному зусиллі [8]:

а – повздовжня; *б* - повздовжня, що переходить в кільцеву

4.2.2 Дослідження зломів

У зломі виявляють *внутрішні дефекти, величину і характер розміщення зерен*, якщо вони досить великі, *пластичні властивості* зразка.

Характер зломів. Зломи поділяються на *крихкі, в'язкі і втомні*.

Крихкий злом має кристалічну будову і може проходити по межах зерен (рис. 4.2, міжкристалічний) або по зернах металу (рис. 4.3, транскристалічний).

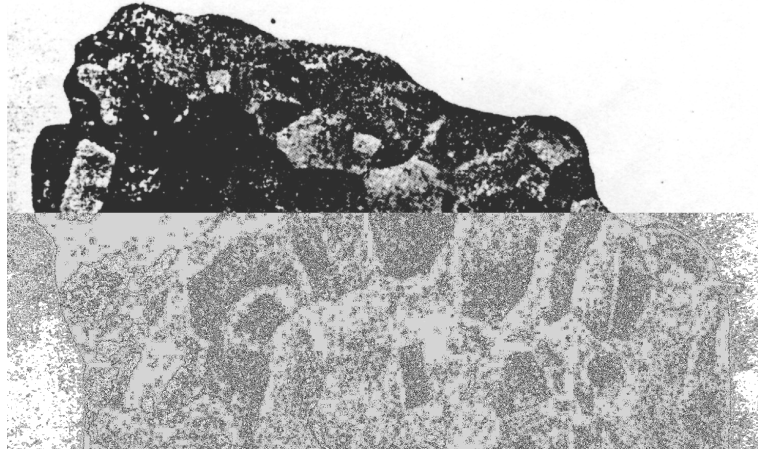


Рисунок 4.2 - Міжкристалічний (по межах зерен) злом сплаву заліза з хромом (ферохром), хрому 60% [7]

Міжкристалічні зломи частіше бувають при руйнуванні деталей, які працюють при високій температурі, з-за меншої температури плавлення та міцності домішок, які відклалися на границях зерен. Часто зломи мають змішаний характер.



Рисунок 4.3 - Транскристалічний (через зерна) злом сплаву заліза з ванадієм (ферованадій) [7]

Отримати крихкий злом можна при ударному навантаженні зразка з надрізом поверхні у необхідній площині. Інструментальні вуглецеві сталі, що містять 0,7...1,3%С дають крихкий злом.

На рис. 4.4 показаний злом легованої хромонікелевої сталі, який містить *флокени*, які є небезпечним пороком. Флокени в зломі вздовж прокатування являють світлі частки – пластівці [2].

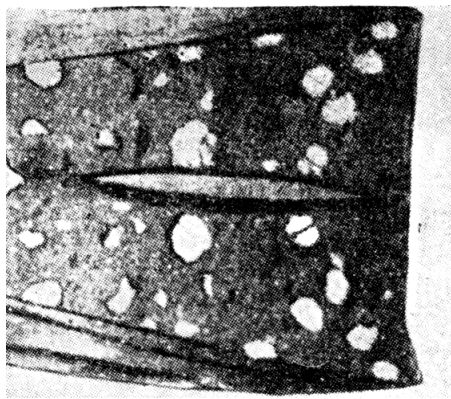


Рисунок 4.4 - Флокени в зломі хромонікелевої сталі

В'язкий злом має волокнисту будову, тому що супроводжується значною пластичною деформацією зерен. Такий злом не дозволяє характеризувати форму та розміри зерен, але вказує на пластичність та в'язкість металу або його зон в перерізі зразка, деталі або її заготовки.

Маловуглецеві конструкційні сталі, що містять 0,10...0,20%С мають волокнистий (в'язкий) злом, що вказує на їх високу ударну в'язкість. Для підвищення зносостійкості поверхню деталей цементують, тобто насичують вуглецем. Насичений шар утворює *крихкий, зернистий* злом, а ненасичений – *в'язкий, волокнистий* злом. Це дозволяє визначати глибину цементації, наприклад поршневих пальців, за характером злому зразків, які цементуються разом з деталями (рис. 4.5, фото автора).

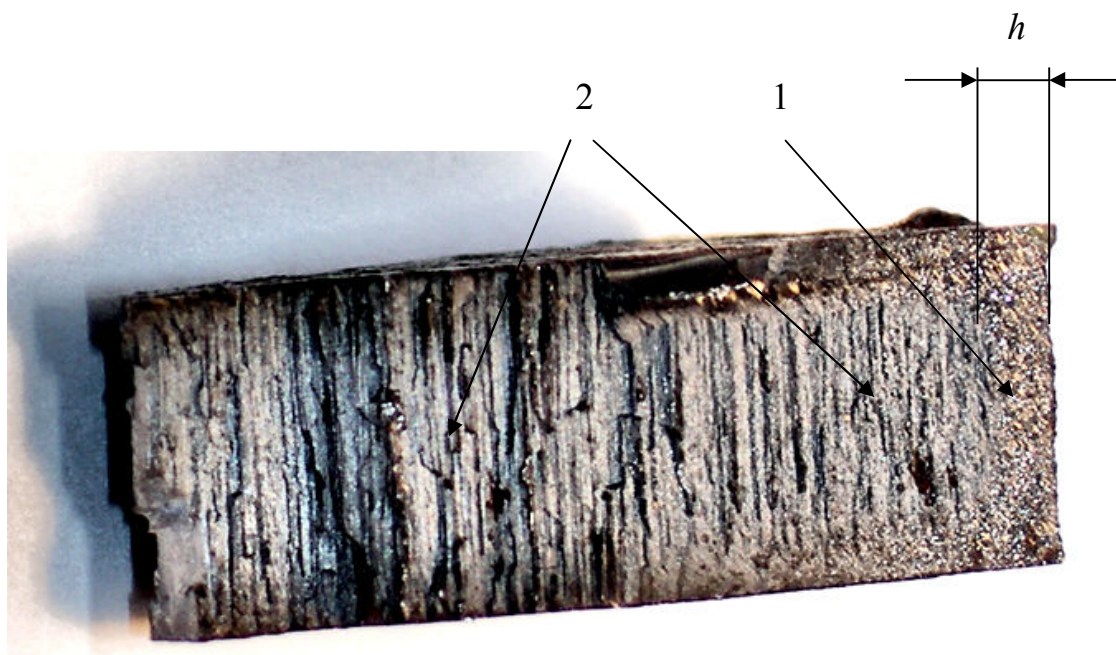


Рисунок 4.5 - Злом зразка для визначення глибини цементації поршневого пальця з сталі 20Х: 1 – крихкий, зернистий, злом цементованого (насиченого вуглецем до 1,2%С) поверхневого шару, глибиною $h=1,5$ мм (М 4:1); 2 – в'язкий, волокнистий, злом серцевини зразка, ненасиченої вуглецем (0,2%С)

Втомні зломи виникають при руйнуванні (поломках) деталей, які працюють при багатократних, перемінних і знакозмінних навантаженнях (колінчасті вали, осі, рейки, шестерні та ін.).

На рис. 4.6 показаний втомний злом відповідальної деталі двигуна внутрішнього згоряння - колінчастого валу з легованої сталі [1].

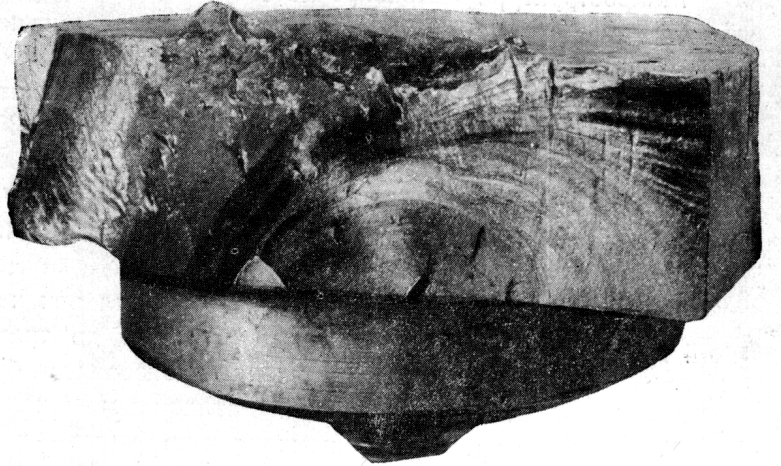


Рисунок 4.6 - Втомний злом колінчастого валу, який виник від флокену на поверхні щоби поблизу галтелі

На рис. 4.7 приведена втомна поперечна тріщина залізничної рейки [1], яка виникла з-за надриву ділянки сегрегату (відокремлення шкідливих домішок), що заповнював газовий пузир.

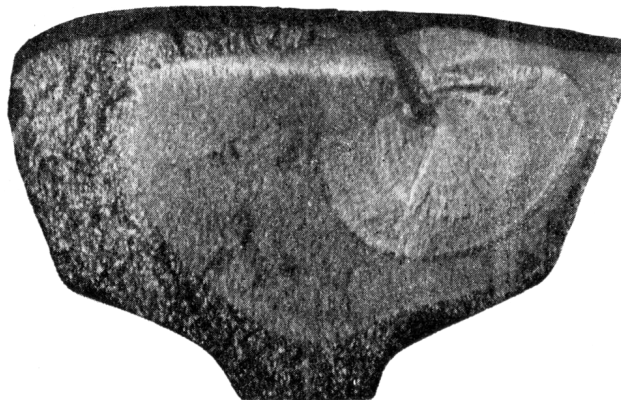


Рисунок 4.7 - Втомна поперечна тріщина залізничної рейки

Втомний злом починається з виникнення тріщини, зародком якої як правило є концентратор механічної напруги (флокен, газовий пузир, шлакове включення, і т.п.). Далі утворюються дві зони руйнування. Перша – це зона його розповсюдження з фарфороподібною часто ступенево-шаровою будовою. Вона утворювалася, коли деталь ще працювала і поверхні дотикались між собою з певною частотою. Друга – це зона разового злому деталі, крихкого або в'язкого, при її руйнуванні.

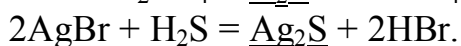
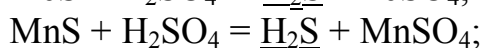
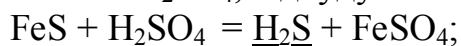
4.2.3 Дослідження макрошліфів

На макрошліфах виявляють: неоднорідність розподілу по перерізу сталі сірки та фосфору, пористість, розміщення волокон, тріщини і раковини у відливках та кованих і катаних заготовках. Макрошліф готують обробкою торця відрізаної заготовки шліфувальними паперами міняючи їх від грубозернистого до дрібнозернистого та міняючи напрямок шліфування на 90^0 при переході від одного паперу до другого.

Виявлення характеру розподілу сірки по перерізу деталі методом Баумана. Сірка – шкідлива домішка, яка надає сталі червоноламкість – крихкість при температурі вище 985^0C (границі зерен збагачені сіркою розплавлюються і при гарячій ковкі, штампуванні в сталі виникають тріщини).

Для виявлення розподілу сірки (сульфідних включень) за методом Баумана треба лист бромосрібного фотопаперу занурити на світлі в 5% водний розчин сірчаної кислоти й витримати протягом 5...10 хвилин. Просушити його між двома листами фільтрувального паперу. Покласти емульсійною стороною на макрошліф, притиснути і погладити рукою або гумовим валком, щоб видавити повітряні бульбашки, витримати 3 хвилини, а потім обережно зняти з макрошліфа. Промити фотопapіp у воді, зафіксувати зануренням на 3 хвилини в 25% водному розчині гіпосульфіту, промити у воді і висушити.

В контактi між поверхнею макрошліфа сталі (з включеннями сірки у вигляді сульфідів FeS та MnS) і бромосрібного фотопаперу, що містить AgBr, пропитаного сірчаною кислотою H_2SO_4 , відбудуться такі реакції:



Ділянки темнокоричневого сернистого срібла на фотопапері, будуть свідчити про форму та характер розподілу сірки по перерізу макрошліфа.

На рис. 4.8 приведений відбиток, що характеризує нерівномірний розподіл (ліквацію) сірки (а) та фосфору (б) у перерізі рейки [11].

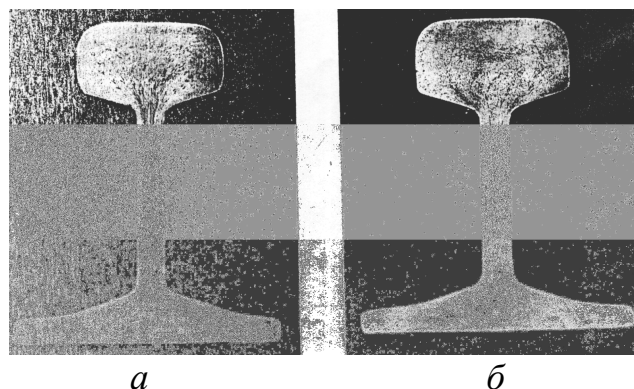


Рисунок 4.8 - Характер розподілу сірки (а) та фосфору (б) в сталі

Волокнистість будови сталі виявляють глибоким травленням поверхні макрошліфа у гарячому реактиві, який містить 70мл H_2SO_4 + 50мл HCl + 20мл

H₂O. Тривалість травлення 20...120 хв. У волокнистої сталі на поверхні макрошліфа утворюються глибоко протравлені лінії – місця збагачені неметалевими включеннями, які розчиняються швидше. Вздовж волокон сталь міцніша, чим поперек волокон, що треба враховувати при її обробці.

На рис. 4.9 приведено макроструктуру повздовжнього розрізу колінчастого валу з правильним (рис. 4.9, а) і неправильним (рис. 4.9, б) розташуванням волокон в сталі [7]. Колінчастий вал (рис. 4.9, а) виготовлений згином гарячої заготовки, тому волокна сталі відповідають конфігурації вала. Колінчастий вал (рис. 4.9, б) виготовлений обробкою різанням з заготовки, яка була витягнута ковкою вздовж осі. Волокна сталі паралельні осі вала, що значно зменшує ударну в'язкість вала на ділянці переходу від щоки до шийки.

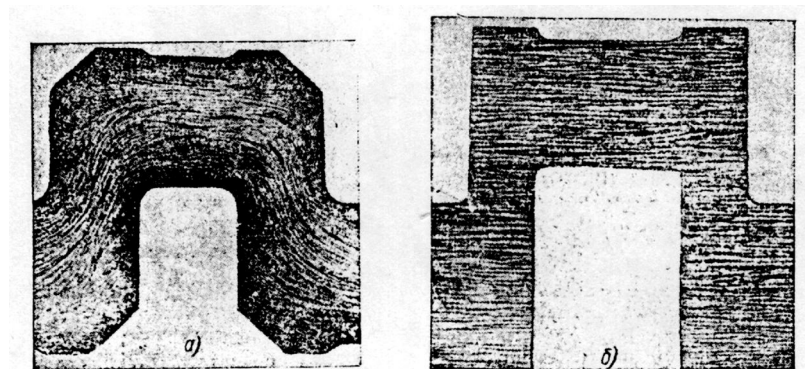


Рисунок 4.9 - Макроструктура повздовжнього розрізу колінчастого валу з правильним (а) і неправильним (б) розташуванням волокон в сталі

На рис 4.10 приведена макроструктура повздовжнього розрізу поковки півосі автомобіля [11].

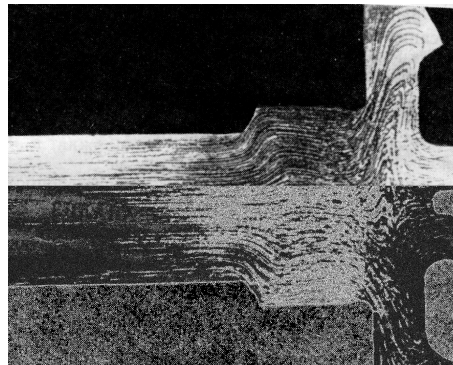


Рисунок 4.10 - Макроструктура поковки півосі автомобіля. Напрямок волокон повторює зовнішні контури поковки. Макрошліф протравлений 50%-м розчином соляної кислоти

Макроскопічними методами глибокого травлення, поверхневого травлення і відбитків [13] можна отримати інформацію про стан матеріалу та дефекти, пов'язані з його виробництвом і обробкою (волокнистість, пустоти, тріщини, знеуглецьовані шари, сегрегації шкідливих домішок та ін).

4.3 Форма звіту і порядок виконання роботи

Лабораторна робота №3

МАКРОСКОПІЧНИЙ АНАЛІЗ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ

Мета роботи. Придбати практичні навички макроскопічного аналізу металів і сплавів зовнішнім оглядом та на зломах і макрошліфах.

1. Аналіз макроструктури зломів чавуну і сталі

Схема макроструктури

Опис макроструктури чавуну і сталі



Чавун

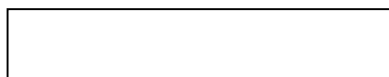
Сталь

Охарактеризувати: види зломів чавуну і сталі, форму і розміри зерен, порівняти будову зерен чавуну і сталі, проаналізувати умови утворення такої макроструктури.

2. Дослідження злому зразка поршневого пальця з сталі 20Х (0,2%С) після цементації (насичення вуглецем поверхневого шару до 1,2%С).

Схема макроструктури

Опис макроструктури



Описати характер злому та форму зерен в кожній зоні, позначити на схемі та приблизно визначити глибину шару цементації (h), проаналізувати властивості в різних зонах перерізу цементованої деталі.

3. Дослідження сталого злому колінчастого вала з чавуну ВЧ50 з наплавленими шийками.

Схема макроструктури

Опис і аналіз макроструктури та причин злому

4. Дослідження макрошліфа з виявленою волокнистістю.

Схема макроструктури

Опис і аналіз макроструктури та її впливу механічні властивості сталюї деталі. Аналіз причин утворення волокнистості в сталі.

5. Дослідження характеру розподілу сірки по перерізу зразка за Бауманом.

Опис методики виявлення сірки. Аналіз відбитка та впливу скупчення сірки на властивості сталі.

6. *Висновок.* Аналіз методу та отриманих результатів.

Контрольні питання

1. У чому суть макроскопічного аналізу? Яка його мета?
2. Що можна визначити зовнішнім оглядом заготовок і деталей?
3. Які бувають зломи і якими ознаками вони характеризуються?
4. Які елементи будови і дефекти можна визначити в зломах?
5. Чим відрізняється в'язкий злом від крихкого?
6. Як визначають глибину насичення сталі вуглецем при цементації?
7. За яких причин виникає сталий злом?
8. Яка послідовність утворення сталого злому та яка його структура?
9. Що таке волокнистість сталі? За яких причин і як вона виникає?
10. Як впливає волокнистість на властивості сталі?
11. Як виявляють волокнистість будови сталі?
12. Який вплив мають сірка і фосфор на властивості сталі? Як виявляють розподіл сірки?

МІКРОСКОПІЧНИЙ МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ

Мета роботи. Засвоїти методику приготування мікрошліфів для мікроскопічного аналізу неметалевих включень та металевої основи в сплавах. Вивчити будову і принцип дії оптичного металографічного мікроскопа МІМ-8М. Придбати практичні навички з методу дослідження мікроструктури сплаву з використанням оптичного металографічного мікроскопу.

Устаткування, інструменти та матеріали. Оптичний горизонтальний металографічний мікроскоп МІМ-8М, шліфувально-полірувальні верстати, водостійкий шліфувальний папір різної зернистості (номера від 60 до 380), фетровий або сукняний круг, порошок полірувальний Cr_2O_3 або Al_2O_3 , зразки або мікрошліфи сірого чавуну, реактив для травлення, вода, спирт, фільтрувальний папір, альбом з фотографіями мікроструктур.

5.1 Суть мікроаналізу

Мікроскопічним методом досліджують будову металів і сплавів при великих збільшеннях - за допомогою металографічного мікроскопа. Будова, яка досліджується називається *мікроструктурою*, а її елементи – *структурними складовими*.

Дослідження за допомогою оптичних металографічних мікроскопів *основане на явищі відбиття світла* від полірованої або полірованої і протравленої поверхні зразка, який називають *мікрошліфом*. Окремі елементи будови металів і сплавів від підготовленої поверхні мікрошліфа можуть відбивати або не відбивати світло (розсіювати). Ті елементи структури, які *відбивають* світло – під мікроскопом *світлі*, а які *не відбивають, а розсіюють світло* – *темні*.

Для характеристики складових структуру, яку видно під мікроскопом, порівнюють з відповідними зображеннями стандартів (шкалами) на форму, розміри та площу структурних складових тощо.

На *полірованій* поверхні мікрошліфа (*“до травлення”*) досліджують *неметалеві включення*, а на полірованій і *протравленій* (*“після травлення”*) - *мікроструктуру металевої основи*.

Мікроаналіз дозволяє:

- визначати мікроструктуру металів і сплавів до і після різних видів термічної та хіміко-термічної обробки, після лиття, після гарячої та холодної деформації;
- встановлювати якість металу виявленням неметалевих включень – оксидів, сульфідів, фосфідів, нітридів, графіту та ін.;
- визначати розміри зерен, та інших деталей мікроструктури.

На машинобудівних підприємствах використовують оптичні мікроскопи, які дають збільшення від 50 до 2000 раз. При необхідності одержання збільшення до 100000 раз використовують електронні мікроскопи.

5.2 Дослідження неметалевих включень на мікрошліфах “до травлення”

Підготовка мікрошліфа “до травлення” складається з операцій виготовлення невеликого зразка та грубої обробки, шліфування і полірування поверхні, яку вибрано для дослідження. Найбільш зручними є зразки з площею поверхні 100...200 мм². Якщо зразок має малий розмір (наприклад - тонка проволочка, лист, деталі та інструмент малого перерізу) їх для зручності шліфування, полірування та установки на столику мікроскопа затискають в струбцинах або заливають легкоплавким сплавом (рис. 5.1).

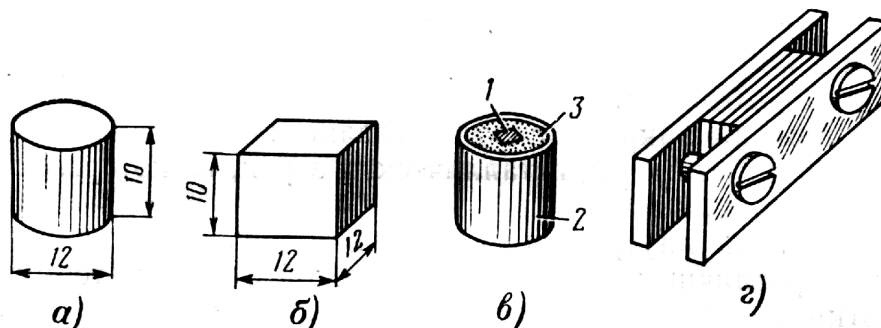


Рис. 5.1. Розміри мікрошліфів та пристрої для їх виготовлення: а, б – розміри мікрошліфів; в - мікрошліф 1 залитий в трубі 2 легкоплавким сплавом 3 (або сіркою); г – тонкі мікрошліфи, затиснуті в струбцину

Шліфування поверхні виконується вручну або на шліфувально-полірувальному верстаті. Шліфують на водостійкому шліфувальному папері різної зернистості змоченому водою з послідовним переходом від більшого зерна на менше. Зразок в переходах промивають водою від наждачного пилю і шліфують під кутом 90° до зникнення слідів рисок попередньої обробки. Після тонкого шліфування зразок знову промивають водою від частинок абразиву та металу і полірують на диску, який обертається. Диск для полірування, покритий фетром, сукном або замшею, змочують полірувальною рідиною, яка являє собою суміш з водою дуже дрібного порошку окису хрому (зеленого кольору), окису алюмінію (білого кольору) або інших абразивних порошків. Сталь та чавун полірують не більш 3...5 хвилин до виведення рисок попередньої обробки і одержання дзеркальної поверхні. Після полірування шліф промивають водою потім спиртом і просушують прикладанням до фільтрувального паперу. Виготовлений таким чином зразок називають мікрошліфом “до травлення”.

На полірованій поверхні мікрошліфа “до травлення” виявляють і досліджують під мікроскопом неметалеві включення: графіту, сульфідів,

нітридів, оксидів та ін. Ці включення крихкі і тому при шліфуванні і поліруванні викришуються з поверхні мікрошліфа. Утворені на полірованій поверхні поглиблення не відбивають світло і мають вигляд *темних включень* на *світлому полі* невиявленої металевої основи.

5.3. Дослідження металевої основи на мікрошліфах “після травлення”

Структуру металевої основи виявляють травленням полірованої поверхні. Сталь та чавун травлять 5%-м розчином азотної кислоти в етиловому спирті. При травленні на поверхню мікрошліфа наносять піпеткою або ватою на скляній паличці реактив, розтирають його і спостерігають за поверхнею. Тривалість травлення звичайно складає декілька секунд і залежить від сплаву та структури матеріалу. Кінець травлення визначають по з’явленню на поверхні матового відтінку. Після травлення мікрошліф промивають спочатку водою, а потім спиртом і просушують фільтрувальним папером.

При травленні окремі фазові складові утворюють катоди і аноди. На поверхні мікрошліфа утворюються гальванічні елементи, які містять велике число мікроскопічних електродів. Фазові складові, які мають нижчий електродний потенціал стають анодами і *частково розчиняються*. В сталях і чавунах це *зерна фериту* (твердого розчину вуглецю в α -Fe). Катоди ж *остаються незмінними*. В сталях і чавунах це *зерна цементиту* (хімічної сполуки Fe_3C).

Зерна перліту, який є механічною сумішшю дуже дрібних зерен фериту і цементиту ($\text{P}=\text{F}+\text{Ц}$) витравлюються на різну глибину, тому мають матову поверхню і *не відбивають світло*, - під мікроскопом - *темні* (рис. 5.2).

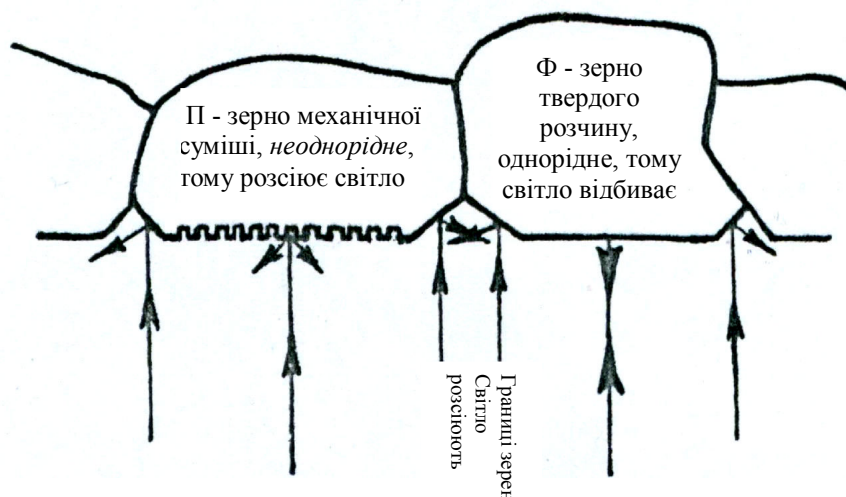


Рисунок 5.2 - Схема, яка пояснює видимість однорідних і неоднорідних зерен та їх границь

Зерна фериту (Φ) витравлюються рівномірно, *останяться полірованими* і під мікроскопом - *світлі*, але з *різним відтінком*, з-за того що перерізані в різних кристалографічних площинах.

Границі зерен фериту сильно витравлюються і утворюють поглиблення, які розсіюють світло, тому теж будуть *темні*.

Таким чином після травлення на поверхні мікрошліфа утворюється мікрорельєф, який характеризує мікроструктуру сплаву. *Поліровані зерна фериту під мікроскопом будуть світлими, а границі зерен фериту і зерна перліту будуть під мікроскопом темними.*

5.4 Будова оптичних металографічних мікроскопів

Основними частинами оптичного металографічного мікроскопу, наприклад МІМ-8М, є: освітлювальний пристрій з потужною низьковольтною електричною лампою (170 Вт, 17 В) та дві збільшуючі оптичні системи – об'єктива та окуляра, які містять ряд інших елементів.

Існує два методи одержання відбитого зображення поверхні мікрошліфа - за допомогою прозорої скляної пластинки та призми косого освітлення. І в першому і в другому випадках промінь світла на мікрошліф надходить через об'єктив. Наприклад, при освітленні мікрошліфа за допомогою тонкого плоскопаралельного скла 1 (рис. 5.3), нахилоного під кутом 45° до поверхні об'єктиву 2 промені S , які падають на скляну пластинку 1 , частково ($1/2$) проходять через неї, а частково відбиваються і попадають через об'єктив 2 на поверхню мікрошліфа 3 , звідки, відбиваючись, проходять через призму 5 та попадають в окуляр 4 .

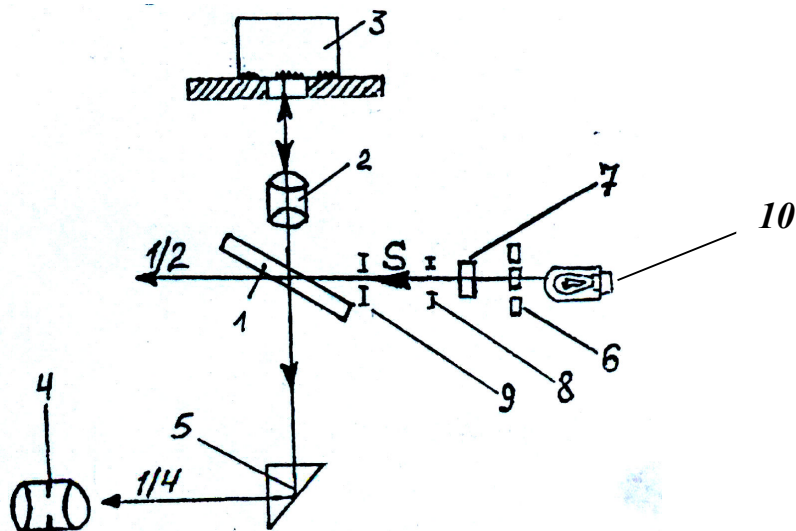


Рисунок 5.3 - Спрощена схема оптичного металографічного мікроскопу:
 1 – скляна пластинка, 2 – об'єктив, 3 – мікрошліф, 4 – окуляр, 5 – призма, 6 – світлофільтри, 7 – вбирач тепла, 8 – апертурна діафрагма, 9 – польова діафрагма, 10 – лампа освітлення; S – промені світла

При такому способі для освітлення використовується весь отвір об'єктива, але в окуляр попадає тільки лиш $\frac{1}{4}$ всього світлового потоку.

При освітленні за допомогою призми косого освітлення використовується одна половина отвору об'єктива для освітлення мікрошліфа, а друга – для одержання зображення.

Збільшення мікроскопу дорівнює добутку збільшення об'єктиву на збільшення окуляра. Наприклад, якщо збільшення об'єктива $15\times$, а окуляра $14\times$, то збільшення мікроскопа буде в $15\times 14=210$ раз.

Об'єктив складається з ряду лінз різної форми, виготовлених з різних сортів скла. Фронтальна лінза, яка знаходиться в передній частині об'єктива збільшує, а решта лінз виправляють її оптичні недоліки.

Об'єктиви бувають сухі та імерсійні (коли між об'єктивом та мікрошліфом знаходиться капля кедрового масла). Імерсійні об'єктиви використовуються при великих збільшеннях. За оптичними властивостями об'єктиви поділяються на ахромати та апохромати. Апохромати більш складні, але дають менше дефектів зображення від аберації.

Окуляри бувають прості, компенсаційні (виправляють недоліки апохроматів) та для фотографування.

Тепловий фільтр 7 призначений для поглинання тепла від лампи освітлення і запобігання об'єктиву від пошкодження.

Промені різних кольорів мають різні коефіцієнти переломлення лінзою (хроматична аберація). Для її зменшення використовують світлофільтри 6, які пропускають однокольорові промені.

Оптичний металографічний мікроскоп МІМ-8М має фотокамеру для фотографування мікроструктури, але краще використовувати електронний окуляр для передачі і запису зображення мікроструктури на комп'ютер.

Збільшення мікроскопу при візуальному спостереженні $100\times \dots 1350\times$ (знак $\times$ - раз), а при фотографуванні $45\times \dots 2000\times$.

Електронні мікроскопи дають збільшення до $100000\times$.

5.5 Завдання

1. Вивчити будову та оптичну схему металографічного мікроскопа МІМ-8М.
2. Навчитись визначати збільшення мікроскопа та підбирати об'єктиви і окуляри.
3. Навчитись налаштовувати мікроскоп для візуального спостереження
4. Розглянути під мікроскопом мікрошліф “до травлення”, зарисувати його і проаналізувати неметалеві включення (форму і характер розподілу графіту, додаток 2).
5. Вибрати відповідно до матеріалу шліфа реактив і протравити шліф.
6. Розглянути під мікроскопом протравлений шліф і зарисувати його.
7. Провести аналіз мікроструктури металевої основи (додаток 3).
8. Скласти звіт про виконану роботу.

5.6 Форма звіту

Лабораторна робота №5 Мікроскопічний метод аналізу будови сплавів

Мета роботи. Засвоїти методику приготування мікрошліфів для мікроскопічного аналізу неметалевих включень та металевої основи в сплавах. Вивчити будову і принцип дії оптичного металографічного мікроскопа МІМ-8М. Придбати практичні навички з методу аналізу мікроструктури сплаву з використанням оптичного металографічного мікроскопу.

План звіту

1. Короткий опис суті мікроаналізу та способів виявлення неметалевих включень і структури металевої основи.
2. Схема, що пояснює видимість границь зерен та структурних складових (зарисувати і пояснити).
3. Спрощена схема оптичного металографічного мікроскопу (зарисувати схему та пояснити принцип дії мікроскопа).
4. Марка мікроскопа МІМ-8М.
5. Границі збільшення зображення мікроструктури:
 - при візуальному спостереженні _____,
 - при фотографуванні _____.
6. Матеріал мікрошліфа – чавун.
7. Порядок обробки поверхні мікрошліфа “до травлення”.
8. Аналіз мікроструктури чавуна “до травлення”.

Схема мікроструктури



Опис мікроструктури

9. Склад реактиву для травлення поверхні мікрошліфа та умови травлення:

10. Аналіз мікроструктури чавуну “після травлення”.

Схема мікроструктури



Опис мікроструктури

11. Висновок.

Контрольні питання

1. Як називають будову і складові металів і сплавів при дослідженні за допомогою металографічних мікроскопів?
2. На чому ґрунтується дослідження мікрошліфів на оптичному мікроскопі?
3. Як готують зразок для дослідження неметалевих включень?
4. Як готують зразок для дослідження металевої основи?
5. Яким кольором і чому видно під мікроскопом зерна чистих металів, твердих розчинів, хімічних сполук та евтектики, евтектоїда і границь зерен?
6. Які основні елементи оптичного металографічного мікроскопу?
7. Поясніть принцип дії мікроскопу.
8. Що досліджують на мікрошліфі “до травлення” і “після травлення”?
9. Як виявити мікроскопічним дослідженням шкідливі домішки сульфідів і фосфідів в сталі та форму графіту в чавуні?

Лабораторна робота №6

**ВИМІРЮВАННЯ МІКРОСКОПІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ БУДОВИ
МЕТАЛІВ ОКУЛЯРНИМИ І ОБ'ЄКТИВНИМИ МІКРОМЕТРАМИ**

Мета роботи. Придбання практичних навичок вимірювання за допомогою об'єктмікрометра та окуляр мікрометра металографічного мікроскопа елементів будови металів і сплавів: величини зерен структурних складових, глибини поверхневого шару після хіміко-термічної, термічної та інших методів обробки та зміцнення.

Устаткування, інструменти та матеріали. Оптичний металографічний мікроскоп МИМ-8М, об'єктивний та окулярний мікрометри, зразки мікрошліфів для дослідження.

6.1 Методика вимірювання мікроскопічних елементів будови металів за допомогою об'єктивного та окулярного мікрометрів

6.1.1 Окулярний та об'єктивний мікрометри

Величину зерна, глибину поверхневого шару (азотування, цементации и т.п.) можна визначити за допомогою об'єктмікрометра та окулярмікрометра металографічного мікроскопа.

Об'єктмікрометр являє невелику поліровану лінійку, на якій нанесений 1 мм, розділений рисками на 100 частин.

Окулярмікрометр – це звичайний окуляр, але в який вставлено кругле скло с нанесеними на ньому поділками через 0,1 мм.

Перед тим як починати вимірювання елементу будови, треба спочатку визначити ціну поділки окулярмікрометра для даного об'єктиву. Для цього об'єктмікрометр ставлять на предметний столик мікроскопа замість мікрошліфа. Отримане після наведення різкості зображення поділок об'єктмікрометра встановлюється таким чином, щоб, шкала окулярмікрометра суміщувалася зі шкалою об'єктмікрометра.

Наприклад, при даному об'єктиві 50 поділок окулярмікрометра, які видно в полі зору мікроскопа, покривають 91 поділку шкали об'єктмікрометра (рис. 6.1). Це означає, що ціна одної поділки окулярмікрометра буде дорівнювати $0,91:50=0,0182$ мм.

Знаючи ціну поділки окулярмікрометра, можна ним вимірювати елементи будови на мікрошліфах металів і сплавів. Для цього треба поставити на предметний столик мікроскопа замість об'єктмікрометра мікрошліф і виміряти досліджуваний елемент будови лінійною шкалою окулярмікрометра. Для цього порахувати, скільки поділок окулярмікрометра займає елемент. Наприклад, елемент займає 10 поділок окулярмікрометра. Тоді це число поділок множать на визначену раніше ціну поділки окулярмікрометра і таким

чином визначають розмір досліджуваного елемента будови: $10 \times 0,0182 = 0,182$ мм.

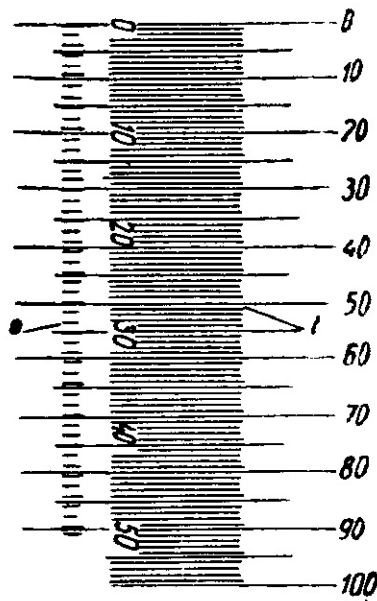


Рисунок 6.1 - Суміщення шкал окулярмікрометра (зліва) і об'єктмікрометра (справа)

6.1.2 Визначення величини зерна за допомогою окулярмікрометра

Стандартний номер зерна за допомогою окулярмікрометра визначають таким чином. Спочатку підраховують лінійний розмір зерна в горизонтальному напрямку за формулою

$$l_{гор} = \frac{k \times c}{M_{гор}}$$

де k - число поділок окулярмікрометра;

c - ціна поділки окулярмікрометра для даного об'єктива;

M – число зерен, які вміщуються на k поділках окулярмікрометра.

Тим же самим методом визначають лінійний розмір зерна у вертикальному напрямку $l_{верт}$, а потім середній розмір зерна

$$l_{\bar{n}} = \frac{l_{\bar{a}i\bar{o}} + l_{\bar{a}\bar{a}\bar{o}\bar{o}}}{2}.$$

Прийнявши, що для рівновісних зерен визначений середній лінійний розмір зерна приблизно дорівнює його діаметру ($l_c = d_c$), визначаємо площу зерна

$$a_{\bar{n}} = \frac{\pi \times l_c^2}{4}, \text{ мкм}^2.$$

За площею зерна визначають стандартний номер зерна N з таблиці 6.1, яка побудована відповідно до таких двох формул

$$a_n = 500 \times 2^{8-N}, \text{ мкм}^2; \quad (1)$$

$$n = 2^{N-1}, \quad (2)$$

де N – стандартний номер (бал) зерна;

n – число зерен на площі $6,25 \text{ см}^2$ при збільшенні $100\times$.

З формули (1) і табл. 6.1 натуральна площа зерна (середня) $a_c = 500 \text{ мкм}^2$.

Таблиця 6.1 - Стандартний номер зерна та його площа в мкм^2

Номер зерна, N	Площа зерна a , мкм^2		
	найменша	середня (натуральна)	найбільша
1	40 000	64 000	80 000
2	20 000	32 000	40 000
3	10 000	16 000	20 000
4	5 000	8 000	10 000
5	2 500	4 000	5 000
6	1 200	2 000	2 500
7	600	1 000	1 200
8	300	500	600

Приведений метод визначення розміру зерна використовується для відпалених і литих металлов, тому що в цьому випадку зерна за розмірами близькі одне до другого (рівновісні) і форма їх наближається до шару.

Стандартний номер зерна N приблизно можна також визначити порівнянням його мікроструктури при 100-кратному збільшенні зі стандартними [28] (рис. 6.2). Шкала стандартних розмірів зерна складається з восьми номерів. Зерна номерами $N=1\dots4$ вважаються крупними, а вище номери $N=6\dots8$ – дрібними.

6.2 Завдання

1. Визначити ціну поділки окулярмікрометра для даного об'єктиву.
2. Визначити величину зерна в заданому зразку (мікрошліфі) за допомогою окуляр мікрометра;
3. Визначити номер (бал) зерна за величиною по таблиці та за шкалою стандартних розмірів.
4. Визначити глибину поверхневого шару азотування або цементації.
5. Скласти звіт про виконану роботу з приведенням завдання та експериментального і ілюстраційного матеріалу.
6. Відповісти на контрольні запитання.

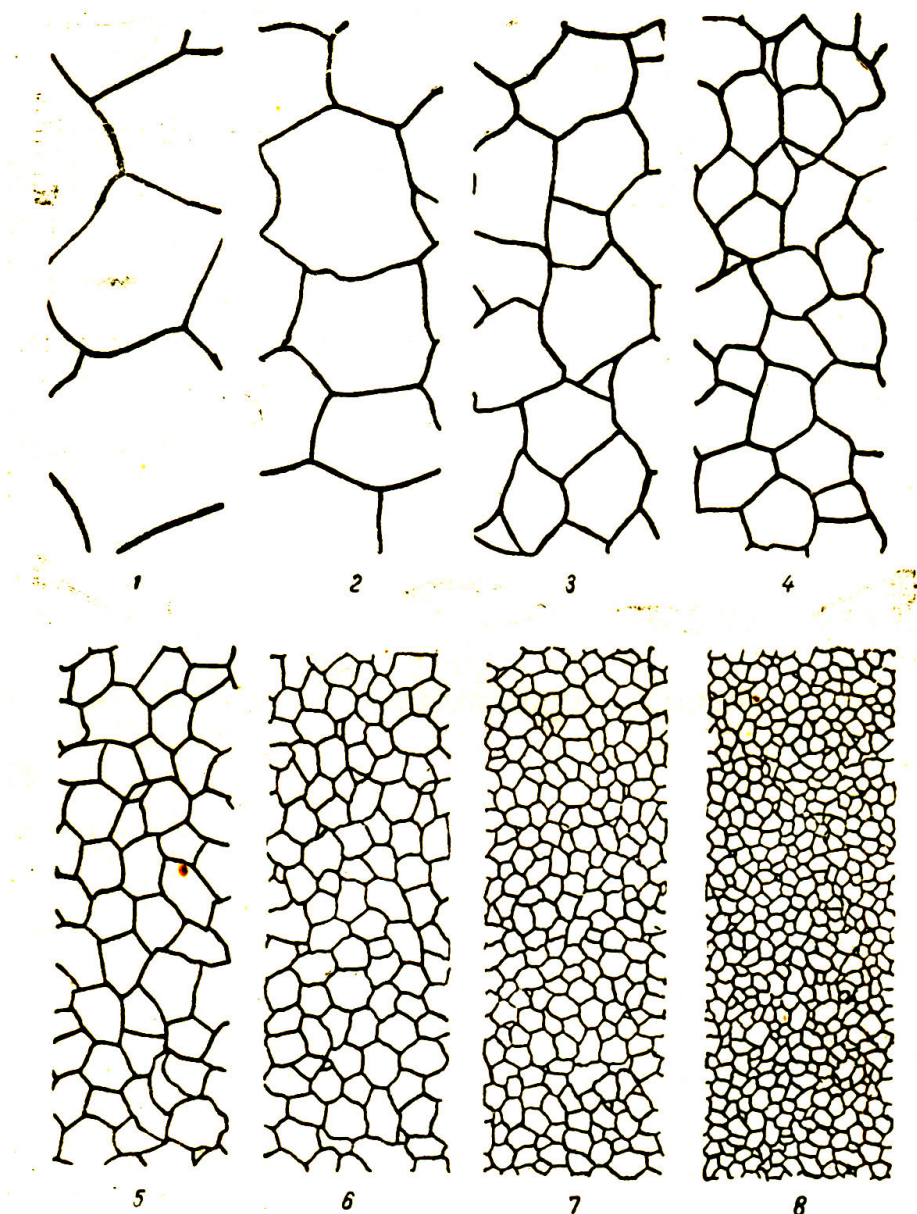


Рисунок 6.2 - Шкала стандартних розмірів зерна при збільшенні $100\times$

Контрольні питання

1. Які елементи будови металів можна вимірювати за допомогою окуляр мікрометра?
2. Чим відрізняється окуляр мікрометр від звичайного окуляра?
3. Що таке об'єкт мікрометр?
4. Як визначається ціна поділки окуляр мікрометра?
5. Яка методика визначення величини зерен за допомогою оптичного металографічного мікроскопа?
6. Як поділяються величини зерен за стандартом?
7. Як визначають номер зерна за визначеною величиною та за шкалою стандартних розмірів?

Лабораторна робота №7

**ВИЗНАЧЕННЯ КРИТИЧНИХ ТОЧОК ТА ПОБУДОВА ДІАГРАМИ
СТАНУ ПОДВІЙНИХ СПЛАВІВ**

Мета роботи. Придбати практичні навички визначення критичних точок металів і сплавів за методом термічного аналізу. Навчитися будувати діаграми подвійних сплавів на прикладі сплавів свінець-сурма.

Матеріали та обладнання. Для виконання даної лабораторної роботи необхідні такі матеріали та обладнання: електрична піч; тиглі з навісками свинцю, сурми та їх сумішей; термopapa, мілівольтметр зі шкалою від 0 до 500 мВ або зі шкалою в $^{\circ}\text{C}$ для даної термopapи.

7.1 Визначення критичних точок методом термічного аналізу

Якщо повільно охолоджувати рідкий метал (сплав), тобто відводити від нього певну кількість тепла в одиницю часу, то при цьому виникають такі процеси:

- зниження температури рідкого металу відповідно до його теплоємності (швидкість зниження температури залежить від кількості металу в тиглі та умов його теплообміну з навколишнім середовищем);
- при певній температурі утворюються центри кристалізації зерен;
- з центрів кристалізації ростуть зерна, в результаті в навколишнє середовище відводиться теплота кристалізації. У чистих металів і евтектики *температура кристалізації постійна* і тому з-за високої теплопровідності металу поки увесь метал не перейде в твердий стан, його температура остається постійною і є його *критичною точкою*. Кристалізація сплавів твердих розчинів або лишкової фази у сплавах механічних сумішах відбувається при змінній температурі. При цьому зниження температури значно уповільнюється і на графіку температура – час можна зафіксувати два зломи: верхній є *критичною точкою* (температурою) *початку процесу кристалізації*, а нижній є *критичною точкою закінчення процесу кристалізації* (твердого розчину або лишкової фази). При цьому у чистих металів і твердих розчинах процес кристалізації завершується;
- в сплавах механічних сумішах в рідкому стані ще остається рідкий розчин евтектичної концентрації. Тому в критичній точці закінчення кристалізації при постійній температурі утворюються у великій кількості центри кристалізації фазових складових евтектики та їх ріст, чим і завершується процес кристалізації. При цьому утворюються зерна евтектики, які являють суміш дуже дрібних зерен фазових складових;
- зниження температури твердого металу (сплаву) відповідно до його теплоємності та умов теплообміну з навколишнім середовищем.

При нагріванні відбуваються зворотні фазові зміни в металах і сплавах з поглинанням тепла.

Описані вище процеси, які відбуваються в металі (сплаві) при охолодженні від рідкого стану до кімнатної температури дозволяють за *методом термічного аналізу* визначити *критичні точки* для двох чистих металів, з яких створюються задані сплави та для сплавів різного співвідношення (концентрації) цих металів. За отриманими критичними точками будують *діаграму стану системи сплавів з цих двох компонентів*.

За методом термічного аналізу критичні точки визначають експериментально на установці, яка приведена на рис. 7.1.

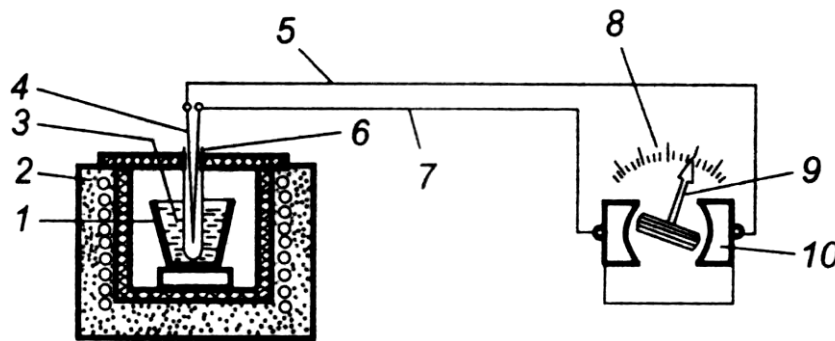


Рисунок 7.1 - Схема установки для дослідження процесу кристалізації металів методом термічного аналізу: 1 — тигель; 2 — піч; 3 — розплавлений метал; 4 — термопара; 5, 7 — провoda термопари; 6 — оболонка; 8 — шкала мілівольтметра; 9 — стрілка; 10 — мілівольтметр

Тигель 1 ставлять у піч 2, де метал 3 нагрівають до рідкого стану. Тигель з розплавленим металом виймають з печі і кладуть на азбестову або металеву підставку. У рідкий метал занурюють гарячий спай термопари 4, захищений вогнетривкою оболонкою 6. Холодні кінці термопари з'єднують проводами 5 і 7 з мілівольтметром 10, шкала 8 якого може бути в мілівольтах, а в спеціальних приладах для вимірювання температури (логометрах) градуйована відповідно до даної термопари, в градусах Цельсія. Напруга, яка виникає на холодних кінцях термопари пропорційна різниці температур гарячого й холодного кінців термопари. Тому показання стрілки 9 мілівольтметра дозволяє визначати по шкалі 8 температуру металу в тиглі.

Розплавлений метал охолоджують і записують в таблицю температуру через рівні проміжки часу. За отриманими експериментальними даними будують графік залежності температури сплаву від часу в процесі охолодження з постійною швидкістю. Такий графік залежності називають *кривою охолодження металу (сплаву)*.

За аналізом характерних для металів і сплавів зломів і горизонтальних ділянок на кривих охолодження визначають критичні точки.

Приклади кривих нагрівання і охолодження аморфного тіла і чистого металу приведені на рис. 7.2.

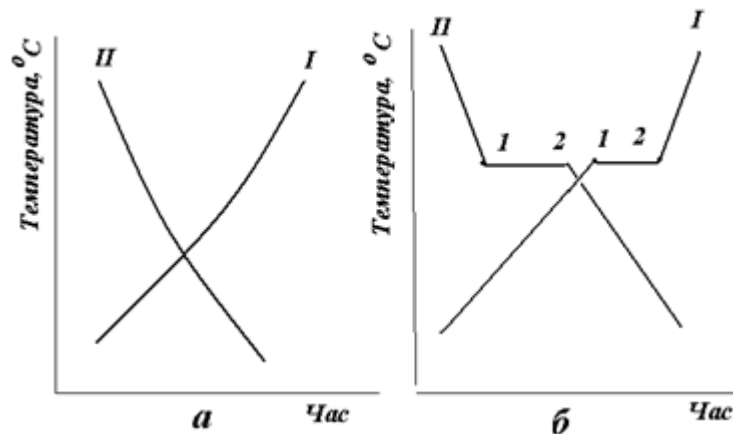


Рисунок 7.2 - Крива нагрівання (I) і охолодження (II):
 а - аморфного тіла; б - кристалічного тіла (чистого металу).

При нагріванні аморфного тіла, лінія I на рис. 7.2, а, наприклад смоли або скла, його температура в процесі плавлення буде підвищуватися поступово і безперервно. Крива охолодження II буде являти собою дзеркальне відображення кривої нагрівання.

Кристалічні речовини мають певну фіксовану температуру плавлення або кристалізації. Крива нагрівання чистого металу, побудована в осях координат час - температура, матиме вигляд лінії I, показаної на рис. 7.2, б.

Крива охолодження чистого металу засвідчує, що температура плавно знижується до точки 1. Починаючи від точки 1 (початок кристалізації) спад температури припиняється у зв'язку з виділенням прихованої теплоти кристалізації. Після переходу всього рідкого металу в кристалічний стан (точка 2) припиняється виділення прихованої теплоти кристалізації і знову настає плавне зниження температури аж до кімнатної. (рис. 7.2, б, крива II).

Точка 1 на графіку охолодження відповідає початку кристалізації, точка 2 - закінченню кристалізації. На графіку нагрівання точка 1 відповідає початку плавлення, а точка 2 - закінченню плавлення. Процеси кристалізації і плавлення чистих металів відбуваються при постійних температурах (на графіках - горизонтальна ділянка 1-2, нижче якої метал знаходиться в твердому стані, а вище - в рідкому). Тому процес кристалізації характеризується однією критичною точкою.

У сплавів твердих розчинів та до- і заевтектичних механічних сумішей процес кристалізації характеризується двома критичними точками: одна – температура початку кристалізації, а друга – температура закінчення кристалізації.

Процеси будь-яких змін в стані металу або сплаву, які спостерігаються в ньому при нагріванні або охолодженні супроводжуються відповідно поглинанням або виділенням тепла, і характеризуються відповідними критичними точками – температурами початку і закінчення перетворень.

7.2 Побудова діаграми стану подвійних сплавів

По критичних точках, визначених за кривими охолодження (температурах початку і закінчення процесів зміни стану сплавів, тобто кристалізації) будують діаграму стану сплаву.

Діаграма стану сплавів - це графічне зображення зміни структури і фазового складу сплавів в залежності від температури та концентрації.

На рис. 3 зображена діаграма стану сплавів свинець – сурма в координатах температура ($^{\circ}\text{C}$) - концентрація компонентів (%). Початок осі абсцис (вісь концентрацій) відповідає 100% свинцю і 0% сурми; кінець осі абсцис - 0% свинцю і 100 % сурми.

Лінію ACB, по якій рідкий сплав при охолодженні починає кристалізуватись (твердіти), називають лінією ліквідусу (ліквідус - рідина). Лінію DCE, по якій закінчується кристалізація сплаву, називають лінією солідус (солідус - твердий).

Сплав з концентрацією компонентів 13%Sb + 87%Pb називається евтектичним (від грецького - легкоплавкий). *Евтектичними* називаються сплави, що кристалізуються при постійній температурі (в точці С на рис. 7.3), яка значно нижче температури кристалізації складових її компонентів окремо один від одного.

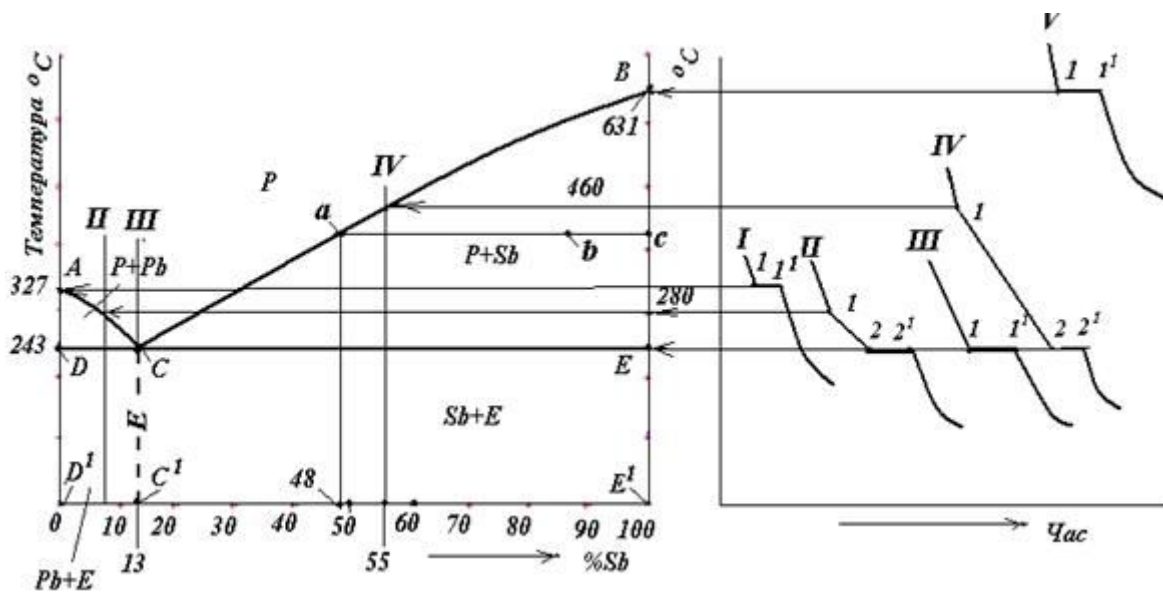


Рисунок 7.3 - Діаграма стану та криві охолодження сплавів свинець - сурма

Сплави, які мають концентрацію сурми менше, ніж евтектичний (менше 13%) і розміщені на діаграмі лівіше точки С називаються *доевтектичними*.

Сплави, що мають концентрацію сурми більше евтектичного і розміщені правіше точки С на діаграмі, називаються *зевтектичними*.

З діаграми видно, що доєвтектичні сплави мають температури початку кристалізації по лінії AC , а заєвтектичні - по лінії CB . Кінець кристалізації всіх сплавів закінчується утворенням евтектики (лінія DCE).

Сплави різної концентрації мають різну структуру, а отже і різні властивості. Вище лінії ACB сплави знаходяться у стані рідкого розчину. На ділянці ACD сплав складається з двох фаз “рідкий розчин, P ” + “кристали свинцю, Pb ”, на ділянці CBE теж з двох фаз “рідкий розчин, P ” + “кристали сурми Sb ”.

Нижче лінії DCE сплав буде у твердому стані. По лінії CC^1 – сплав евтектичний, “ E ”, на ділянці DCC^1D^1 – сплав має дві структурні складові “евтектика E ” + “кристали свинцю Pb ”, це сплав доєвтектичний. На ділянці CEE^1C^1 - заєвтектичний сплав, він має “кристали евтектики E ” + “кристали сурми Sb ”.

За приведеною діаграмою кристалізуються сплави, компоненти яких в рідкому стані необмежено розчиняються один в одному, а в твердому стані зовсім не розчиняються і утворюють механічну суміш компонентів. За такою діаграмою стану кристалізуються сплави: олово – цинк, свинець – сурма, кадмій – вісмут та інші.

7.3 Порядок виконання роботи

1. Тиглі з чистими свинцем, сурмою та трьома сплавами: доєвтектичним (6% сурми), евтектичним (13% сурми) та заєвтектичним (55% сурми) нагріти в електричній печі з автоматичним терморегулятором.

2. Виймати для охолодження тиглі потрібно в такій послідовності: евтектичний сплав – при досягненні температури 260...270 °С, доєвтектичний сплав – 290...300 °С, чистий свинець – 340...350 °С, заєвтектичний сплав – 475...480 °С, чиста сурма – 645...650 °С. Тигель з рідким металом (сплавом) поставити на підставку і занурити в нього гарячий спай термопари з оболонкою. Група студентів розбивається на п'ять підгруп. Кожна підгрупа досліджує один сплав.

3. При охолодженні металу (сплаву) фіксувати показання логометру через кожні 30 с до охолодження твердого металу (сплаву). Результати замірів внести в таблицю.

Таблиця 7.1 - Результати замірів

τ, c									
$t, ^\circ C$									

τ, c									
$t, ^\circ C$									

3. За результатами досліду побудувати в масштабі криву охолодження металу (сплаву). При цьому зручно брати масштаб 10 с = 1 мм і 10⁰С = 1 мм.

Визначити критичні точки металу (сплаву). Критичні точки досліджених сплавів звести в таблицю.

4. За критичними точками побудувати діаграму стану сплавів свинець – сурма. При цьому зручно брати такий масштаб. Для осі концентрацій $10\% = 10 \text{ мм}$ і по осі температур $100^{\circ}\text{C} = 10 \text{ мм}$.

7.4 Зміст звіту

В звіті необхідно привести:

1. Призначення методу термічного аналізу.
2. Схему установки для дослідження металів і сплавів методом термічного аналізу.
3. Таблицю з дослідними даними для заданого металу (сплаву).
4. Криву охолодження заданого сплаву з поясненням перетворень.
5. Таблицю критичних точок для побудови діаграми стану сплавів.
6. Діаграму стану сплавів з поясненням ліній та фазових і структурних складових на різних ділянках і при кімнатній температурі.

Контрольні питання

1. Що являє собою діаграма стану сплавів?
2. Які методи застосовують для побудови діаграм стану сплавів?
3. Які точки на кривих нагрівання чи охолодження називають критичними?
4. Поясніть значення термінів: евтектика, солідус, ліквідус.
5. Поясніть на діаграмі стану сплавів лінії та точки.
6. Чим пояснюється зміна швидкості охолодження сплаву?
7. Який з досліджених сплавів є евтектичним, доевтектичним, заевтектичним?

Лабораторна робота №8
АНАЛІЗ СПЛАВІВ ЗА ДІАГРАМОЮ СТАНУ ЗАЛІЗО – ЦЕМЕНТИТ

Мета роботи. Проаналізувати за діаграмою стану Fe-Fe₃C перетворення в заданому сплаві при охолодженні або нагріванні. Навчитися аналізувати у рівноважному сплаві при заданій температурі стан фаз, їх концентрацію, масове співвідношення та вплив фаз на властивості сплаву.

Матеріали та обладнання. Діаграма стану Fe-Fe₃C з описом фаз та перетворень у типових сплавах.

8.1 Діаграма стану Fe-Fe₃C - наукова основа залізовуглецевих сплавів

Для виготовлення деталей машин найбільш широко використовуються залізовуглецеві сплави – сталі і чавуни. Сталі в нагрітому стані (при структурі твердого розчину – «аустеніту») пластичні, а в холодному їх властивості (міцність, твердість, ударна в'язкість) залежать від вмісту вуглецю, легуючих елементів та термічної і іншої обробки. З сталей виготовляють відповідальні деталі: вали, осі, шестерні та інші. Чавуни – непластичні ні при яких температурах, але мають високі ливарні властивості (з-за утворення при кристалізації евтектики). Тому з них відливають деталі різної маси і складності: корпуси механізмів, станини верстатів, блоки циліндрів та інші.

Діаграма стану Fe-Fe₃C (рис. 8.1) є науковою основою залізовуглецевих сплавів і тому вміння використовувати її для аналізу і дослідження сталей і чавунів має велике теоретичне і практичне значення.

Властивості залізовуглецевого сплаву – технологічні в процесі виготовлення деталі та механічні в готовій деталі залежать не тільки від складу сплаву, а і від його структури, яку можна змінювати за певних умов. Структура може містити зерна з одного або декількох типів сплавів. Для того щоб вміти керувати утворенням структури сплаву необхідно добре розуміти процеси утворення структурних складових в рівноважних умовах, які характеризують діаграми стану сплавів Fe-Fe₃C та Fe-C.

8.2 Компоненти, фази і структурні складові сталей та чавунів

Компоненти – речовини, з яких складається сплав. Одним з компонентів сплаву може бути чистий метал або хімічна сполука, якщо вона не дисоціює на складові. Компонентами залізовуглецевих сплавів є *залізо* (основа) і *вуглець*. Теоретично за діаграмою, *сталі* - сплави, які містять до 2,14%С, а чавуни – вище 2,14%С і до 6,67%С. На практиці в різних сталях вміст вуглецю складає 0,05...1,5%, а в чавунах 2,4...3,8%. При більшій кількості вуглецю сталі і чавуни дуже крихкі, а тому не придатні для виготовлення виробів.

Структурними складовими називають елементи будови сплаву які досліджуються. **Фазою** називають однорідну за хімічним складом і станом частину сплаву, відділену від інших поверхнею розділу. Фазою сплаву може бути: рідкий або твердий розчин, хімічна сполука, чистий метал.

В сталях і чавунах фази – *рідкий розчин, аустеніт, ферит, цементит, графіт*. Структурні складові - *аустеніт, ферит, цементит, графіт, перліт та ледебурит*. В діаграмі складові позначаються першою літерою назви.

Рідкий розчин (Р) являє собою необмежений рідкий розчин заліза та вуглецю, що поширюється вище від лінії ліквідусу *ABCD* (рис. 8.1).

Ферит (Ф) - твердий розчин вуглецю у α -Fe, що має об'ємноцентровану кубічну решітку (ОЦК). Розчиняє до 0,02%С при 727°C і 0,006%С при 0°C. Має малу твердість, близько 60НВ.

Аустеніт (А) - твердий розчин вуглецю у γ -Fe, що має гранецентричну кубічну решітку (ГЦК). Максимальна розчинність вуглецю при 1147°C досягає 2,14%С (т. *E*). Більша розчинність вуглецю в γ -Fe, ніж в α -Fe пояснюється більшим розміром пор решітки.

Ферит і аустеніт - фази м'які та пластичні, оскільки, як тверді розчини, зберігають основні властивості металу-розчинника - *заліза*.

Цементит - хімічна сполука, карбід заліза Fe_3C , що містить 6,67 % С. Має дуже високу твердість (близько 800 НВ) і крихкість. Водночас, цементит виявляє електричну провідність та слабкі феромагнітні властивості (до точки Кюрі - 217°C). Температура плавлення цементиту 1260°C. Цементит – нестабільна фаза – при температурі 950°C і вище – за декілька годин розпадається на залізо і графіт. На цьому явищі заснований відпал білого чавуну (з цементитом) на ковкий (з графітом).

Графіт у вигляді включень певної форми може утворюватись в основному у чавунах замість цементиту. Залежно від методу отримання чавуну включення можуть мати різну форму. Графіт має шарувату гексагональну решітку. Велика відстань і слабкі зв'язки між шарами решітки графіту пояснюють, чому графіт є найменш міцною фазою у залізовуглецевих сплавах (лусочки графіту легко відшаровуються – на цьому базується використання графіту для олівців). Температура плавлення графіту – майже 3500°C, густина 2,5 г/см³.

При підвищених швидкостях охолодження сплавів у результаті процесу кристалізації утворюється цементит. Утворення графіту спостерігається тільки в високовуглецевих сплавах у випадку їх повільного охолодження або при деяких ізотермічних витримках та добавках у рідкий сплав. В сплавах із зниженим вмістом вуглецю утворення графіту малоімовірно.

Перліт (евтектоїд) – дрібна механічна суміш фериту і цементиту, містить 0,8%С, твердість близько 200НВ. Може мати пластинчасту або зернисту будову.

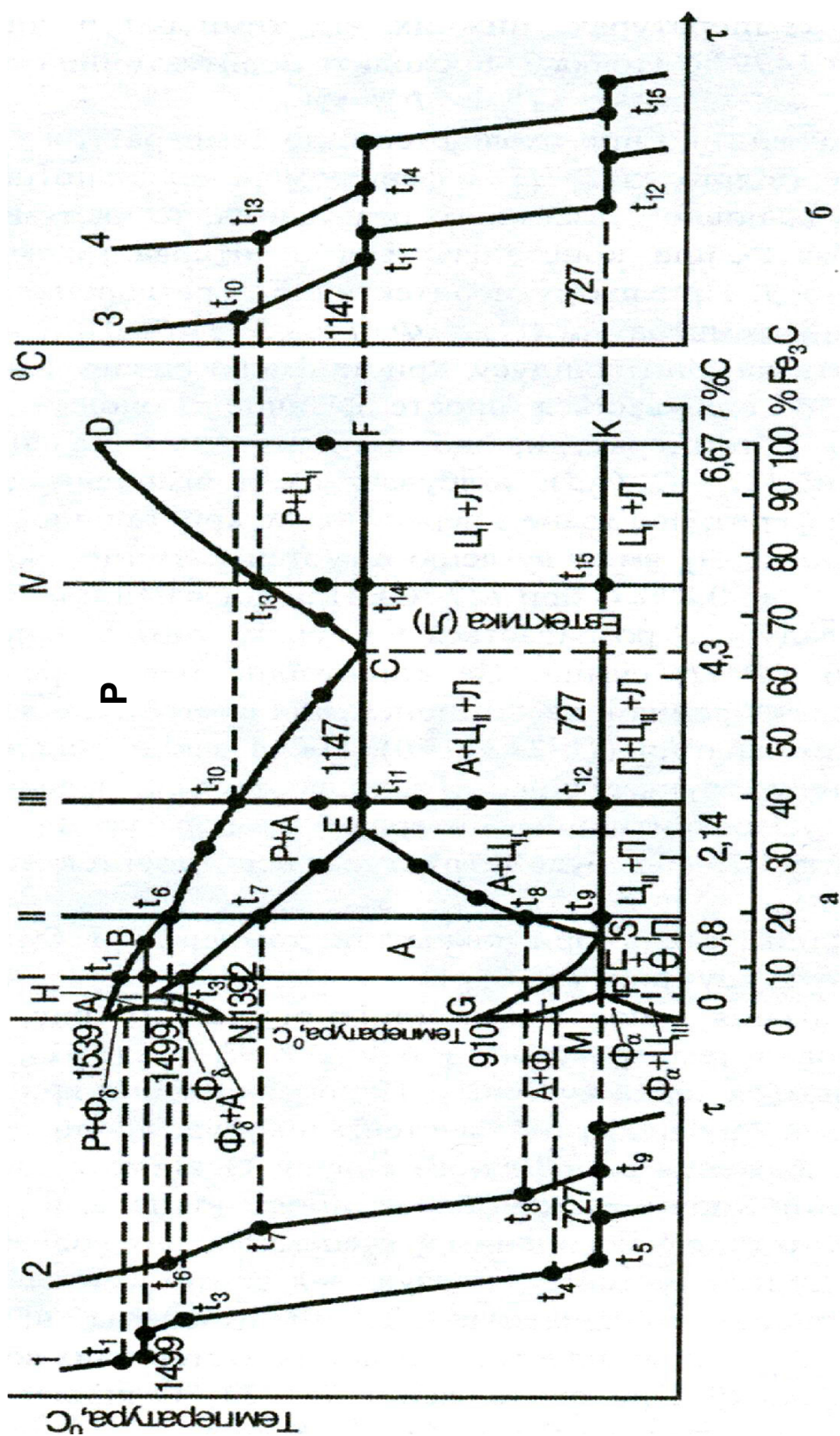


Рисунок 8.1 - Діаграма стану системи сплавів залізо - цементит та криві охолодження сталей (а) і чавунів (б): I – сталь доєвтектоїдна; II – сталь заєвтектоїдна; III – чавун доєвтектичний; IV – чавун заєвтектичний

Ледебурит (евтектика) – механічна суміш аустеніту і цементиту при температурі вище 727°C. При нижчій температурі замість аустеніта містить перліт.

В чавунах при певних умовах замість цементиту може частково або повністю утворюватися графіт (*графітні евтектоїд та евтектика*), а також *подвійна або потрійна фосфідні евтектики*.

Евтектика має меншу температуру плавлення і надає чавуну високих ливарних властивостей.

8.3 Формування структур залізовуглецевих сплавів за діаграмою стану залізо – цементит (Fe-Fe₃C)

На рис. 9.1 зображена діаграма стану системи сплавів Fe-Fe₃C та ряд типових кривих охолодження сталей і чавунів.

Залізовуглецеві сплави, що вміщують до 0,025 % С (т. Р), називають *технічним залізом*. Залізовуглецеві сплави із вмістом вуглецю до 2,14 % називаються *сталями*. Причому сталі із складом до 0,8 % С (тобто до евтектоїдної точки S називають *доевтектоїдними*, сталь з 0,8 % С - *евтектоїдною*, а сплави із вмістом вуглецю більше ніж 0,8 % С (за точкою S) - *заевтектоїдними* сталями.

Опис формування структур типових залізовуглецевих сплавів проводиться з використанням правила фаз і правила відрізків.

Приклад аналізу перетворень у сплаві І. Сплав І – сталь доевтектоїдна, тому, що містить вуглецю 0,4%, що менше ніж 0,8%С (рис. 1).

При охолодженні доевтектоїдної сталі І до температури точки t_1 відбувається охолодження рідкої фази і зниження її температури.

Від точки t_1 на лінії ліквідусу АВ в рідині утворюються центри кристалізації і ріст зерен фериту з рідкої фази. Важливо також пам'ятати, що в реальних умовах кристалізація починається при умові переохолодження рідкого сплаву.

При температурі 1499 °С (точка t_2). проходить перитектичне перетворення, під час якого із фериту, 0,1%С (зліва, т. Н) і рідкого розчину, 0,5%С (справа, т. В) утворюється аустеніт концентрації J (0,16%С). Це перетворення відбувається при постійній температурі.

Частина рідини при цьому залишилася і від точки t_2 до точки t_3 рідина перетворюється в аустеніт. При температурі точки t_3 , що лежить на лінії солідусу, кристалізація сплаву І закінчується.

Від точки t_3 до точки t_4 відбувається охолодження аустеніту без фазових перетворень.

Починаючи з температури, що відповідає точці t_4 на лінії GS і до температури 727 °С (точка t_5), відбувається поліморфне перетворення аустеніту на ферит, пов'язане з перебудовою кристалічної решітки ГЦК на

ОЦК. При цьому вміст вуглецю в аустеніті змінюється по лінії GS від т. t_4 до т. S (до 0,8%С при 727 °С).

При досягненні температури t_5 аустеніт складу т. S розпадається на перліт, тобто утворює *ферито-цементитну* ($\Phi + Ц$) суміш. Це евтектоїдне перетворення, відбувається при постійній температурі. Після закінчення евтектоїдного перетворення у структурі сплаву і залишаються зерна фериту, що утворилися у міжкритичному інтервалі температур $t_4 \dots t_5$ та зерна перліту, що утворилися в критичній точці t_5 .

8.4 Завдання

1. Зарисувати діаграму стану «залізо – цементит», приблизно в масштабі, та нанести на ній вертикальну лінію охолодження сплаву, заданого варіантом завдання.

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8
%C	0,8	1,2	3	4,3	5,5	0,6	1,5	2,5

- При цьому справа від діаграми залишити місце і провести на ньому осі координат «температура – час» для побудови поруч з діаграмою кривої охолодження заданого сплаву.
2. Побудувати криву охолодження сплаву та описати фазові та структурні перетворення при охолодженні починаючи від рідкого стану до кімнатної температури. При цьому вказувати як змінюється склад фаз при перетвореннях. Проаналізувати вплив фаз на властивості сплаву в різних температурних зонах. По ходу опису приводити визначення і характеристики утворюваних фаз і структурних складових та їх вплив на властивості сплаву.
 3. Визначити масове співвідношення фаз і структурних складових сплаву в охолодженому стані.
 4. Визначити твердість сплаву згідно правила відрізків, враховуючи, що всі залізовуглецеві сплави у рівноважному стані є механічною сумішшю фериту і цементиту.
 5. Порівняти твердість заданого сплаву з твердістю технічного заліза (фериту) при кімнатній температурі.

Контрольні питання

1. Як впливає вуглець на температуру поліморфного перетворення заліза?
2. Які фази можуть утворюватися в залізовуглецевих сплавах?
3. Які структури можуть утворюватися в залізовуглецевих сплавах?
4. Які перетворення називаються евтектичним, евтектоїдним, перитектичним в залізовуглецевих сплавах?
5. Які структури називається ледебуритом, перлітом?

АНАЛІЗ МІКРОСТРУКТУРИ ЗАЛІЗА І ВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ У РІВНОВАЖНОМУ СТАНІ

Мета роботи. Проаналізувати мікроструктури заліза і вуглецевих сталей у рівноважному стані. За мікроструктурою визначити вміст вуглецю, властивості та приблизні марки сталей за стандартами.

Устаткування, інструменти, матеріали. Металографічний мікроскоп МІМ-8М; мікрошліфи вуглецевих сталей у рівноважному стані; фотографії мікроструктур заліза і вуглецевих сталей, стандарти на співвідношення фериту і перліту в доєвтектоїдних сталях та марки сталей.

9.1 Загальні відомості про склад і мікроструктуру сталей

Сталі - сплави заліза з вуглецем, що містять вуглецю приблизно до 2%, на практиці - не більше 1,3...1,5%С (при вмісту 1,2%С і більше міцність сталі зменшується з-за значної кількості крихкого цементиту).

В сталях містяться також постійні домішки Mn (до 0,8%), Si(до 0,35%), S (0,035...0,06%), P (0,025...0,045%), та ін. Їх кількість регламентується стандартами. Mn та Si підвищують механічні властивості сталі (вводяться для розкислення). Але Si зменшує спроможність сталі до холодного штампування, що слід ураховувати при виборі сталі. S і P - шкідливі домішки, що погіршують якість сталі. S надає сталі “червоноламкість”, а P – “холодноламкість”.

Мікроструктуру вуглецевих сталей у рівноважному стані характеризує ліва (від 2,14%С) частина діаграми стану залізо - цементит (рис. 9.1).

Між лініями *AE* та *GSE*, структура сталі – *аустеніт (А)* і сталь пластична.

Аустеніт - твердий розчин вуглецю в γ -Fe. При 1147°C розчиняє від 0 до 2%С, а при охолодженні до 727° С розчинність обмежується і наближається до 0,8%С. Причому, якщо в сталі $C < 0,8\%$, то починаючи з лінії *GS* виділяється лишок заліза у вигляді фериту, а якщо $C > 0,8\%$, то починаючи з лінії *SE* виділяється лишок вуглецю у вигляді цементиту. Таким чином при 727°C аустеніт містить 0,8%С (позначають - $A_{0,8\%C}$). В аустенітному стані сталь пластична.

Структурними складовими вуглецевих сталей при температурі нижче 727°C (лінія *PSK*) є *ферит (Ф)*, *цементит (Ц)* і *перліт (П)*.

Ферит - це твердий розчин вуглецю в α -Fe. Розчиняє 0,02%...0,006%С при 727...0°C. Має малу твердість, приблизно *HB60*, *підвищує в'язкість сталі*.

Цементит - хімічна сполука Fe_3C (карбід заліза), яка містить 6,67% вуглецю. Має високу твердість, *HB800*, *підвищує твердість і міцність сталі*.

Перліт – евтектоїд, дрібнозерниста механічна суміш фериту і цементиту, яка містить 0,8 %С. Перліт утворюється з аустеніту ($A_{0,8\%C}$) при постійній

температурі 727°C в процесі охолодження з-за перетворення $\gamma\text{-Fe}$ в $\alpha\text{-Fe}$. До перетворення, тобто в кристалічній решітці $\gamma\text{-Fe}$ було $0,8\%\text{C}$ ($A_{0,8\%\text{C}}$), а після перетворення, тобто в $\alpha\text{-Fe}$ тільки $0,02\%\text{C}$ ($\Phi_{0,02\%\text{C}}$). Лишок вуглецю виділяючись з решітки утворює з залізом хімічну сполуку - Fe_3C ($\text{Ц}_{6,67\%\text{C}}$). Таким чином при 727°C при охолодженні $A_{0,8\%\text{C}} \rightarrow \Phi_{0,02\%\text{C}} + \text{Ц}_{6,67\%\text{C}} = \text{П}_{0,8\%\text{C}}$. Твердість перліту приблизно $\text{HB}200$.

За мікроструктурою залежно від вмісту вуглецю розрізняють технічне залізо, доєвтектоїдні, евтектоїдні і заєвтектоїдні сталі.

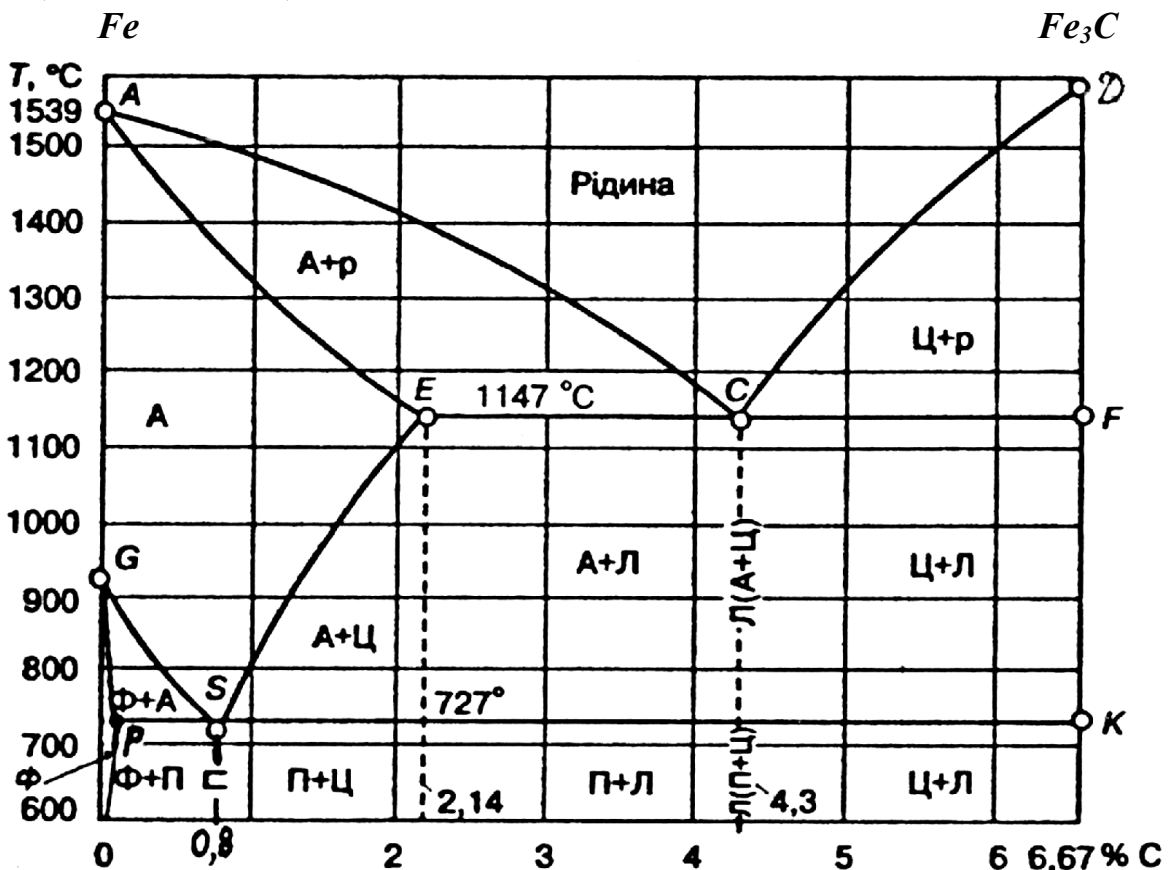


Рисунок 9.1 - Діаграма стану залізо (Fe) – цементит (Fe_3C)

9.2 Мікроструктура заліза

Точка P на лінії PSK (рис. 9.1) відповідає найбільшій розчинності вуглецю в фериті (Φ) - $0,02\%\text{C}$. На діаграмі $OPG0$ – ділянка фериту. Лінія $P0$ показує зменшення розчинності вуглецю в фериті ($\Phi_{0,02\%\text{C}} \rightarrow 0,006\%\text{C}$) із зниженням температури від 727°C до 0°C . В цьому процесі виділяється цементит, який називають третинним цементитом. Отже структура сплавів під лінією $P0$ складається з фериту і надлишкового третинного цементиту (Ц_{III}). Склад фериту при цьому визначається лінією $P0$. Сплави, розміщені вліво від точки 0 після остаточного охолодження складатимуться тільки з фериту.

У найбільш чистому технічному залізі міститься більше 99,84% Fe і менше 0,02% C. Мікроструктуру технічно чистого заліза показано на рис.10.2.

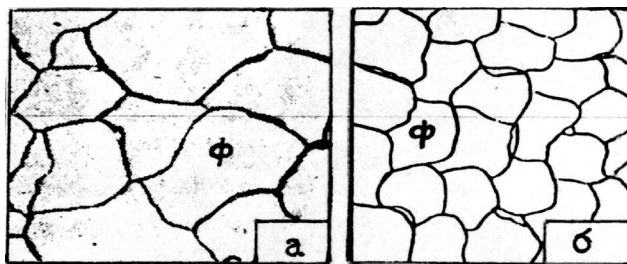


Рисунок 9.2 - Мікроструктура технічно чистого заліза: а – під мікроскопом, б – схематичне зображення; темні лінії - межі зерен фериту, світле поле - зерна фериту, а темні частки - неметалеві включення

9.2 Мікроструктура доєвтектоїдної сталі

При охолодженні сталі від лінії AE до GS (рис.9.1) фазових перетворень не відбувається, сталі мають однофазну будову - аустеніт. При температурі A_3 (точки на лінії GS) в аустеніті утворюються центри кристалізації фериту, тому що в сталі при $C < 0,8\%$, лишок заліза порівняно з евтектоїдом. При подальшому охолодженні до A_1 з центрів ростуть зерна фериту і в точці A_1 на лінії PS в аустеніті немає надлишкового заліза, а вміст вуглецю складає 0,8%. Тобто при охолодженні від A_3 до A_1 концентрація вуглецю в аустеніті зростає відповідно лінії $A_3 - S$ (згідно правила відрізків) і на лінії PS ($A_1 = 727^\circ C$) досягає 0,8%С. На ділянці між лініями GS і PS сталь має двофазну структуру - аустеніт і ферит.

В процесі подальшого охолодження при постійній температурі $727^\circ C$ у всіх сталях відбуваються евтектоїдні перетворення: аустеніт розпадається з утворенням перліту ($P = \Phi + \Pi$). Доєвтектоїдні сталі (до 0,8%С) після остаточного охолодження мають мікроструктуру, яка складається з перліту і фериту. Чим вища концентрація вуглецю, тим більше в сталі перліту і менше фериту. На рис. 10.3 показано мікроструктуру доєвтектоїдної сталі: світлі зерна — ферит, темні — перліт. Чим вище збільшення мікроскопу, тим чіткіше видно смугасту будову перліту.

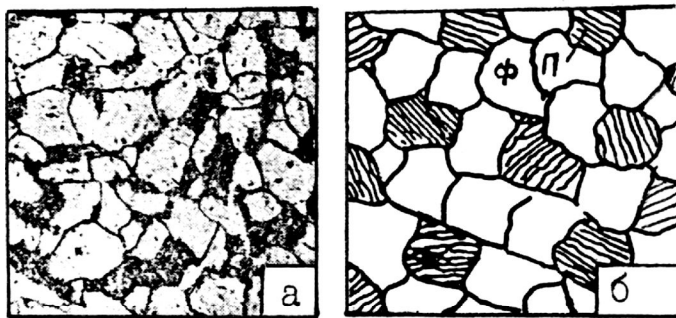
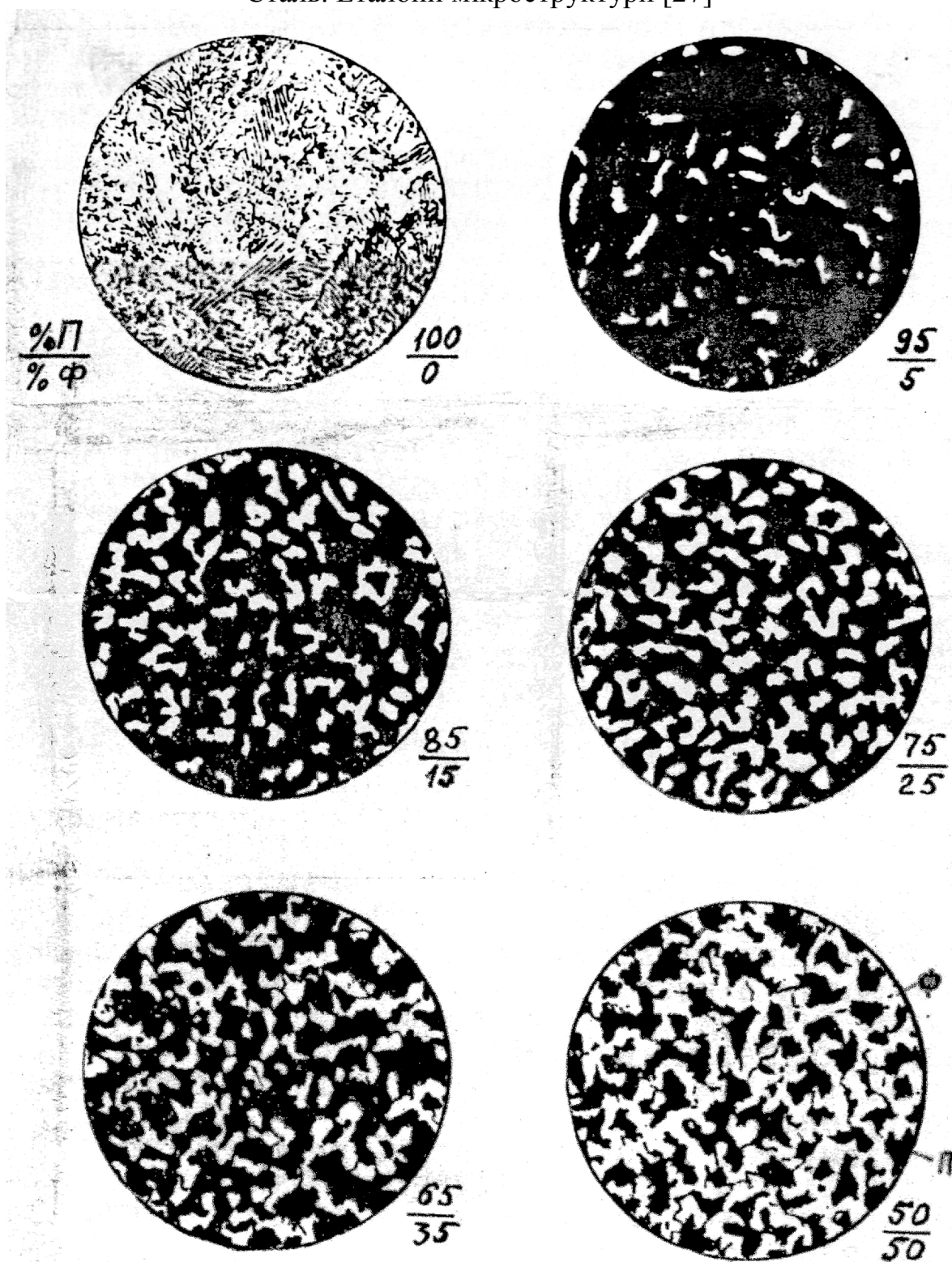


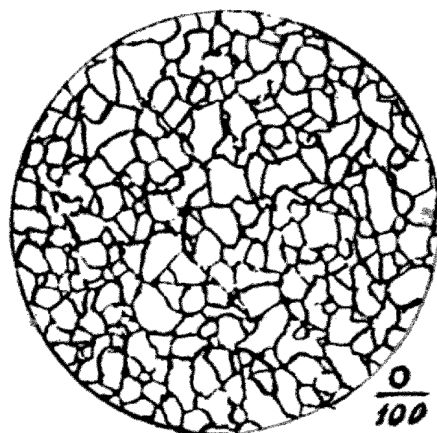
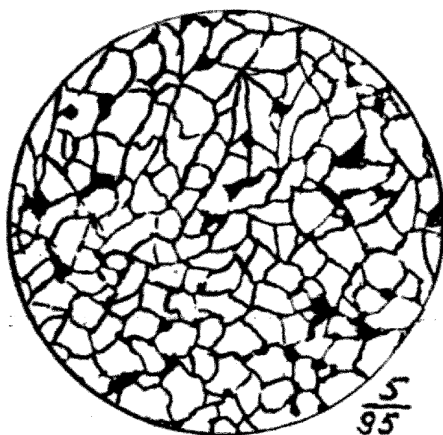
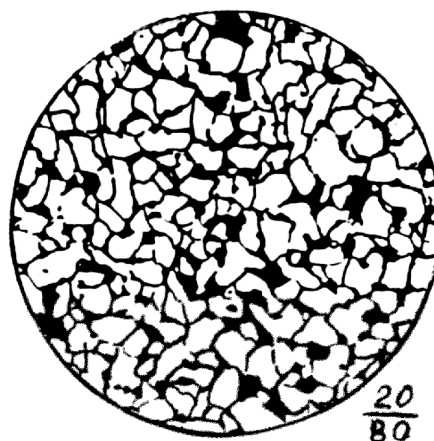
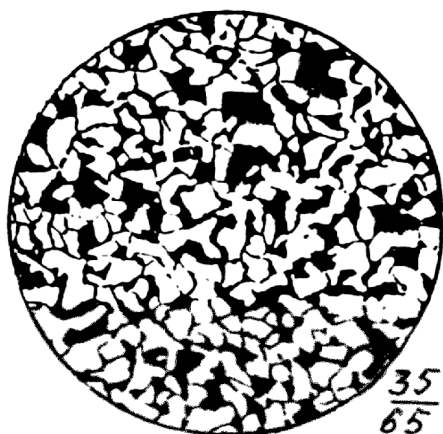
Рисунок 9.3 - Мікроструктура доєвтектоїдної сталі:
а – під мікроскопом, б – схематичне зображення

Визначення вмісту вуглецю в заевтектоїдній сталі металографічним способом. Структуру сталі, що досліджується, порівнюють зі стандартними структурами («Шкала співвідношення перліта і ферита»), які приведені нижче.

Шкала 7. Співвідношення перліта і ферита $\times 100$

Сталь. Еталони мікроструктури [27]





Вибравши подібну структуру за співвідношенням світлих і темних зерен визначають у відсотках вміст перліту (темних зерен, в чисельнику) в сталі. Ферит практично вуглець не містить, тому кількість вуглецю в доевтектоїдній сталі пропорційна кількості перліту:

- якщо в структурі 100%*П*, то в сталі буде 0,8%*С*;
- якщо в структурі *x*%*П*, то в сталі буде *y*%*С*.

Склавши пропорцію можна визначити кількість вуглецю в заданій сталі за формулою

$$y\%C = \frac{x\%П \times 0,8\%C}{100\%}$$

Для визначення марки вуглецевої якісної конструкційної сталі слід $y\%C \times 100$, а останню цифру заокруглити до 0 або до 5. Наприклад, якщо $y\%C = 0,48$ або $y\%C = 0,52$ то 48 або 52 заокруглюємо 50. Марка вуглецевої якісної сталі буде 50 ГОСТ 1050-88. Вуглецеві якісні конструкційні сталі маркуються двозначним числом: 05, 08, 08кп, 10, 10кп, 15, 20, 25, 30,...80. Число в марці вказує середню кількість вуглецю в сотих долях. Тому по марці за діаграмою залізо – цементит можна визначити критичні точки сталі для призначення температур термічної або інших методів гарячої обробки.

9.4 Мікроструктура евтектоїдної сталі

Евтектоїдна сталь містить 0,8%С. Її мікроструктура складається з *перліту* (рис. 10.4). За вмістом 0,8%С сталь вуглецева якісна конструкційна марки 80 ГОСТ 1050-88 або інструментальна, марка У8 ДСТУ 3833-98. (В марках вуглецевої інструментальної якісної сталі У7, У8, У9, У10, У11, У12, У13 та високоякісної від У7А до У13А число означає кількість вуглецю в десятих долях.)

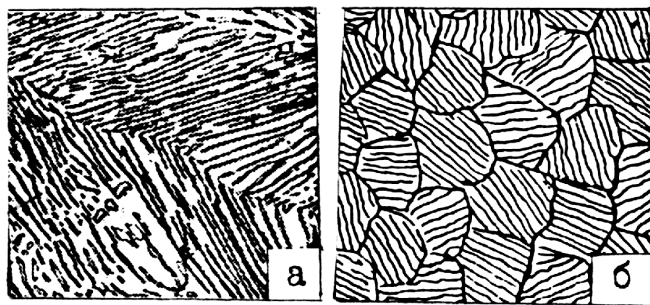


Рисунок 9.4 - Мікроструктура евтектоїдної сталі У8 ДСТУ 3833-98:
а – під мікроскопом, б – схематичне зображення

9.5 Мікроструктура заевтектоїдної сталі

При охолодженні сталі, що містить $\%C > 0,8$ при температурі A_m , що відповідає точкам лінії *ES* (рис. 9.1) на границях зерен аустеніту утворюються центри кристалізації цементиту (з-за лишку вуглецю, $\%C > 0,8$). При зниженні температури до лінії *SK* аустеніт збіднюється вуглецем, який виділяється у вигляді *цементиту* на границях зерен аустеніту. Для відзнаки від цементиту, що виділяється з рідини його називають *вторинним*. Отже, при температурах нижче лінії *ES* маємо двофазну будову - *аустеніт + вторинний цементит*.

Після досягнення температури 727°C концентрація вуглецю в аустеніті становить 0,8% і при постійній температурі він розпадається на дрібну суміш фериту і цементиту (евтектоид), тобто зерна аустеніту перетворюються в зерна *перліту*. Таким чином, структура заевтектоїдної сталі після остаточного охолодження складатиметься з *перліту і сітки вторинного цементиту*.

На рис. 9.5 біла сітка - *вторинний цементит*, а в середині сітки розташовані зерна пластинчастої будови - *перліт*.

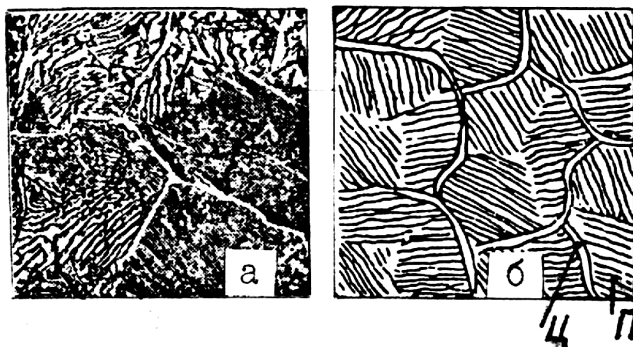


Рисунок 9.5 - Мікроструктура заевтектоїдної сталі У12 ДСТУ 3833-98:
а – під мікроскопом, б – схематичне зображення

Щоб розрізнити заевтектоїдну і доевтектоїдну сталь, тобто визначити чи світла сітка феритна чи цементитна, проводять контрольне травлення мікрошліфа пікратом натру. Пікрат натру забарвлює цементит у темно-коричневий колір, а ферит залишається світлим.

Вуглецеві сталі не теплостійкі – їх міцність падає при 150...250°C, що слід враховувати при виборі сталей для деталей та ріжучого інструменту.

9.6 Залежність властивостей сталі від вмісту вуглецю

Структура сталі після повільного охолодження складається з двох фаз – фериту і цементиту. При збільшенні вмісту вуглецю пропорційно зростає кількість крихких і твердих (HB800) зерен цементиту, що таким чином впливає на властивості сталі (рис. 9.6):

- підвищує твердість (HB), границю міцності (σ_s), границю текучості ($\sigma_{0,2}$);
- зменшує відносне подовження (δ), відносне звужування (ψ), ударну в'язкість (KCV) та тріщиностійкість;
- границя міцності спочатку росте, а потім зменшується (з-за крихкості цементиту). Тому сталі з вмістом вуглецю $C > 1,3\%$ не використовують.

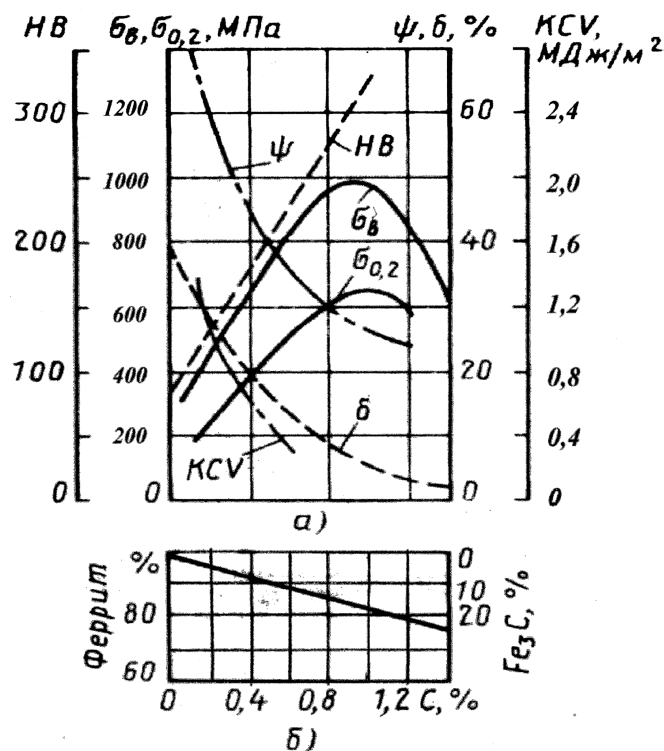


Рисунок 9.6 - Вплив вуглецю: а - на механічні властивості сталі, б – на співвідношення між феритом і цементитом.

9.7 Завдання

Проаналізувати мікроструктури, склад і властивості заліза, доевтектоїдної, евтектоїдної і заевтектоїдної сталей у рівноважному стані.

Виконати звіт згідно приведеної нижче форми (п. 10.8) та відповісти на контрольні запитання.

9.8 Форма звіту

Лабораторна робота №9

Мікроструктурний аналіз заліза і вуглецевих сталей у рівноважному стані

Мета роботи. Проаналізувати мікроструктури заліза і вуглецевих сталей у рівноважному стані. За мікроструктурою визначити вміст вуглецю, властивості та приблизні марки сталей за стандартами.

1 Залізо

Схема мікроструктури



Структурні складові та їх властивості

2 Сталь доевтектоїдна

Схема мікроструктури



Структурні складові та їх вплив на властивості сталі

Визначення вмісту вуглецю та марки сталі за її мікроструктурою
Зарисовану схему мікроструктури порівнюємо з мікроструктурами за *шкалою співвідношення перліта і ферита*. Визначаємо найбільш подібну структуру і відповідний вміст перліту (%P). За вмістом перліту визначаємо кількість вуглецю в сталі

$$y\%C = \frac{x\%P \times 0,8\%C}{100\%}$$

Марка вуглецевої конструкційної якісної сталі визначається добутком $y\%C \times 100$ з послідуєчим заокругленням останньої цифри до 0 або до 5. Тобто марка сталі _____.

3 Сталь евтектоїдна

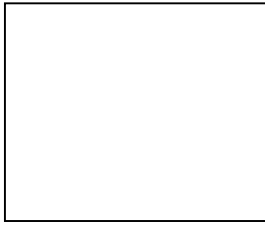
Схема мікроструктури



Структурні складові та їх вплив на властивості сталі

4 Сталь заевтектоїдна

Схема мікроструктури



Структурні складові та їх вплив на властивості сталі

5 Аналіз властивостей та можливого використання розглянутих сталей (залежно від вмісту вуглецю та структури за діаграмою стану):

- зарисувати ділянку сталі з діаграми стану залізо – цементит;
- провести на діаграмі вертикальні лінії процесів нагрівання – охолодження розглянутих сталей та позначити на лініях відповідні критичні точки A_1 , A_3 , A_m , за якими призначають режими термічної обробки, записати значення критичних точок (наприклад, $A_1=727^\circ\text{C}$, $A_3=\dots$);
- визначити властивості (HB, σ_s , δ , KCV), та призначення сталей залежно від вмісту вуглецю та структури (рис. 9.6).

Контрольні питання

1. Який вміст вуглецю в сталях, що використовуються в технології машинобудування?
2. Як впливає вміст вуглецю на рівноважну структуру сталі? Вкажіть твердість фериту, цементиту та перліту. Чому дуже відрізняється твердість цементиту від твердості фериту? Який недолік має цементит, які властивості сталі він підвищує? Які властивості підвищує ферит?
3. Поясніть, як змінюються твердість, міцність та в'язкість сталі при збільшенні кількості вуглецю.
4. Проаналізуйте і визначте за графіком (дод.2) при яких кількостях вуглецю сталі у рівноважному стані мають: високу в'язкість; високу твердість; найвищу міцність; середнє співвідношення міцності і в'язкості, достатнє для відповідальних деталей машин.
5. З яким вмістом вуглецю сталі використовують як конструкційні матеріали?
6. З яким вмістом вуглецю сталі використовують як інструментальні матеріали?
7. При якому вмісті вуглецю сталі гартуються?

Лабораторна робота №10 АНАЛІЗ МІКРОСТРУКТУРИ ЧАВУНІВ

Мета роботи. Проаналізувати мікроструктури і властивості білих, сірих, з вермикулярним графітом, ковких та високоміцних чавунів. За властивостями вказати можливе використання кожного з чавунів.

Устаткування та матеріали. Металографічний мікроскоп МІМ-8М, мікрошліфи чавунів, фотографії мікроструктур білого доевтектичного, сірого, з вермикулярним графітом, ковкого та високоміцного чавунів.

10.1 Основні відомості про чавуни

Чавуни - залізовуглецеві сплави, що відрізняються від сталі більшим вмістом вуглецю, містять більше 2%С.

Згідно діаграми $Fe-Fe_3C$ (рис. 10.1) чавуни у відзнаку від сталі мають при $1147^{\circ}C$, в процесі кристалізації, евтектичне перетворення ($P_{4,3\%C} \rightarrow L$), яке надає чавунам високі ливарні властивості: добру рідкотекучість, малу усадку (близько 1%), невисоку температуру плавлення ($1100 \dots 1200^{\circ}C$).

При охолодженні від критичних точок на лінії ACD до ECF ($1147^{\circ}C$) в доевтектичному чавуні ($C < 4,3\%$) *лишок заліза* перетворюється в *аустеніт* (A), а в заевтектичному ($C > 4,3\%$)- *лишок вуглецю* перетворюється в *цементит* ($Ц$). *Аустеніт* при $727^{\circ}C$ перетворюється в *перліт* ($A_{0,8\%C} \rightarrow P$). Але при $t > 727^{\circ}C$ в аустеніті чавуна $C > 0,8\%$ і цей лишок вуглецю в інтервалі температур $1147 \rightarrow 727^{\circ}C$ перетворюється в *цементит*. При певних умовах замість цементиту може утворюватися *графіт*, що зменшує міцність, але надає можливість оброблювати чавуни стальними ріжучими інструментами.

За високих ливарних властивостей, крихкості і меншої порівняно зі сталями міцності чавуни широко застосовують для лиття станин, корпусів та інших заготовок деталей складної конфігурації і різної маси.

На властивості чавунів найбільший вплив має вуглець, який може утворювати фазові складові - цементит або графіт різної форми [26].

Цементит ($Ц$) - хімічна сполука Fe_3C , яка містить 6,67% С, має дуже високу твердість 800НВ (загартована сталь має 700НВ) та крихкість. Утворенню цементиту сприяють прискорення охолодження та збільшення вмісту марганцю, хрому, вольфраму, сірки тощо.

Включення графіту (Gr) розділяють металеву основу, діють як порожнини та надрізи і при навантаженнях стають концентраторами механічних напружень. Це зменшує міцність чавуна та надає йому крихкість. Найбільший вплив має форма графітових включень [26]: найбільше розділяє металеву основу і знижує міцність пластинчастий графіт, найменше - кульковий. Утворенню графіту сприяють зменшення швидкості охолодження та збільшення вмісту *кремнію*, вуглецю, нікелю, міді тощо.

У доєвтектичному чавуні зі збільшенням вмісту вуглецю від 2%С до 4,3%С ливарні властивості підвищуються, а механічні (міцність, в'язкість) знижуються. Заєвтектичний чавун дуже крихкий, тому не використовується.

У машинобудуванні маркують і використовують доєвтектичні чавуни з вуглецем у вигляді графіту, в яких зміст вуглецю становить 2,4 ... 3,8%.

Чавун називають залежно від стану вуглецю: без графіту – “білий”, а з графітом, залежно від форми графіту [26] – “сірий”, “з вермикулярним графітом”, “ковкий”, “високоміцний” (табл. 10.1). Чавуни маркують за назвою та механічними властивостями згідно міждержавних стандартів - ГОСТ (“Государственный стандарт») та Державних стандартів України – ДСТУ.

Таблиця 10.1 - Стан і вигляд вуглецю, назви і приклади марок чавунів

В у г л е ц ь				Назва: <i>чавун</i>	Приклади марок за стандартами
Стан	Структурна складова				
	назва	позначення	вигляд		
Fe ₃ C	<i>цементит</i>	Ц	світлі ділянки	<i>білий</i>	не маркується
Гра-фіт	<i>Графіт пластинчастий</i>	Гр _{пл-нч}		<i>сірий</i>	СЧ25, ГОСТ1412-85
	<i>Графіт вермикулярний</i>	Гр _{верм}		<i>з вермикулярним графітом</i>	ЧВГ 400-4, ДСТУ 3926-99
	<i>Графіт пластівчастий</i>	Гр _{пл-вч}		<i>ковкий</i>	КЧ 35-10, ГОСТ1215-79
	<i>Графіт кульковий</i>	Гр _{кул}		<i>високоміцний</i>	ВЧ 800-2, ДСТУ 3925-98

Розшифровка марок чавуну, приведених в табл. 10.1:

СЧ 25 - сірий чавун (СЧ);

25 – границя міцності при розтягуванні, $\sigma_s = 250 \text{ МПа}$ (25 кгс/мм^2);

ЧВГ 400-4 - чавун з вермикулярним графітом (ЧВГ, [29]);

400 – границя міцності при розтягуванні, $\sigma_s = 400 \text{ МПа}$;

4 – відносне подовження, $\delta = 4\%$.

КЧ 35-10 - ковкий чавун (КЧ);

35 - границя міцності при розтягуванні, $\sigma_s = 350 \text{ МПа}$ (35 кгс/мм^2);

10 – відносне подовження, $\delta = 10\%$;

ВЧ 800-2 - високоміцний чавун (ВЧ);

800 - границя міцності при розтягуванні, $\sigma_s = 800 \text{ МПа}$;

2 - відносне подовження, $\delta = 2\%$.

Металева основа у чавунах з пластинчастим, вермикулярним, пластівчастим та кульстим графітом така як у сталі (табл. 10.2), тобто перліт, ферит або їх суміш. Якщо у мікроструктурі металевої основи чавуна є не тільки графіт а й вільний цементит, то чавун називають половинчастим.

Таблиця 10.2 - Схеми мікроструктур чавунів з графітом

За структурою металевої основи: чавун	Форма графітових включень			
	пластинчаста	вермикулярна	пластівчаста	кулькова
	Чавун			
	сірий	з вермикуляр- ним графітом	ковкий	високоміцний
Феритний (Ф)				
Феритно- перлітний (Ф+П)				
Перлітний (П)				

На механічні характеристики чавуна найбільший вплив має співвідношення площини поверхні графітових включень до їх об'єму (S_{gp}/V_{gp}). Чим це співвідношення менше, тим вища міцність і пластичність чавуна. Найбільшу площу поверхні по відношенню до об'єму має пластинчастий графіт (рис. 10.1, а), меншу – вермикулярний (рис. 10.1, б), ще меншу – пластівчастий (рис. 10.1, в) і найменшу – кульковий (рис. 10.1, г) графіт. Тому чавун з кульковим графітом називали *високоміцним*. Форми включень графіту і види структури металевої основи у виливках за ГОСТ 344387 приведені в додатку до лабораторної роботи.

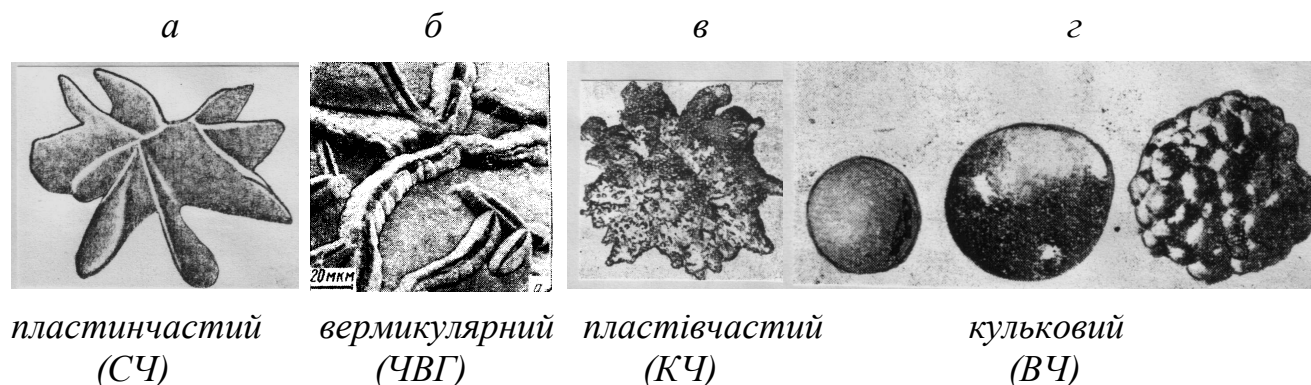


Рисунок 10.1 - Графіт виділений з чавунів: а – сірого (СЧ), б – з вермикулярним (червоподібним) графітом (ЧВГ), в – ковкого (КЧ), г – високоміцного (ВЧ)

Структурні складові металевої основи (ферит, перліт та ін.) також впливають на механічні властивості чавуну. Чим більше в структурі перліту, тим чавун має вищу твердість і зносостійкість. Чим більше в чавуні фериту, тим краще його оброблюваність. В табл. 10.3 приведена твердість структурних складових чавунів та для порівняння твердість ріжучого інструменту.

Таблиця 10.3 - Твердість структурних складових чавуну та для порівняння твердість ріжучої кромки сталюого інструменту (в порядку збільшення)

Позначення твердості	Графіт	Ферит	Перліт	Ріж. інстр.	Цементит
HB	-	60	200	600...713	800
HRC	-	-	13	59...67	-

10.2 Білий чавун

В білих чавунах весь вуглець знаходиться у стані цементиту (рис. 10.2).

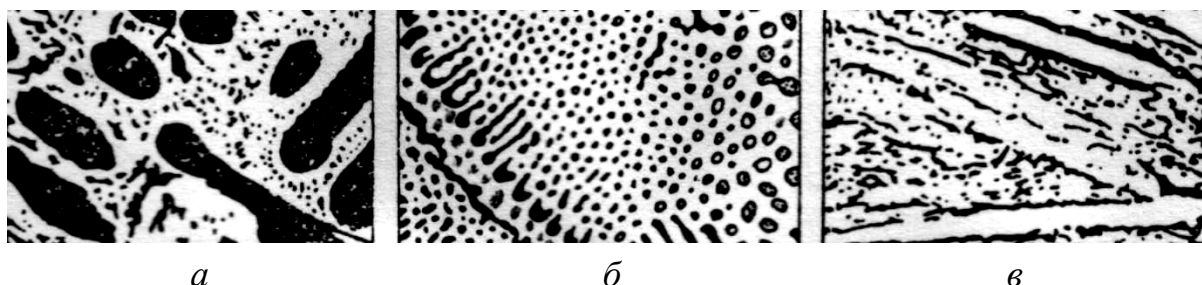


Рисунок 10.2 - Мікроструктури білих чавунів:

a – доєвтектичного, *б* - евтектичного, *в* – заєвтектичного;
світлі ділянки – цементит, темні частинки – перліт

Мікроструктура білого доєвтектичного чавуну (рис. 10.3) складається з ледебуриту $L_{4,3}$, перліту $P_{0,8}$ і цементиту $C_{6,67}$ (тут 4,3; 0,8; 6,67 - %C).



Рисунок 10.3 - Мікроструктура доєвтектичного білого чавуну:

Л – ледебурит, *П* – перліт, *Ц* - цементит

Ледебурит (*Л*) - евтектика, яка містить 4,3%С і являє механічну суміш перліту та цементиту

$$L_{4,3} = P_{0,8} + C_{6,67}$$

Ледебурит має вигляд світлих ділянок цементиту з рівномірно розміщеними на них темними, відносно мілкими перлітними частинками.

Цементит (Ц, HB800) має вигляд великих чистих світлих ділянок.

Перліт (П, HB200) - евтектоїд, має вигляд великих темних ділянок. Однак він являє дуже дрібнозернисту механічну суміш цементиту і фериту, яка містить 0,8%С

$$P_{0,8} = C_{6,67} + \Phi_{0,006}$$

З-за великого вмісту цементиту білий чавун відрізняється високою твердістю, крихкістю і практично не піддається обробці лезовим ріжучим інструментом. Тому білий чавун не застосовують як конструкційний матеріал. Виливки білого чавуну відпалюють для перетворення цементиту в графіт (на ковкий чавун).

Іноді використовують вибілені чавуни для виготовлення деталей, що працюють в умовах тертя: прокатні валки, колеса вагонів, кулі для млинів, розподільчі вали двигунів, тощо. У вибілених чавунах поверхневий шар має структуру білого, а внутрішній - сірого чавунів. Висока твердість поверхні вибіленого чавуну (HB 400...500) забезпечує його зносостійкість.

10.3 Сірі чавуни

Назву сірі чавуни отримали з-за сірого кольору зламу, що пояснюється наявністю в структурі вуглецю у вільному стані (у вигляді графіту пластинчастої форми). Сірий чавун містить 2,4...3,8%С. Чим *більше вуглецю*, тим *ливарні властивості вищі*, але *більше графіту*, а тому - *менша міцність*.

Основні складові мікроструктури сірого чавуну (табл. 10.2):

- *графітові включення пластинчастої форми*;
- *металева основа*, за структурою якої сірі чавуни поділяють на феритний, феритно-перлітний та перлітний.

На схемах мікроструктур у табл. 10.2 зерна фериту (Φ) - світлі, а пластинчастого перліту (П) – темні, заштриховані.

На рис. 10.4, а, б, в приведені мікроструктури сірого чавуну феритного (а), феритно-перлітного (б) та перлітного (в) видимі під мікроскопом. На рис. 10.5 дано схематичне зображення сірого чавуну з перлітною металевою основою, що містить також потрібну фосфідну евтектику $E_{\text{фосф}} = \text{Fe}_3\text{P} + \text{Fe}_3\text{C} + \text{Fe}$, яка підвищує ливарні властивості, твердість і зносостійкість.

Механічні властивості сірого чавуну в основному залежать від впливу форми і розмірів графітових включень. Чим менше графітних пластин, чим вони дрібніші і чим більша їх ізольованість одна від другої, тим вище міцність чавуну. Форму і розмір пластинчастого графіту, структуру елементів металевої основи, наприклад, дисперсність перліту, співвідношення перліту і фериту та ін. характеризують, порівнюючи їх з еталонами стандартів на

відповідні елементи мікроструктури. В еталонах кожен елемент від одного крайнього виду до другого розбитий всього на 10 видів, які записуються у вигляді балів за певною шкалою ГОСТа. Таким чином мікроструктуру можна характеризувати по балам всіх елементів за відповідними шкалами.

Графіт має змащувальну дію, тому підвищує зносостійкість чавуну. Дуже важливо, що графіт підвищує також оброблюваність різанням, роблячи стружку ломкою. Внаслідок порушення графітом суцільності металевої основи сірий чавун добре поглинає вібрації та удари, малочутливий до концентраторів механічних напружень у виді дефектів поверхні деталей, надрізів, виточок.

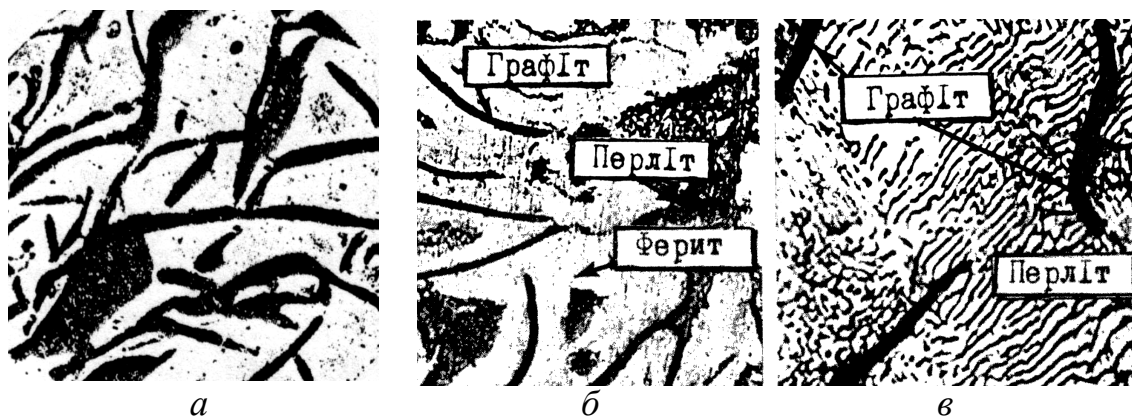


Рисунок 10.4 - Мікроструктура сірого чавуну під мікроскопом при збільшенні $1000\times$: *а* – феритний, *б* – ферито-перлітний, *в* - перлітний;

Для утворення сірого чавуну, тобто для підсилення графітизації і утворення графіту навіть в місцях виливка, де охолодження прискорене, в чавун вводять додатково кремній у кількості 1,2...3,5%.

При вмісті більше 0,5% Р утворюється фосфідна евтектика (рис.10.5), яка підвищує зносостійкість, пружність, а при великій кількості - крихкість.



Рисунок 10.5 - Схематичне зображення сірого чавуну з перлітною металевою основою: $Гр_{пл-нч}$ – графіт пластинчастий, $П$ – перліт, $Е_{фосф}$ - потрійна фосфідна евтектика, $Е_{фосф} = Fe_3P + Fe_3C + Fe$

Феритні (рис.10.4, а) та ферито-перлітні (рис.10.4, б)чавуни СЧ10, СЧ15, СЧ18 *використовують* для мало відповідальних деталей: СЧ10 - для колон, фундаментних плит, СЧ15, СЧ18 - для мало навантажених деталей машин.

Перлітні (рис.10.4, в) чавуни СЧ21, СЧ24, СЧ25, СЧ30, СЧ35 використовують для відповідальних виливків, станин потужних верстатів, поршнів, циліндрів, блоків двигунів, тощо.

Чавуни СЧ30, СЧ35 – модифіковані; підвищення їх міцності досягнуто введенням у рідкий чавун перед розливом 0,3...0,8% модифікаторів (феросиліцію, силікокальцію та графіту). Це приводить до подрібнення пластин графіту.

Таким чином сірі чавуни незважаючи на низькі механічні властивості мають ряд переваг: низьку ціну, високі ливарні властивості, добре обробляються різанням, мають добрі антифрикційні властивості та корозійну стійкість, гасять вібрації, малочутливі до концентраторів напружень, витримують значні стискувальні напруження.

10.4 Чавуни з вермикулярним графітом

Чавун з вермикулярним графітом (ЧВГ) одержаний в 1970 році. Цей чавун поєднує високі ливарні, механічні та теплофізичні властивості. Може використовуватися для відливання тонкостінних та складної конфігурації деталей, що працюють при значних теплових та силових навантаженнях.



Кожна частинка вермикулярного графіту росте з окремого центру кристалізації при оточенні аустенітом, але кінчики графіту залишаються у контакті з рідиною і ростуть швидше за аустеніт перетворюючись на округлі червоподібні (від лат. *vermicula* - черв'як) відростки. Схема мікроструктури чавуна з вермикулярним графітом приведена на рис. 10.6.

Рисунок 10.6 - Схема мікроструктури чавуна з вермикулярним графітом та феритно-перлітною металевою основою:
П – перліт, Ф – ферит, Г – вермикулярний графіт

Завдяки вермикулярній формі графіту ефект надрізу зменшується порівняно з пластинчастим графітом і забезпечується вища міцність. Чавун має меншу схильність до вибілювання і усадочних дефектів, більшу густину, вищі тепло- й електропровідність.

Механічні властивості ЧВГ менше залежать від кількості вуглецю, отже, можна більш вільно змінювати хімічний склад і швидкість охолодження, що особливо важливо для виливків з різною товщиною стінки.

Переваги ЧВГ над чавунами з пластинчастим графітом:

- підвищена границя міцності σ_s , відносне подовження δ та ударна в'язкість КСВ - без використання дорогих легуючих елементів;
- краща опірність високотемпературному окисленню;
- менша чутливість міцності до товщини стінок.

Переваги над чавунами з кулястим графітом:

- менший коефіцієнт теплового розширення;
- вища теплопровідність;
- кращі демпферні властивості;
- більша довговічність щодо термічної втоми;
- кращі ливарні властивості.

Стандарт ДСТУ 3926-99 на марки чавунів з вермикулярним графітом поширюється на чавуни для виливків, що мають у структурі графіт вермикулярної (червоподібної) форми з включеннями до 40% кулястого та 10% пластинчастого графіту.

10.5 Ковкий чавун

Ковкий чавун одержують відпалом доєвтектичного білого чавуну (рис.10.7). Білий чавун нагрівають до температури $950...1000^{\circ}\text{C}$ і видержують при цій температурі до 15 годин. Цементит розпадається на аустеніт і пластівчастий графіт (перша стадія графітизації). При подальшому прискореному охолодженні аустеніт перетворюється в перліт. Ковкий чавун буде перлітним.

Якщо в другій стадії графітизації ($760...720^{\circ}\text{C}$) уповільнити швидкість охолодження за одним з режимів II, то надлишковий вуглець з аустеніту виділяється у вигляді графіту і евтектоїдний розпад аустеніту відбувається з утворенням графіту. Якщо друга стадія графітизації проходить повністю, то чавун буде феритним (рис. 10.8), а якщо не повністю, то феритно-перлітним.

Ковкий чавун не кують, але він більш пластичний і міцніший в протилежність сірому, тому що його графітові включення добре ізольовані одне від другого. Ковкий чавун може мати значне (до 12%) відносне подовження при розтяганні.

Феритні ковкі чавуни (КЧ35-10, КЧ37-12) використовують для виготовлення деталей працюючих в умовах високих динамічних та статичних навантажень: картери редукторів, маточини, крюки, скоби тощо. КЧ30-6, КЧ33-8 - для менш відповідальних деталей: муфти, фланці, гайки, тощо.

Перлітні чавуни КЧ50-5, КЧ55-4 мають високу міцність та антифрикційні властивості. З них виготовляють вилки карданних валів, втулки, муфти, ланки і ролики конвеєрів тощо.

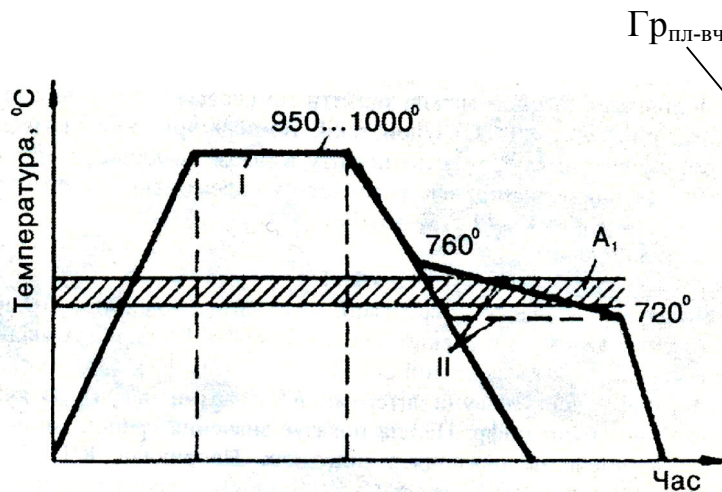


Рисунок 10.7 - Режими відпалу білого чавуну для одержання ковкого чавуну:

I – перша стадія графітізації,
II – друга стадія графітізації

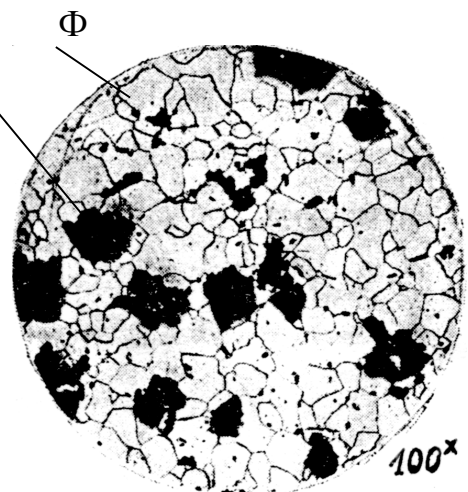


Рисунок 10.8 - Ковкий феритний чавун КЧ 35-10:
Гр_{пл-вч} – графіт пластівчастий,
Ф – ферит

10.6 Високоміцний чавун

Для одержання високоміцного чавуну ковш з рідким чавуном перед розливом у форми ставлять у автоклав і при тиску повітря 0,6 МПа вводять у чавун магній. Внаслідок такої обробки у *структурі* чавуну при кристалізації утворюється *графіт кулястої форми*. Одержаний таким чином чавун за механічними властивостями кращий за сірий та ковкий і часто навіть не поступається сталі, тому його називають високоміцним.

Структура металевої основи, як і в інших чавунах з графітом, може бути феритною, феритно-перлітною та перлітною.

На рис. 10.9 приведена мікроструктура високоміцного чавуну з феритно-перлітною металевою основою.

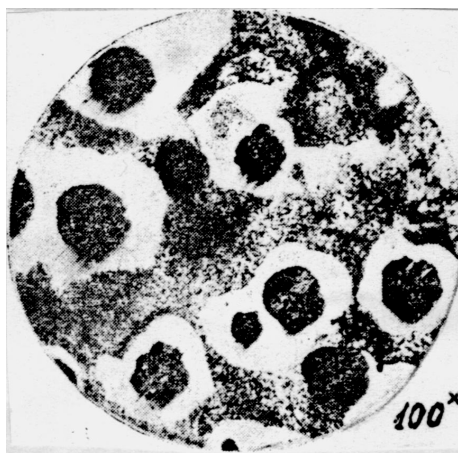


Рисунок 10.9 - Високоміцний чавун:

- круглі темні включення – графіт кулястий,
- світлі круглі ділянки навколо графіту – ферит,
- темні ділянки між феритом - перліт

Високоміцні чавуни у багатьох виробках та конструкціях ефективно

замінюють сталь. З них виготовляють колінчасті вали двигунів, кришки циліндрів, поршневі кільця, маточини коліс, корпуса насосів, зубчасті колеса, які працюють у важких умовах – під дією змінних напружень та ударних навантажень.

10.7 Завдання і порядок виконання роботи

Розглянути, вивчити, зарисувати і описати схеми мікроструктури чавунів: білого доевтектичного; сірого перлітного; вермикулярного; ковкого феритного; високоміцного ферито-перлітного.

На схемах позначити структурні складові та пояснити їх вплив на механічні властивості чавуну. Визначити структуру за стандартом (див. додат

До кожної схеми записати приблизну марку чавуну та розшифрувати її і дати приклади застосування, пояснити спосіб одержання чавуну.

У висновку порівняти чавуни за складністю технології виготовлення та за властивостями.

10.8 Форма звіту

Лабораторная работа №10

АНАЛІЗ МІКРОСТРУКТУРИ ЧАВУНІВ

Мета роботи. Проаналізувати мікроструктури білих, сірих, з вермикулярним графітом, ковких та високоміцних чавунів. Встановити зв'язок мікроструктури з властивостями та можливим використанням кожного з чавунів.

1 Сірий чавун. Марка: СЧ25 за ГОСТ 1412-85. Розшифровка марки: СЧ – сірий чавун; 25 – границя міцності при розтягуванні, $\sigma_s = 250 \text{ МПа}$ (25 кгс/мм^2).

Схема мікроструктури



Гр_{пл-нч}

П

Е_{фосф}

Аналіз мікроструктури та її впливу на механічні властивості

Гр_{пл-нч} – графіт пластинчастої (прямолінійної за шкалою 1, дод. А) форми. Пластини прямолінійного перерізу розділяють металеву основу і діють як надрізи, що знижують міцність. Але при цьому чавун добре поглинає вібрації і удари, та мало чутливий до надрізів.

П – перліт, механічна суміш фериту і цементиту, твердість HB200. Надає міцність – чим більше шар перліту розділяє пластини графіту, тим чавун міцніший.

$E_{\text{фосф}}$ - фосфідна евтектика, $E_{\text{фосф}} = \text{Fe}_3\text{P} + \text{Fe}_3\text{C} + \text{Fe}$; підвищує ливарні властивості; надає твердість і зносостійкість чавуну, тому що містить хімічні сполуки.

Спосіб одержання. Сірий чавун одержують додаванням в рідкий чавун 1,2...3,5% кремнію.

Приклади використання. Сірий чавун використовують для лиття станін верстатів, блоків двигунів, циліндрів тощо.

2 Чавун з вермикулярним графітом ЧВГ 400-4

3 Ковкий чавун КЧ37-12.

4 Високоміцний чавун ВЧ 500-2.

5 Білий чавун.

6 Висновки.

Контрольні питання

1. Які сплави називаються чавунами?
2. Чим відрізняються чавуни від сталей?
3. В якому вигляді може бути вуглець у чавунах?
4. Яким властивостям чавуну сприяють його окремі структурні складові?
5. Як називають чавун за станом вуглецю та за формою включень графіту?
6. Поясніть мікроструктуру, властивості та застосування білого чавуну.
7. Поясніть способи одержання, структуру, властивості, маркування та застосування чавунів:
 - сірих,
 - з вермикулярним графітом,
 - ковких,
 - високоміцних.

ДОДАТКИ

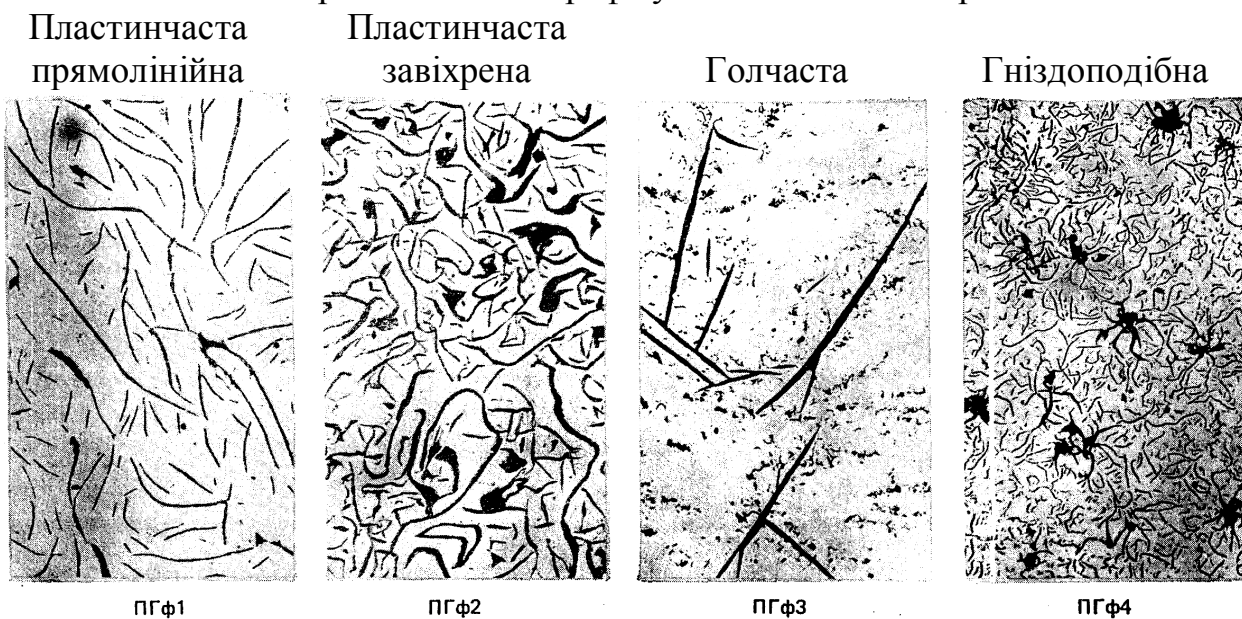
Відливки чавуна з різною формою графіту.

Методи визначення структури [26]

Додаток А

Шкала 1. Визначення графіту в структурі чавуну з пластинчастим графітом

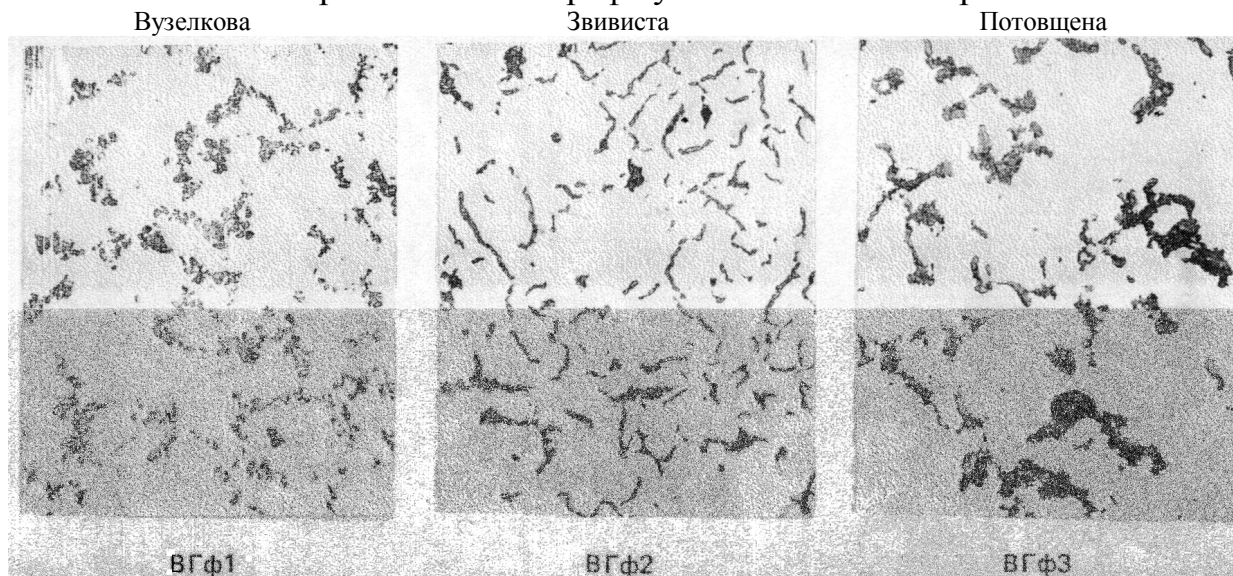
А. Форма включень графіту. Збільшено в 100 раз



Додаток Б

Шкала 2. Визначення графіту в структурі чавуну з вермикулярним графітом

А. Форма включень графіту. Збільшено в 100 раз



Додаток В

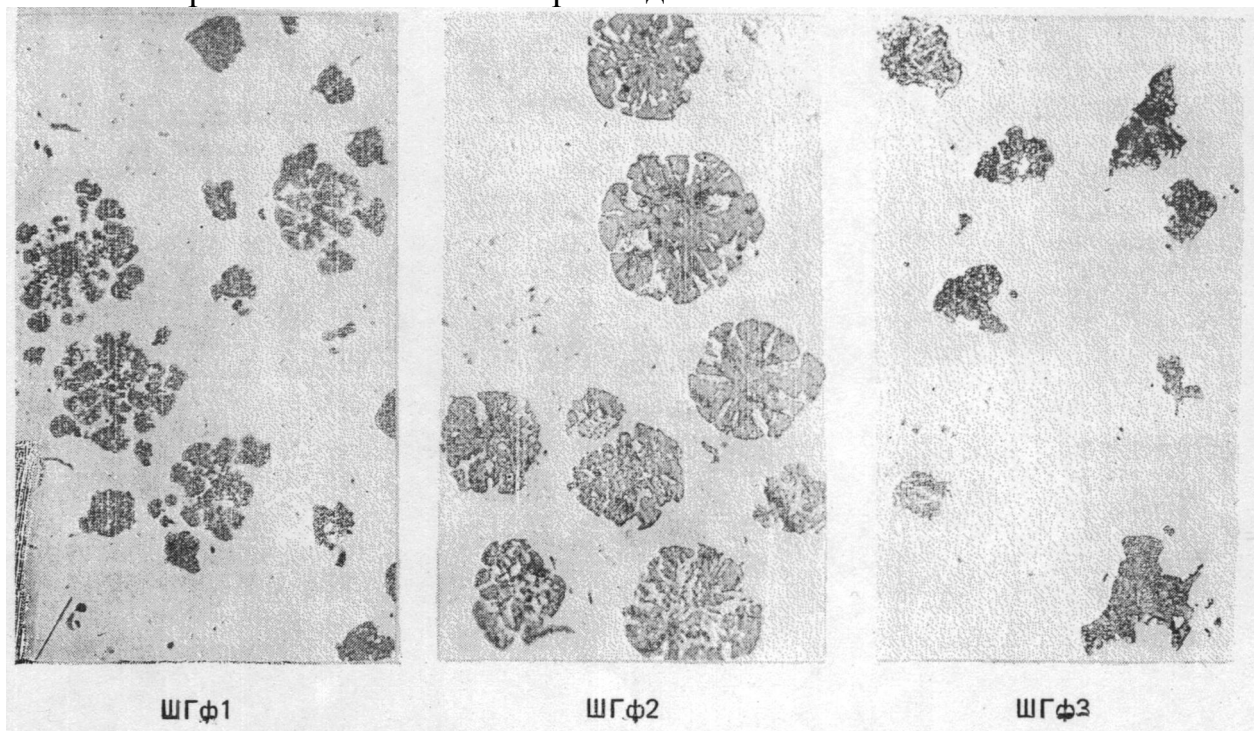
Шкала 3. Визначення графіту в структурі високоміцного чавуну з шаровидним графітом

А. Форма включень графіту. Збільшено в 100 раз

Розірвана

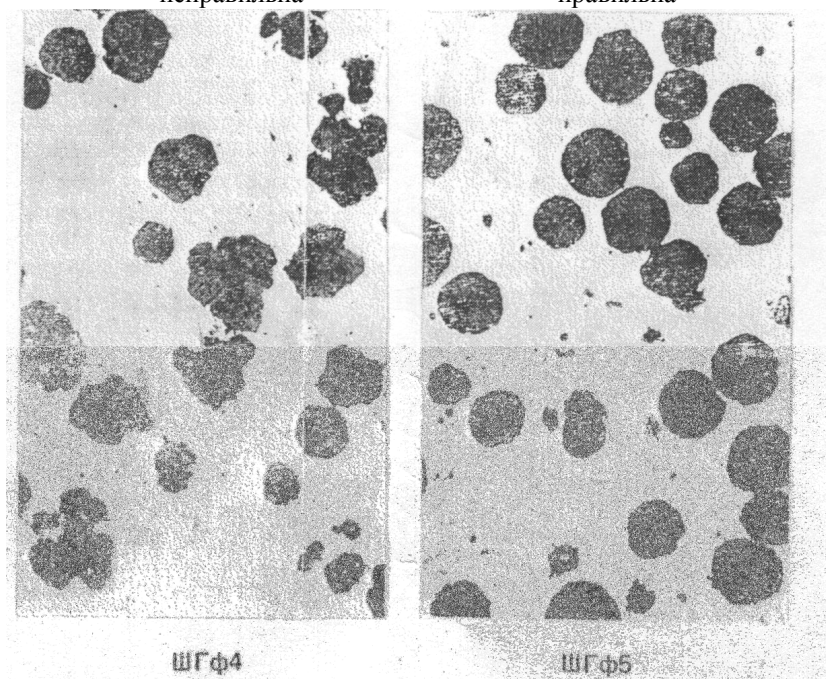
Зіркоподібна

Компактна



Шаровидна
неправильна

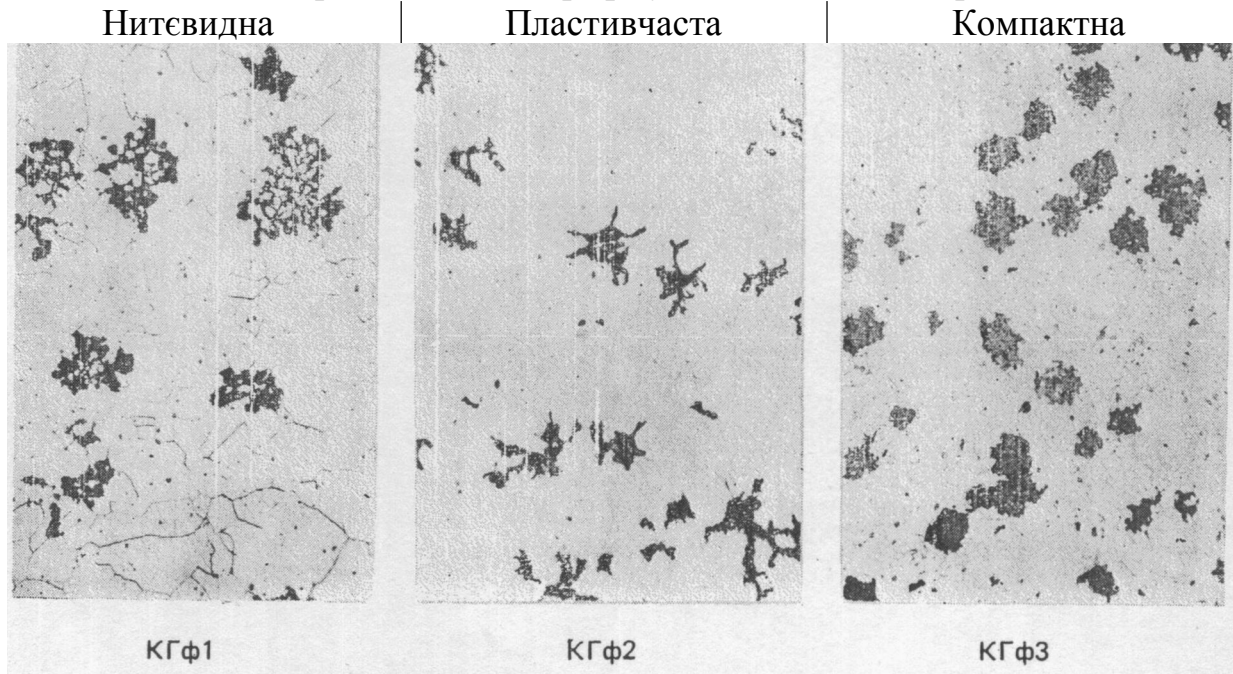
Шаровидна
правильна



Додаток Г

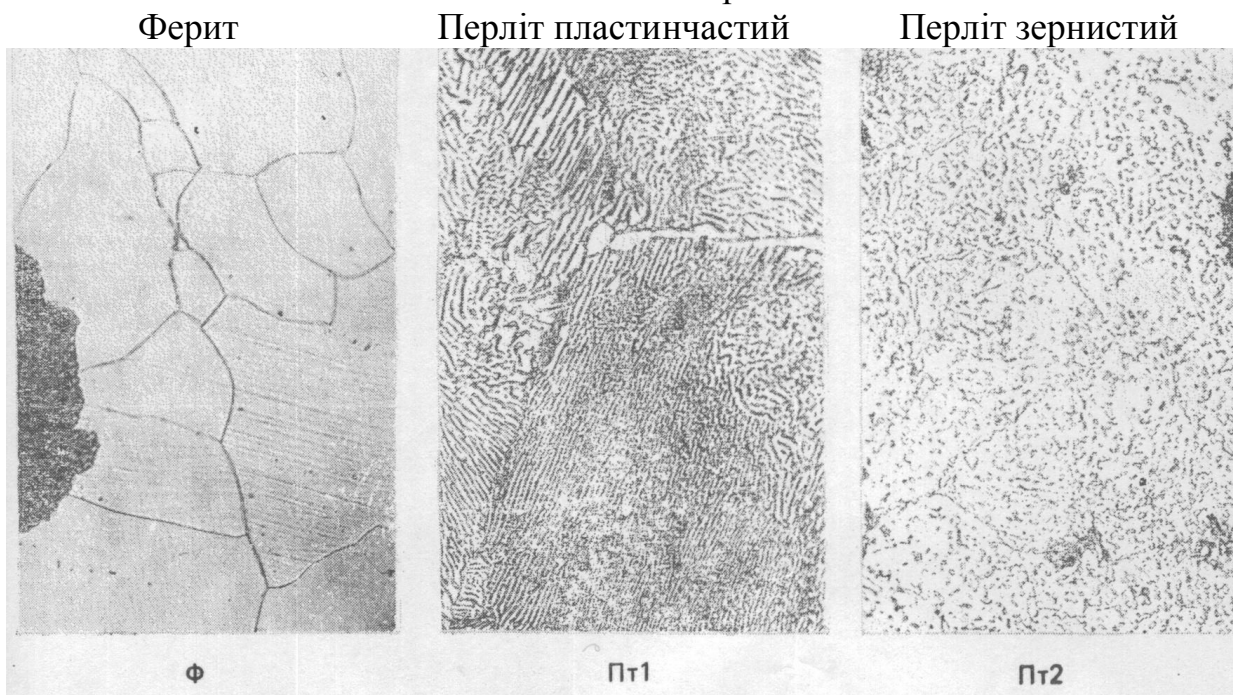
Шкала 4. Визначення графіту в структурі ковкого чавуну з компактним графітом

А. Форма включень графіту. Збільшено в 100 раз



Додаток Д

Шкала 5. Вид структури металевої основи чавуну
Збільшено в 500 раз

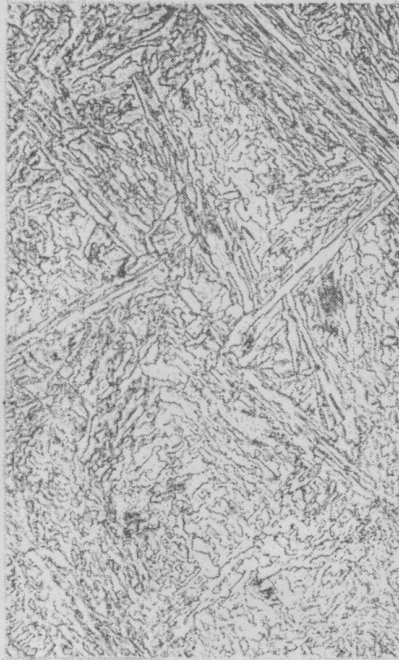


Тростит



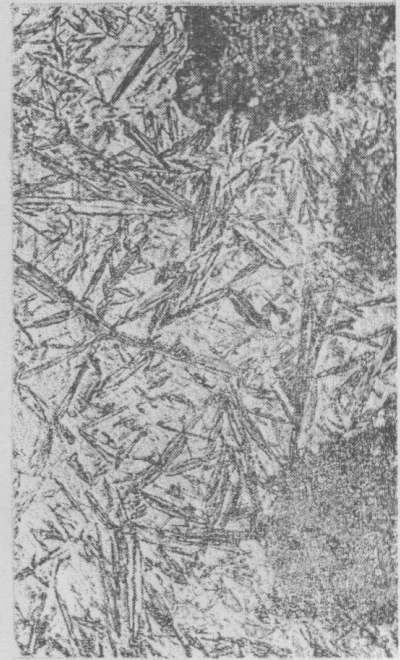
Т

Бейніт



Б

Мартенсит



М

Лабораторна робота №11

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГАРТУВАННЯ НА ТВЕРДІСТЬ СТАЛІ

Мета роботи. Придбати практичні навички у призначенні режиму гартування сталі. Проаналізувати дію гартування на твердість вуглецевої сталі залежно від вмісту в ній вуглецю.

Устаткування, інструменти та матеріали. Лабораторна муфельна електропіч (максимальна температура 900°C) з термоелектричним пірометром, водяна та масляна ванни, твердоміри Бринелля та Роквелла, зразки сталей, кліщі, штангенциркуль, шліфувальний папір.

11.1 Загальні відомості про гартування сталі

На машинобудівні заводи надходять сталеві заготовки з відносно невисокою твердістю. Конструкційні вуглецеві сталі поставляють після повного відпалу або нормалізації зі структурою “ферит + перліт”, а інструментальні – після неповного відпалу зі структурою “зернистий перліт”. Ці структурні складові мають приблизно таку твердість за Бринеллем: ферит - 60НВ, перліт - 200НВ. Ферит – це твердий розчин вуглецю в $\alpha\text{-Fe}$. Перліт – евтектоїдна суміш фериту і цементиту (Fe_3C , 800НВ). Сталі з такою структурою добре обробляються різанням при виготовленні з них деталей та інструменту.

Для надання сталевим деталям та інструментам заданої підвищеної міцності і твердості, їх гартують і відпускають. Це виконують після чорнової механічної обробки, що дає можливість при чистовій обробці ліквідувати наслідки зміни форми, розмірів та чистоти поверхні деталі, які виникають у процесах нагріву та охолодження.

Властивість сталі підвищувати твердість при гартуванні називають “загартовуваністю”. Якщо в сталі менше ніж 0,3%С, то її твердість при гартуванні не підвищується (сталь “не гартується”) з-за недостатньої деформації і напружень кристалічної решітки $\alpha\text{-Fe}$ розчиненим в ній вуглецем. *Гартуються сталі, які містять не менш ніж 0,3%С.*

Гартування складається з процесів нагрівання, видержки і швидкого охолодження.

При нагріванні і видержці нетверді структурні складові *ферит* (60НВ) і *перліт* (200НВ) перетворюються на *аустеніт*. *Цементит* (800НВ) заевтектоїдної сталі в аустеніт не перетворюють.

При охолодженні зі швидкістю вище *критичної швидкості гартування аустеніт* перетворюється в *мартенсит*, який має велику твердість (700НВ або 65HRC). *Мартенсит – це пересичений твердий розчин вуглецю в $\alpha\text{-Fe}$. З-за голчастої структури та внутрішніх напружень, які виникають при швидкому охолодженні мартенсит гартування має велику твердість, міцність, але малу в’язкість і значну крихкість.* Для зменшення крихкості та

підвищення в'язкості загартовану сталь відпускають, тобто підігрівають для зміни структури до більш врівноваженої, зернистої і досягнення заданих механічних властивостей, які контролюють визначенням твердості за методом Роквела (алмазним конусом).

11.2 Режими гартування сталі

Гартування підвищує міцність та твердість сталі. *Режим гартування* сталльної деталі визначається:

- *температурою нагрівання;*
- *тривалістю видержки при нагріванні;*
- *швидкістю та способом охолодження.*

Визначення температури нагрівання сталльної деталі

Сталь нагрівають до такої температури щоб структурні складові, які мають відносно малу твердість, тобто *ферит* (Φ , HB60) і *перліт* (Π , HB200) перетворити в *аустеніт*, а *цементит* (Ц , HB800), який має велику твердість – залишити. Тому критичні точки, за якими визначають температури нагрівання доевтектоїдної ($\Phi+\Pi$) і заевтектоїдної ($\Pi+\text{Ц}$) сталей – різні.

Критичні точки, необхідні для визначення температури нагрівання вуглецевої сталі заданої марки, можна визначити з діаграми стану залізо – цементит (рис. 11.1).

Для цього спочатку треба за маркою вуглецевої сталі визначити вміст вуглецю. Наприклад: конструкційна сталь марки 30 містить 0,30%С; інструментальна У8 – 0,8%С; У12 – 1,2%С. За структурою сталі називають:

- евтектоїдною, при вмісті 0,8% С, її структура – перліт (Π). Отже сталь У8 - евтектоїдна;
- доевтектоїдною, якщо вуглецю менше 0,8%, її структура – ферит + перліт ($\Phi+\Pi$). Отже сталь 30 - доевтектоїдна;
- заевтектоїдною, якщо в ній вуглецю більше 0,8%, її структура - перліт + цементит ($\Pi+\text{Ц}$). Отже сталь У12 - заевтектоїдна.

Доевтектоїдну сталь при гартуванні для перетворення $\Phi+\Pi \rightarrow \text{А}$ нагрівають до температури вище критичної точки A_{c3} (лінія GS на діаграмі, рис. 11.1) на 30...50⁰С:

$$t_{\text{гарт.доевт.}} = A_{c3} + (30 \dots 50), ^\circ\text{С}. \quad (1)$$

Заевтектоїдну сталь для перетворення $\text{Ц}+\Pi \rightarrow \text{Ц}+\text{А}$ нагрівають до температури вище критичної точки A_{c1} (лінія PSK на діаграмі) на 30...50⁰С:

$$t_{\text{гарт.заевт.}} = A_{c1} + (30 \dots 50), ^\circ\text{С}. \quad (2)$$

Приклад. Визначити температуру гартування сталі У13.

Задана сталь згідно марки містить 1,3%С. Це більше ніж 0,8%С, тому сталь заевтектоїдна. Для заевтектоїдної сталі температура гартування призначається за критичною точкою A_{cl} . З діаграми залізо – цементит $A_{cl}=727^{\circ}\text{C} \approx 730^{\circ}\text{C}$. Температура гартування:

$$t_{\text{гарт.1,3}} = 730 + (30 \dots 50) \approx 760 \dots 780^{\circ}\text{C}.$$

Температури гартування легованих сталей визначають за довідковими таблицями або експериментально.

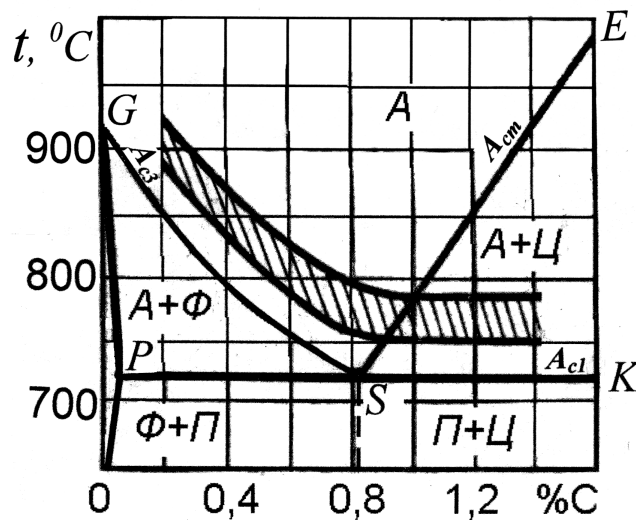


Рисунок 11.1 - Температура гартування вуглецевих сталей в діаграмі Fe -Fe₃C (ділянка температур – заштрихована)

Визначення тривалості видержки деталі у печі

Видержка деталі в печі при температурі гартування необхідна для прогріву деталі до середини та для структурних перетворень і дифузійних процесів перерозподілу вуглецю.

Тривалість нагрівання вуглецевої сталі залежить від типу печі, температури нагрівання, форми і розміру деталі.

Для визначення тривалості нагрівання деталі у лабораторній муфельній печі можна використати дані табл. 11.1, де приведена тривалість нагрівання у хвилинах на 1 мм (τ , хв/мм) меншого розміру деталі (D , мм) залежно від форми деталі та температури нагрівання.

За значенням τ можна визначити *тривалість видержки деталі в печі* за формулою:

$$T = \tau \times D, \text{ хв.}$$

Таблиця 11.1 - Тривалість нагрівання (τ) в лабораторній муфельній електропечі на 1 мм розміру для деталей різної форми [13]

Температура нагрівання, °С	Тривалість нагрівання (τ) у хвилинах на 1 мм		
	діаметру, хв/мм	товщини, хв/мм	
	для деталей форми		
	“круг”	“квадрат”	“пластина”
600	2,0	3,0	4,0
700	1,5	2,2	3,0
800	1,0	1,5	2,0
900	0,8	1,2	1,6
1000	0,4	0,6	0,8

Вибір охолоджувального середовища для гартування деталі.

Для того щоб отримати структуру загартованої сталі (“мартенсит гартування”) нагріту сталь треба охолоджувати зі швидкістю більшою за критичну швидкість гартування ($V_{\text{охол.}} > V_{\text{кр.}}$). Для цього вибирають охолоджувальне середовище з таких як вода, масло та ін. (табл. 11.2).

Таблиця 11.2 - Швидкість охолодження сталі у різних охолоджуючих середовищах [25]

Охолоджувальне середовище	Швидкість охолодження, град/с, в інтервалі температур	
	650...550 $^{\circ}\text{C}$	300...200 $^{\circ}\text{C}$
Вода при 18 $^{\circ}\text{C}$	600	270
Вода при 50 $^{\circ}\text{C}$	100	270
Вода при 74 $^{\circ}\text{C}$	30	200
10% розчин NaCl у воді при 18 $^{\circ}\text{C}$	1100	300
Емульсія масла у воді	70	200
Мильна вода	30	200
Мінеральне машинне масло	150	30

Вуглецеві сталі мають велику критичну швидкість гартування тому невеликі деталі з вуглецевих сталей охолоджують у воді. Твердість вуглецевих сталей у стані поставки та після різних видів термічної обробки приведена у табл. 11.2, а відповідність твердості за Бринелем і Роквеллом в табл. 11.3.

Таблиця 11.3 - Вплив термічної обробки на твердість сталі [24, 25]

Марка сталі	Твердість сталі в стані поставки, HB	Термічна обробка сталі, твердість після термообробки					
		Відпал, HB	Нормалізація, HB	Гартування, HRC	Гартування + відпускання:		
					Низьке, 200 ⁰ C; HRC	Середнє, 400 ⁰ C; HRC	Високе, 500 ⁰ C; HRC
20	156	156	156	34...40	32...36	22...26	14...18
30	179	179	156...196	42...48	40...44	28...32	20...24
40	217	187	170...229	48...51	45...50	32...36	24...28
50	241	207	190...241	54...60	52...56	38...42	30...34
60	255	229	190...241	60...62	58...60	44...48	36...38
У7	187	187	229...285	62...64	60...62	48...52	40...44
У8	187	187	241...302	63...65	61...63	48...58	40...44
У10	197	197	255...321	62...64	61...63	48...52	40...44
У12	207	207	269...341	62...64	61...63	48...52	40...44

Примітка. Дані гартування приведено при охолодженні конструкційних вуглецевих сталей безперервним способом - у воді, а інструментальних вуглецевих сталей перервним способом – до початку мартенситного перетворення у воді, а далі в маслі.

Таблиця 11.4 - Відповідність чисел твердості, визначених методами Брінелля і Роквелла (HB, HRC, HRA)

HB	HRC	HRA	HB	HRC	HRA	HRB
780	72	89	202	27	64	-
745	70	87	255	26	64	-
712	68	86	248	25	63	-
682	66	85	241	24	63	100
653	64	84	235	23	62	99
627	62	83	228	22	62	98
601	60	82	223	21	61	97
578	58	81	217	20	61	97
555	56	79	212	19	60	96
534	54	78	207	18	60	95
514	52	77	202	16	59	94
495	50	76	196	15	58	93
477	49	76	192	-	58	92
461	48	75	187	-	57	91
444	46	74	183	-	56	89
429	45	73	179	-	56	88
415	44	72	174	-	55	87

409	43	72	170	-	-	86
401	42	71	166	-	-	85
388	41	71	163	-	-	84
375	40	70	159	-	-	83
363	39	70	156	-	-	82
352	38	69	153	-	-	81
341	37	68	149	-	-	80
331	36	68	146	-	-	79
321	35	67	143	-	-	78
311	34	67	140	-	-	77
302	33	67	137	-	-	76
293	31	66	134	-	-	74
286	30	66	131	-	-	72
277	29	65	128	-	-	71
269	28	65	126	-	-	70

11.3 - Форма звіту

Лабораторна робота №11

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГАРТУВАННЯ НА ТВЕРДІСТЬ СТАЛІ

Мета роботи. Придбати практичні навички у призначенні режиму гартування сталі. Проаналізувати дію гартування на твердість вуглецевої сталі залежно від вмісту в ній вуглецю.

Задано. Зразки сталі в стані поставки: марки сталей - 40, 60, У8, У10; форма зразків – “круг”; діаметр $D = 20$ мм ; довжина $L = 30$ мм.

Виконати. 1. Призначити режим гартування заданих зразків сталі. Виконати гартування. 2. Проаналізувати вплив гартування на твердість сталі залежно від вмісту вуглецю.

1 Призначення режиму гартування зразка сталі

1.1 Визначення температури нагрівання зразка сталі
(див. приклад вище)

1.2 Визначення тривалості видержки зразка у печі
(див. приклад вище)

Тип печі для нагрівання - лабораторна муфельна електропіч.

Форма зразка - круг.

Температура нагрівання ____ °С.

Тривалість нагрівання на один мм розміру зразка находимо з додатку 2:

$$\tau = \text{___} \text{ хв/мм.}$$

Діаметр зразка $D = \text{___}$ мм.

Тривалість видержки зразка у печі $T = \tau \times D = \text{___} \times \text{___} = \text{___}$ хв.

Зразок кладемо у піч з температурою $\text{___}^{\circ}\text{C}$ і видержуємо ___ хв/.

1.3 Вибираємо охолоджувальне середовище (див. табл. 11.2).

При гартуванні швидкість охолодження повинна бути більшою за критичну швидкість гартування. Вибираємо охолоджувальне середовище – ___ з температурою ___ , яке має швидкість охолодження у зоні високих температур ___ град/с, а у зоні низьких температур (синьоламкості) ___ град/с.

Охолоджуємо зразок сталі у ___ , переміщуючи його, для того щоб уникнути утворення парової сорочки, яка зменшує швидкість охолодження.

2 Аналіз впливу гартування на твердість і міцність сталі

2.1 В таблицю 2.1 з довідникових даних (табл. 11.3) або за випробуванням заносимо твердість HB заданих сталей *в стані поставки*, а також інші дані, отримані в подальшому випробуванням, з довідкових даних та розрахунком.

Таблиця 2.1 - Аналіз впливу гартування на механічні характеристики сталей

Марка сталі	Твердість зразків		Границя міцності, МПа		$\frac{HB_{гарт.}}{HB_{пост}}$
	В стані поставки, $HB_{пост}$	Після гартування $HRC_{гарт}$ $HB_{гарт}$	В стані поставки $\sigma_{\text{м}}=3,53HB$, МПа	Після гартування, $\sigma_{\text{м гарт}}=3,53HB$, МПа	
20					
40					
60					
У8					
У12					

2.2 Зачищаємо поверхні загартованих зразків від окалини, визначаємо їх твердість за Роквеллом $HRC_{гарт}$. (можна загартувати і визначити твердість $HRC_{гарт}$ одного зразка, а твердість інших зразків визначити з середнього значення довідкових даних приведених в табл. 11.3). По табл. 11.4 переводимо числа твердості $HRC_{гарт}$ в $HB_{гарт}$. Розраховуємо границю міцності зразків в стані поставки та після гартування.

2.3 Аналізуємо, в скільки раз підвищилася твердість, а в тому числі і границя міцності, сталей з різним вмістом вуглецю при гартуванні:

$$\dots HB_{\text{гарт.}} / \dots HB_{\text{ност}} = \dots$$

2.4 Побудуємо графіки залежності $HB_{\text{ност}}$, $HB_{\text{гарт}} = f(C, \%)$, для різних вуглецевих сталей в стані поставки та після гартування та $HB_{\text{гарт.}}/HB_{\text{ност}} = f(C, \%)$. Шкалу $C, \%$ вибрати по осі x .

2.5 Згідно отриманих графіків робимо загальний висновок про вплив гартування та висновок про вплив гартування на твердість сталей залежно від вмісту в них вуглецю.

Контрольні питання

1. Яка мета гартування і відпускання сталейних деталей?
2. Що таке загартовуваність сталі? Які сталі гартуються?
3. Як впливає гартування на структуру і властивості сталі?
4. Як визначають режим гартування сталі?
5. Порівняйте охолоджувальні середовища за швидкістю охолодження у зоні високих температур та в зоні синьоламкості.
6. Як впливає впливає на твердість загартованої сталі вміст вуглецю?

Лабораторна робота №12

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВІДПУСКАННЯ НА ТВЕРДІСТЬ СТАЛІ

Мета роботи. Проаналізувати вплив на твердість загартованої сталі температури її відпускання та вмісту вуглецю. Придбати практичні навички у визначенні режимів відпускання та марки сталі для одержання заданої її твердості та інших механічних властивостей механічних властивостей.

12.1 Загальні відомості про вплив відпускання на властивості загартованої сталі

Загартовану сталь *відпускають* для одержання механічних властивостей, які задаються в техпроцесах на виготовлення деталей числом *твердості*, яке в термічних ділянках контролюється методом Роквелла (HRC).

Властивості загартованої сталі. При гартуванні сталі, в процесі охолодження зі швидкістю $V_{\text{охол}} > V_{\text{кр}}$, *гранецентрована решітка $\gamma\text{-Fe}$* , в якій розчинений вуглець, *перетворюється в об'ємноцентровану $\alpha\text{-Fe}$* , яка вуглець практично не розчиняє. Але з-за швидкого охолодження атоми вуглецю не встигають шляхом дифузії вийти з комірок кристалічної решітки і утворити Fe_3C . Тому утворюється *пересичений твердий розчин вуглецю в $\alpha\text{-Fe}$* - голчастий *мартенсит гартування*. Лишкові атоми вуглецю в комірках решітки $\alpha\text{-Fe}$ дуже її деформують і напружують. Мартенсит гартування має високу твердість (700HB), міцність, але малу в'язкість і значну крихкість з-за голчастої структури та внутрішніх напружень.

Дія відпускання на загартовану сталь. Для зменшення внутрішніх напружень, крихкості та підвищення ударної в'язкості загартовану сталь *відпускають*, тобто *підігрівають*. З підвищенням температури, в структурі загартованої сталі послідовно відбуваються такі зміни:

- вирівнюється кристалічна решітка, а голчаста структура мартенситу гартування ($M_{\text{гарт.}}$) переходить в зернисту - *мартенсит відпускання* ($M_{\text{відп.}}$);
- лишковий вуглець шляхом дифузії покидає решітку і хімічно з'єднується з залізом, в результаті утворюється дуже дрібнозерниста суміш фериту і цементиту – *тростит відпускання* ($T_{\text{відп.}}$);
- зерна суміші фериту і цементиту ростуть і утворюється *сорбіт відпускання* ($S_{\text{відп.}}$).

Отримана структура, а таким чином і твердість залежать від температури відпускання, що дозволяє призначенням температури відпускання отримувати задану твердість та інші механічні властивості.

Для дифузії вуглецю і структурних перетворень - при температурах відпускання необхідна також видержка. Швидкість послідуєчого

охладження не впливає на властивості сталі. Охолоджувати можна в маслі або на повітрі.

Відпускання – це заключна операція термічної обробки, яка надає сталюму виробу потрібні механічні властивості.

Після відпускання виконують чистову механічну обробку деталі (шліфування), яке ліквідує наслідки зміни форми, розмірів та чистоти поверхні деталі, що виникли при гартуванні.

12.2 Режими відпускання сталі

Відпускання – нагрівання загартованої сталі до температури нижче критичної точки A_{c1} для зменшення або повного усунення внутрішніх напружень, підвищення в'язкості, перетворення нестійкої голчастої структури в більш стійку зернисту і зменшення твердості до заданого значення. *Режим відпускання* загартованої сталі визначається *температурою відпускання та видержкою у печі*. Залежно від температури та перетворень розглянутих вище розрізняють такі види відпускання.

Низьке відпускання ($150...250^{\circ}\text{C}$, отримана структура – “мартенсит відпускання”, твердість сама висока) - застосовується для зниження внутрішніх напружень і підвищення в'язкості без помітного зниження твердості (може зменшитись на $1...2\text{HRC}$). Цим способом відпускають різальні та вимірювальні інструменти, деталі після цементації і гартування (вали з поверхнями тертя, поршневі пальці, зубці шестірень), деталі після гартування поверхонь тертя, деталі, яким потрібна висока твердість - шарики, ролики, кільця підшипників кочення та ін.

Середнє відпускання ($300...400^{\circ}\text{C}$, структура – “тростит відпускання”, твердість середня) застосовується для досягнення пружності - високої міцності у сполученні з деякою пластичністю у таких деталях як пружини, ресори, торсіони; а також для ударного штампового інструменту холодного деформування та ін.

Високе відпускання ($500...600^{\circ}\text{C}$, структура – “сорбіт відпускання”, найменша твердість, але вища чим після відпалу) забезпечує майже повне зняття внутрішніх напружень і зумовлює найкраще поєднання міцності та пластичності сталі.

Гартування + високе відпускання називають *покращанням сталі*. Покращання використовують для деталей машин з середньовуглецевих ($0,3...0,6\%\text{C}$) конструкційних сталей (вали, вісі, колінчасті вали і шатуни двигунів, важелі, пальці, шестерні, болти та ін.), а також для ударного інструменту (молотки, штампи, пробой, та ін.).

Твердість сталей у стані поставки та загартованих і після різних видів відпускання (при $200, 400$ і 500°C) приведена в лабораторній роботі 11, табл. 11.2.

12.3 Форма звіту

Лабораторна робота №12

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВІДПУСКАННЯ НА ТВЕРДІСТЬ СТАЛІ

Мета роботи. Проаналізувати вплив на твердість загартованої сталі температури послідовного відпускання і вмісту вуглецю. Придбати практичні навички у визначенні режимів відпускання та марки сталі для одержання заданих механічних властивостей (твердості) матеріалу деталі.

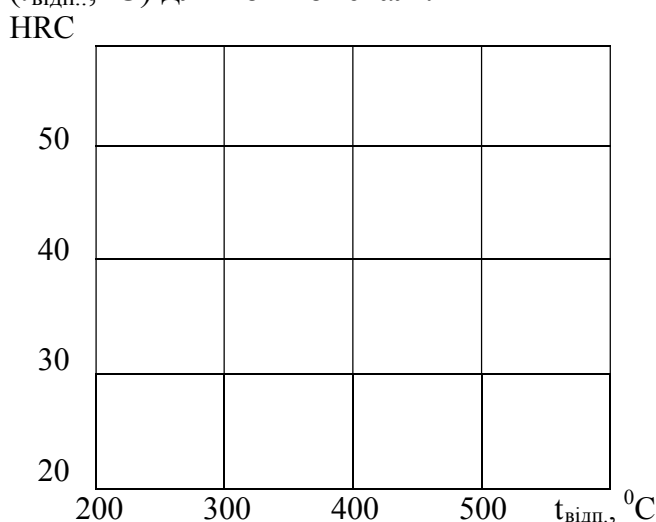
ЗАВДАННЯ

- 1 Проаналізувати вплив температури відпускання на твердість зразків вуглецевої сталі.
- 2 Проаналізувати вплив вмісту вуглецю на твердість загартованої сталі після низького, середнього і високого відпускання.
- 3 Призначити температуру відпускання сталі ... для одержання заданої твердості: ... *HRC* (задає викладач).

Вплив температури відпускання (t , $^{\circ}\text{C}$) на твердість (*HRC*) загартованих сталей заданих марок визначаємо для однієї марки сталі експериментально, а для інших - з довідкових даних (ЛР 11, табл. 11.2). Марки сталей, температури відпускання та визначену твердість заносимо в таблицю:

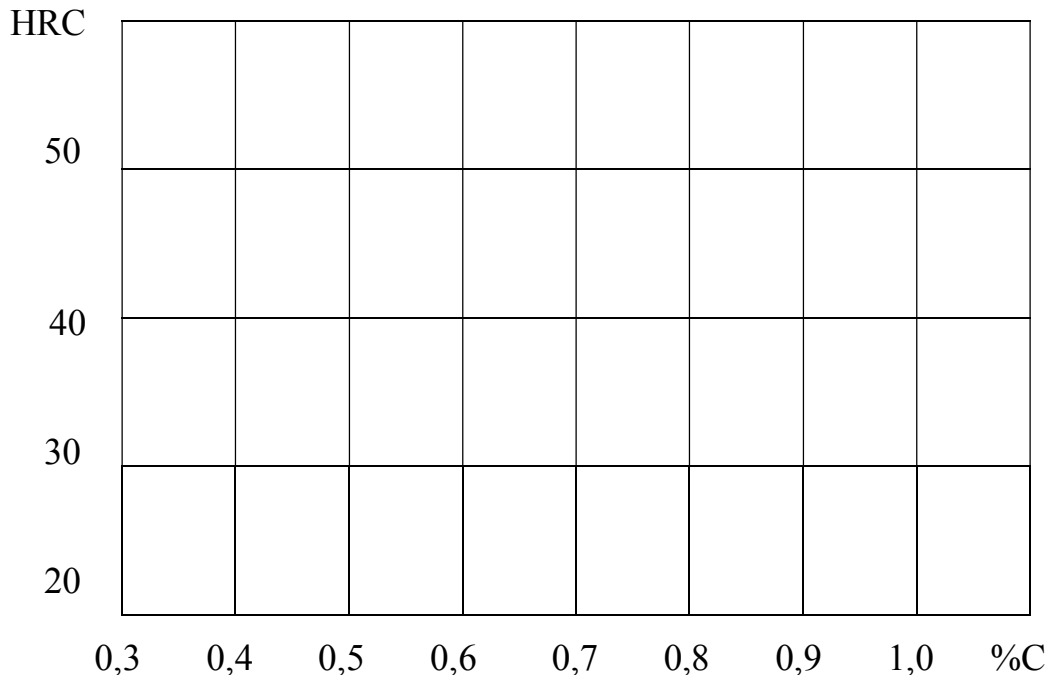
Вид відпускання	Температура відпускання, $^{\circ}\text{C}$	Марки вуглецевих сталей та їх твердість при різних температурах відпускання, <i>HRC</i>					
		30	40	60	У8	У10	У12
Низьке	200						
Середнє	400						
Високе	500						

За даними таблиці будуємо графіки залежності твердості (*HRC*) від температури відпускання ($t_{\text{відп.}}$, $^{\circ}\text{C}$) для кожної сталі:



Висновок. Аналізуємо вплив температури відпускання на твердість загартованих сталей різних марок.

За даними таблиці будуюмо графіки залежності твердості від вмісту вуглецю в сталі при низькому (200°C), середньому (400 °C) та високому (500°C) відпусканні.



Висновок. Аналізуємо вплив вуглецю на твердість сталі при різних температурах відпускання.

Призначаємо температуру відпускання заданої сталі ____ для одержання заданої твердості ____ HRC (визначити за п. 1, показати на графіку пунктирними лініями):

$$t_{\text{відп.}} = \text{____}^{\circ}\text{C}.$$

12.4. Контрольні питання

1. Яка структура утворюється при гартуванні сталі? Які її властивості та недоліки?
2. Яка мета відпускання загартованих сталевих деталей?
3. Від чого залежить твердість відпущених сталей?
4. Чим відрізняється мартенсит відпускання від мартенситу гартування?
5. В чому суть утворення троститу та сорбіту відпускання?
6. Назвіть види відпускання.
7. Поясніть температурний режим низького (середнього, високого) відпускання сталей залежно від їх використання. Приведіть отримвану структуру і властивості сталі?
8. Як впливає на твердість температура відпускання?
9. Як впливає на твердість вміст вуглецю в сталі при однаковій температурі відпускання?
10. Як отримати задану твердість сталевих виробів?

Лабораторна робота №13 ВИЗНАЧЕННЯ ПРОГАРТОВУВАНІСТІ СТАЛІ

Мета роботи. За приведеною методикою визначити прогартовуваність сталі методом торцевого гартування. Проаналізувати дію охолоджувальних середовищ та легуючих елементів на прогартовуваність сталі.

Устаткування, інструменти та матеріали. Установка для визначення прогартовуваності сталі, твердомір Роквела, стандартні зразки сталей для дослідження на прогартовуваність, вода, шліфувальний папір.

13.1 Прогартовуваність сталі

При гартуванні сталі поверхня деталі охолоджується швидше, тому що має контакт з охолоджуючим середовищем і безпосередньо віддає йому тепло. Осередок охолоджується повільніше, тому що тепло від нього відводиться через масу металу шляхом теплопровідності, а потім віддається середовищу. Але аустеніт перетворюється в мартенсит тільки в тому шарі деталі де швидкість охолодження більше критичної швидкості гартування. Цей шар, загартований на мартенсит, має найбільшу міцність і твердість.

Прогартовуваністю сталі називають *глибину проникнення загартованого шару* при гартуванні сталльної деталі в певному охолоджувальному середовищі. Глибина проникнення загартованого шару визначається відстанню від поверхні сталльної деталі до шару з напівмартенситною структурою, яка містить 50% мартенситу та 50% троститу.

Напівмартенситну зону визначають за *твердістю*, яка залежить від вмісту вуглецю (рис. 13.1). Чим більше в сталі вуглецю, тим вище твердість напівмартенситної зони.

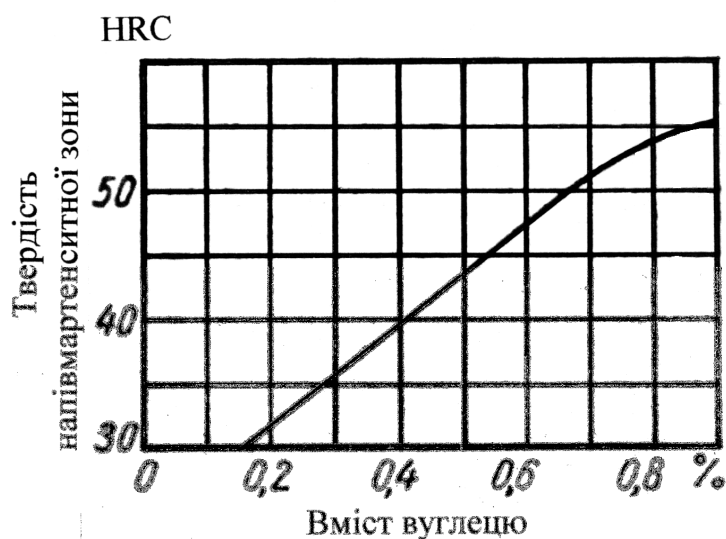


Рисунок 13.1 - Твердість напівмартенситної зони залежно від вмісту вуглецю

Прогартуваність сталі залежить від критичної швидкості гартування $V_{кр}$, тобто мінімальної швидкості охолодження при якій аустеніт перетворюється в мартенсит. Чим менше $V_{кр}$, тим більше прогартуваність. Легуючі елементи Mo, Mn, Cr, Ni та ін., крім Co, збільшують прогартуваність сталі, зменшуючи $V_{кр}$ (збільшують тривалість перетворень).

Прогартуваність - властивість, яку слід враховувати при виборі сталі для деталей машин та інструментів залежно від розміру таким чином, щоб вони прогартувалися до середини перерізу. Чим більше розмір тим вище повинна бути прогартуваність, тобто більше повинно бути в сталі легуючих елементів. Це сприяє високій міцності від поверхні до середини сталюого виробу, та надає можливість зменшити його розмір та металомісткість.

Використовують два метода визначення прогартуваності сталі:

- метод вимірювання твердості сталі по перерізу загартованого зразка;
- метод торцевого гартування.

Перший метод має значні труднощі в тому, що зразок у вигляді диска треба вирізати з середини загартованого бруска.

Другий метод значно простіший тому що не потребує вирізання загартованого зразка, а тому використовується для масового контролю прогартуваності вуглецевих і легованих сталей в різних охолоджувальних рідинах (крім сталей мартенситного класу, які загартовуються на повітрі до середини).

13.2 Визначення прогартуваності сталі методом торцевого гартування

Визначення прогартуваності сталі методом торцевого гартування виконують на стандартному зразку діаметром 25 мм і висотою 100 мм (рис. 13.2, а). На верхньому його кінці є заплечик для утримання зразка в пристосуванні. Нижній торець зразка, який охолоджується, повинен бути чисто обробленим. На рис. 13.2, б приведена схема установки.

Зразок нагрівається в електропечі до температури на $30...50^{\circ}\text{C}$ вище критичної точки $A_{с3}$ (доевтектоїдна сталь) або $A_{с1}$ (заевтектоїдна сталь). Зразок ставлять у піч в сталюму ящику торцюм, який охолоджується, на графітову пластинку. Видержка зразка в прогрітій печі – 30 хвилин.

Нагрітий зразок швидко переноситься з печі в пристосування 3 установки – кронштейн з установчою шайбою. В пристосуванні зразок з торця інтенсивно охолоджується водою, яка має температуру $10...25^{\circ}\text{C}$, протягом 10...15 хвилин до повного охолодження. Діаметр сопла, з якого витікає вода становить 12,5 мм. Відстань від торця зразка до сопла складає також 12,5 мм. До випробування встановлюють висоту вільного струменя без зразка, яка повинна становити 65 мм; регулюють точність попадання струї в центр зразка. Швидкість охолодження вздовж зразка буде змінюватися. На

нижньому торці вона буде відповідати охолодженню у воді, а на верхньому – охолодженню на повітрі.

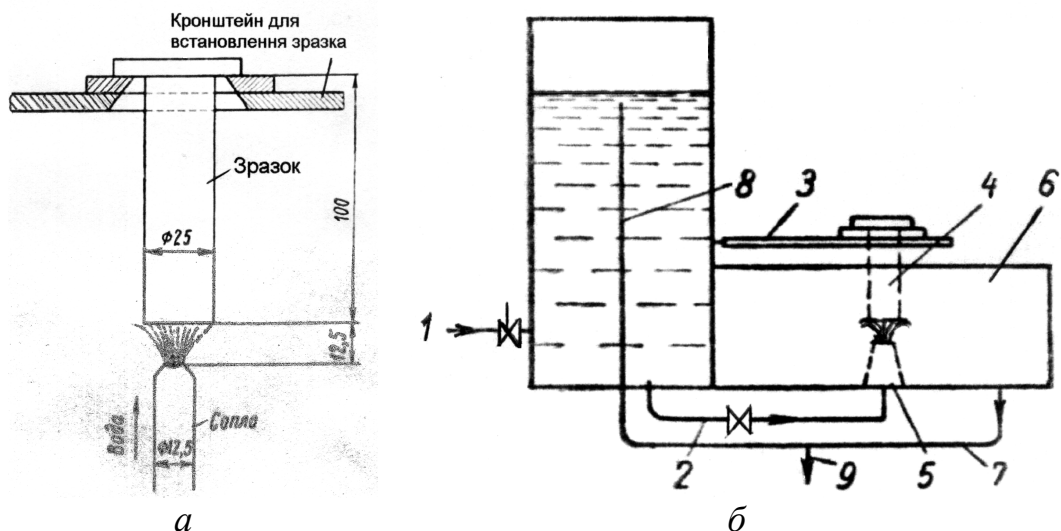


Рисунок 13.2 - Охолодження стандартного зразка (а) та схема установки (б) для визначення прогартуваності методом торцевого гартування:

1 – труба з краном для підводу води; 2 – трубка постійного напорі водного струменю; 3 – кронштейн для зразка; 4 – стандартний зразок; 5 – сопло для подачі води в торець зразка; 6 – бачок для стоку

Після гартування зразок випробують на твердість. Для цього по довжині зразка з двох протилежних сторін шліфуванням знімають шар металу на глибину 0,2...0,5 мм. Шліфувати зразок треба так, щоб його не відпустити, тобто так, щоб він не нагрівся.

Далі слід визначати твердість за методом Роквела повздовж середньої лінії смуги знятого шару починаючи від загартованого торця через кожні 1,5 мм до зниження твердості нижче напівмартенситної зони.

За одержаними даними залежності твердості від відстані від торця зразка слід побудувати графік в координатах “твердість, HRC – відстань від загартованого торця, мм”. На горизонтальній осі у верхній частині графіка слід вказати значення швидкості охолодження залежно від відстані від торця зразка, які встановлені експериментально і приведені в літературі [10].

На рис. 13.3 дано приклад побудови графіків твердості по довжині зразка для сталей з вмістом 0,7%С з неглибокою (1- вуглецева сталь) і глибокою (2- легована сталь) прогартуваністю. У верхній частині графіка є шкала швидкості охолодження залежно від відстані від торця зразка.

Відстані від торця зразків до напівмартенситної зони з твердістю $\approx 50\text{HRC}$ (за рис. 13.1 при 0,7%С) будуть визначати *прогартуваності сталей у воді*. За рис. 13.3 дана вуглецева сталь 1 має прогартуваність 3 мм, а легована 2 – 18 мм при 0,7%С. У інших охолоджуючих середовищах (в маслі) прогартуваність буде мати інші (менше) значення.

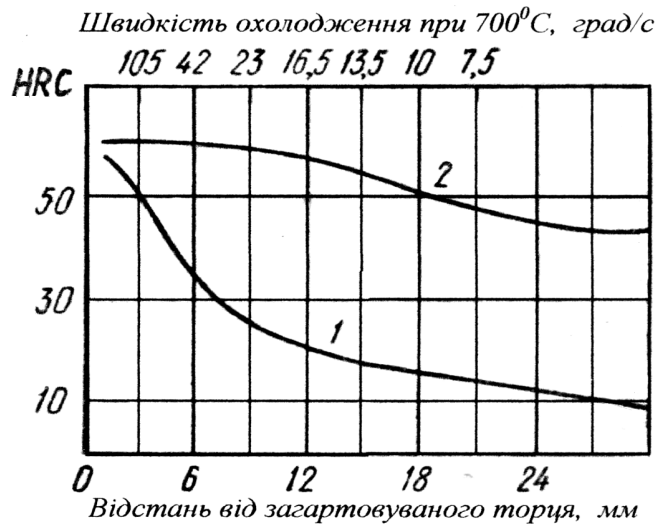


Рисунок 13.3 - Твердість по довжині зразка сталі (0,7%С) після торцевого гартування: 1 – вуглецевої, яка прогартовується не глибоко; 2 – легованої, яка прогартовується глибоко; твердість напівмартенситної зони 50HRC [рис. 13.1]

Для практичної оцінки прогартовуваності користуються величиною, яку називають критичним діаметром. *Критичний діаметр (D_K) – це максимальний діаметр циліндричного прутка, який прогартовується наскрізь* (рис. 13.4).

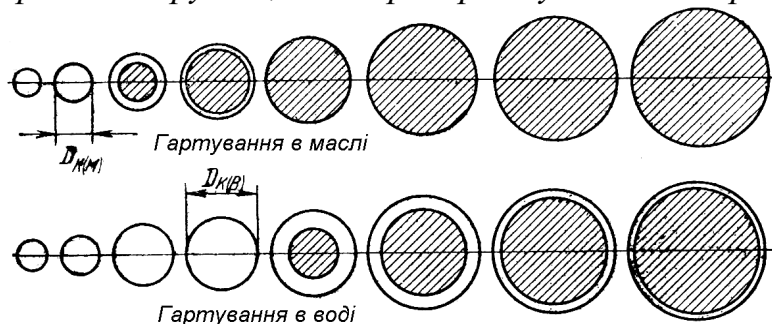


Рисунок 13.4 - Прогартовуваність і критичний діаметр D_K прутків різного діаметру при гартуванні в маслі і в воді. Заштрихована незагартована серцевина

Задана сталь при гартуванні в різних охолоджуючих середовищах має певний критичний діаметр. *Чим швидше охолоджує середовище, тим більший критичний діаметр*. На рис 13.4 показана глибина гартування (не заштрихована частина перерізу) загартованих у воді і в маслі прутків різного перерізу однієї сталі. При охолодженні в маслі критичний діаметр менший чим у воді, $D_{K(м)} < D_{K(в)}$. З рисунку видно також, що прогартовуваність залежить і від діаметру прутка. При більшому діаметрі – прогартовуваність менша з-за впливу більшої маси гарячої серцевини прутка на процес теплопередачі, яка зменшує швидкість охолодження в зовнішніх шарах сталі.

Щоб не ставити прогартуваність у залежність від способу охолодження, введено поняття *ідеальний критичний діаметр* (позначається D_{∞}). Це – діаметр максимального перерізу, що прогартується наскрізь в “ідеальній рідині”, яка віднімає тепло з безкінечно великою швидкістю.

Критичний діаметр – важлива і зручна величина при призначення марки сталі для виробу (деталі або інструменту). Якщо необхідно щоб при гартуванні виріб прогартувався наскрізь, то слід вибирати таку сталь, щоб $D_K > D_{\text{вир}}$ при гартуванні у певному охолоджуючому середовищі. Сталь звичайно характеризують одним з критичних діаметрів D_{∞} , $D_{K(в)}$ або $D_{K(м)}$.

За вмістом вуглецю визначають твердість напівмартенситної зони сталі (рис.13.1). Експериментально визначають глибину до напівмартенситної зони та швидкість її охолодження (побудовою графіка, як на рис. 13.3).

Потім по номограмі (рис. 13.5) при цієї швидкості охолодження на перетині горизонталі з похилими лініями, можна визначити D_{∞} , $D_{K(в)}$ або $D_{K(м)}$, при яких напівмартенситна зона буде в центрі бруска.

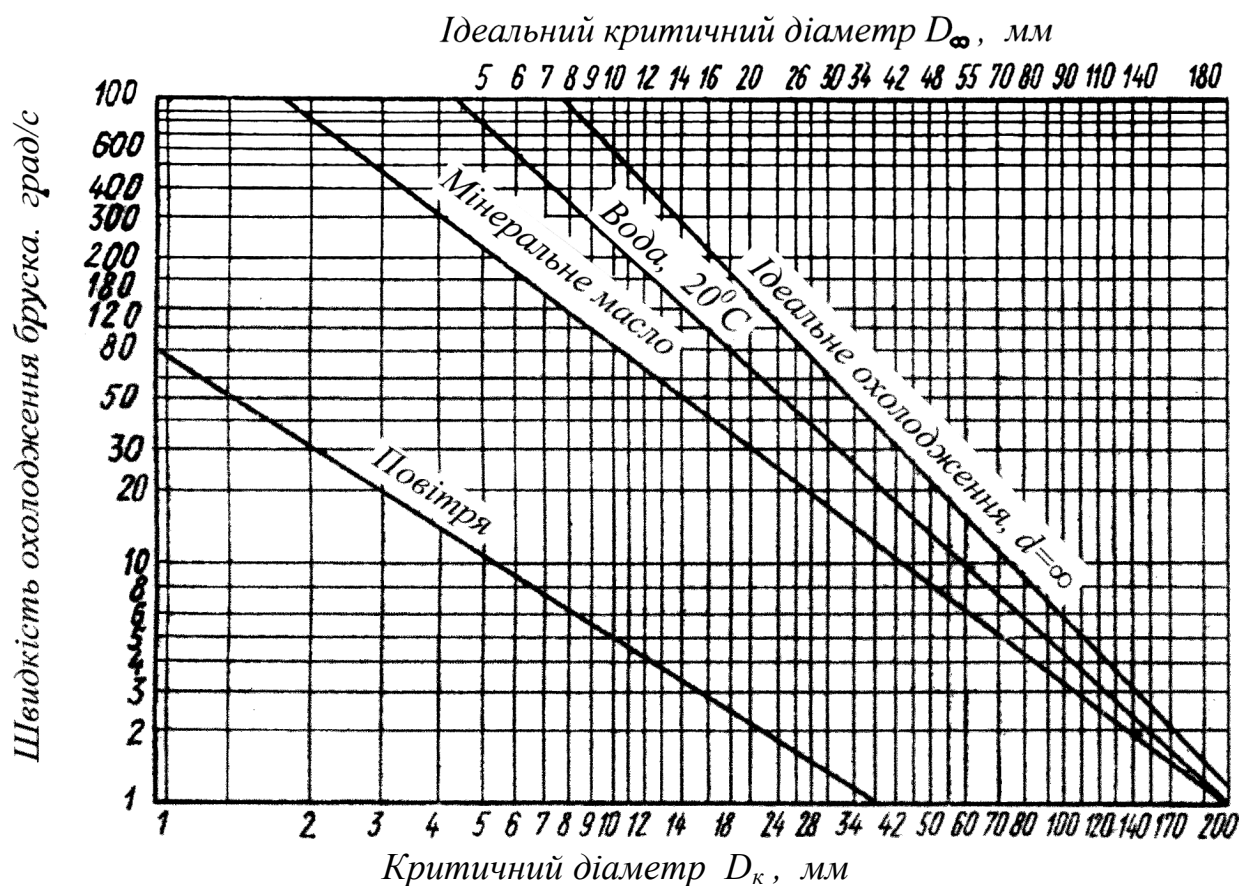


Рисунок 13.5 - Номограма для визначення прогартуваності циліндричного сталюго виробу зі співвідношенням довжини до діаметру 10:1 з утворенням в серцевині напівмартенситної зони (за М.Є. Блантером)

Так, за рис. 13.3 (при визначеній швидкості охолодження в напівмартенситній зоні):

- для зразка 1 (105 град/с) при охолодженні в воді $D_{K(в)} = 16$ мм, а в маслі $D_{K(м)} = 8,5$ мм;
- для зразка 2 (10 град/с) - в воді $D_{K(в)} = 60$ мм, в маслі $D_{K(м)} = 42$ мм).

Таким чином номограма дозволяє визначати критичний діаметр D_{50} залежно від охолоджуючого середовища (вода, масло, повітря) при якому в серцевині виробу утворюється структура, яка містить 50% мартенситу.

Однак слід відзначити, що більш об'єктивною характеристикою прогартуваності є критичний діаметр, який відповідає прогартуваності сталі наскрізь – на мартенсит.

Незагартована серцевина сталюого виробу або така, яка містить 50%M (мартенситу) та тростит після послідуного відпускання має однакову з загартованим на мартенсит шаром твердість, але менші границю текучості ($\sigma_{0,2}$) та ударну в'язкість КС (рис. 13.6).

Згідно графіку на рис. 13.6, з критичні діаметри наскрізної прогартуваності при кількості мартенситу в серцевині відповідно 95%M і 99,5%M можна визначити залежно від D_{50} :

$$D_{95} = 0,75 \times D_{50};$$

$$D_{99,9} = 0,5 \times D_{50}.$$

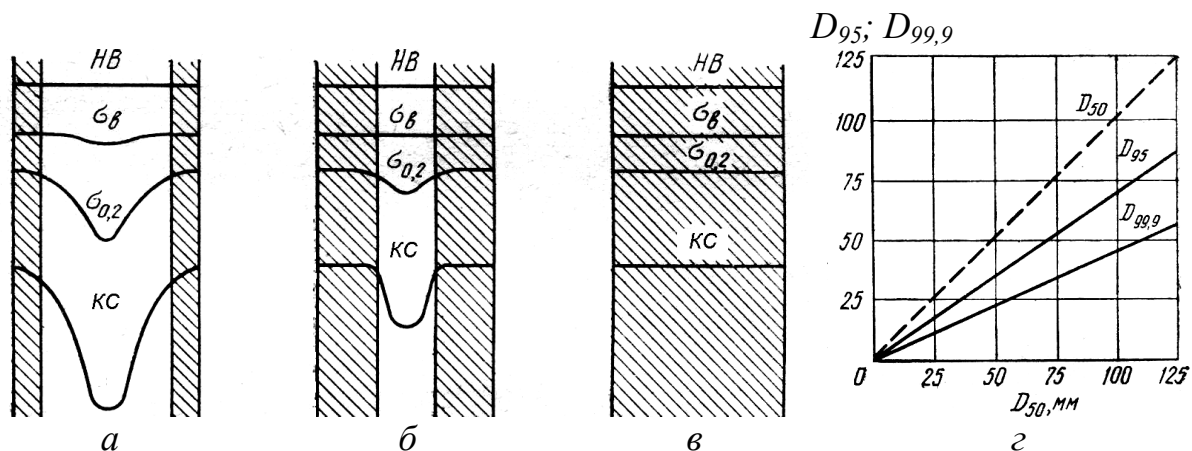


Рисунок 13.6 - Вплив глибини гартування на механічні властивості загартованої і відпущеної сталі (а, б, в) та графік (г) для визначення наскрізної прогартуваності (D_{95} , $D_{99,9}$) залежно від D_{50} : заштрихована – прогартована зона; HB – твердість; σ_b – границя міцності; $\sigma_{0,2}$ – границя текучості; $КС$ – ударна в'язкість; D_{50} – осередок загартованого виробу містить 50%M (мартенситу), відповідно D_{95} – 95%M, $D_{99,9}$ – 99,9%M

13.3 Форма звіту та порядок виконання роботи

Лабораторна робота №13 ВИЗНАЧЕННЯ ПРОГАРТОВУВАНІСТІ СТАЛІ

Мета роботи. За приведеною методикою визначити прогартуваність сталі методом торцевого гартування. Проаналізувати дію охолоджувальних середовищ та легуючих елементів на прогартуваність сталі.

Порядок виконання роботи

1. Визначаємо температуру гартування заданих стандартних зразків сталі (вуглецевої - 40, легованої - 40X, або інших):
 - кількість вуглецю в сталі - ...%;
 - критична точка $A_{c3} = \dots ^\circ\text{C}$;
 - температура гартування $t_{\text{гарт.}} = \dots$.
1. Кожен зразок нагріваємо у муфельній печі до визначеної температури гартування. Для цього видержуємо його в нагрітій печі 30 хвилин.
2. Нагрітий зразок швидко переносимо в установку для торцевого гартування і включаємо подачу струменю води для охолодження нижнього торця зразка. При цьому швидкість охолодження зразка при гартуванні змінюється по його довжині. До випробування установка повинна бути настроєна згідно даних вище вказівок.
3. Кожен загартований зразок шліфуємо з двох сторін по довжині і від загартованого торця і через кожні 1,5 мм вимірюємо твердість за методом Роквела (HRC). Результати записуємо в таблицю:

Відстань від торця, мм	1,5	3	4,5	6	7,5	9	10,5	12	13,5	15	16,5	18	19,5	21
Швидкість охолодження, град/с	137	105	73	42	32	23	20	16,5	15	13,5	11,5	10	8,7	7,5
HRC зразка сталі 40														
HRC зразка сталі 40X														

4. За таблицею для кожного зразка будуємо графіки: *HRC – відстань від торця і швидкість охолодження* (приклад – рис. 13.3). За рис. 13.1 визначаємо *твердість напівмартенситної зони* відповідно до вмісту вуглецю в зразку сталі. За цією твердістю, на побудованих графіках,

визначаємо для кожного зразка відстань від торця до напівмартенситної зони та відповідну *швидкість охолодження* в ній.

5. За номограмою (рис. 13.5), при визначеному значенню *швидкості охолодження* в напівмартенситній зоні, визначаємо *критичні діаметри наскрізної прогартуваності* сталі при охолодженні: ідеальному D_{∞} , в воді $D_{к(в)}$, в маслі $D_{к(м)}$ та на повітрі $D_{к(п)}$.
6. Висновок. Аналізуємо дію *охолоджувального середовища* та *вмісту легуючих елементів* на прогартуваність сталі.

Контрольні питання

1. Що таке прогартуваність сталі та які фактори на неї впливають?
2. В яких випадках вибирають сталь з більшою прогартуваністю?
3. Як впливає охолоджуюче середовище на прогартуваність?
4. Поясніть поняття ідеального та дійсного критичного діаметру?
5. Які існують методи визначення прогартуваності сталі? Поясніть метод торцевого гартування.
6. Які властивості має сталь в перерізі загартованого і відпущеного виробу при не наскрізній і наскрізній прогартуваності?
7. Як визначити критичні діаметри наскрізної прогартуваності сталі для різних охолоджувальних середовищ?

Лабораторна робота №14
**МІКРОАНАЛІЗ СТАЛІ ПІСЛЯ ТЕРМІЧНОЇ
ТА ХІМІКО-ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ**

Мета роботи. Проаналізувати вплив різних видів і режимів термічної та хіміко-термічної обробки на мікроструктуру і властивості сталей.

Устаткування, інструменти і матеріали. Металографічний мікроскоп МІМ-8М; мікрошліфи та фотографії мікроструктур термічно і хіміко-термічно оброблених сталей.

**14.1 Основні відомості про мікроструктуру і властивості термічно
і хіміко-термічно оброблених сталей**

Термічна обробка дозволяє змінити механічні властивості сталейних деталей в їх об'ємі або в поверхневому шарі за рахунок зміни структури. Хіміко-термічна обробка змінює хімічний склад сталі в поверхневому шарі деталі і в комплексі з термічною обробкою дозволяє отримати ще вищі властивості поверхневого шару, в тому числі і хімічні. Тому дуже важливо зрозуміти вплив видів і режимів цих видів обробки на мікроструктуру і властивості сталі.

15.1.1 Вплив відпалу на мікроструктуру сталі. Відпал сталі відзначається малою швидкістю охолодження – разом з виключеною піччю. Відпал усуває внутрішні напруження, вирівнює величину зерен і властивості по перерізу заготовки або деталі, приводить структуру в рівноважний стан, зменшує твердість сталі і підвищує її оброблюваність ріжучим інструментом та холодним пластичним деформуванням (тиском).

Вплив повного відпалу на мікроструктуру доєвтектоїдної сталі. Для повного відпалу доєвтектоїдну сталь нагрівають до $t_{н.в.} = A_{c3} + (30...50)^\circ\text{C}$ і після видержки повільно охолоджують разом з піччю. Крупні або різної величини і нерівномірно розташовані зерна механічної суміші $\Phi + \Pi$ при нагріванні перетворюються в однорідний дрібнозернистий аустеніт A_{dp} , а при повільному охолодженні перетворюється в суміш зерен $\Phi + \Pi$, рівномірно розташованих по перерізу сталювого виробу. На рис. 15.1 приведена мікроструктура сталі 50 до і після повного відпалу. До відпалу зерна крупні, різної величини та нерівномірно розташовані, що утруднює оброблюваність сталі ріжучим інструментом. Після відпалу зерна фериту і перліту в перерізі рівномірні за величинами та розташуванням. Це зменшує твердість та підвищує пластичність і оброблюваність сталі.

Вплив неповного відпалу на мікроструктуру евтектоїдної і заевтектоїдної сталі (рис. 14.2). Неповний відпал відрізняється тим, що сталь нагрівають до нижчої температури, $t_{н.в.} = A_{c1} + (30...50)^\circ\text{C}$. До відпалу кожне зерно перліту являє суміш тонких пластинок цементиту (світлі) і

фериту (темні), які чергуються і приблизно однаково спрямовані (рис. 14.2, а). Тверді (800НВ) пластинки цементиту в зернах перліту, по різному орієнтованих, утруднюють оброблюваність інструментальної сталі ріжучим інструментом. При відпалі пластинки цементиту розриваються і скупчуючись перетворюються в зерна (рис. 14.2, б), які розташовані в фериті (світле поле). Таким чином пластинчастий перліт перетворюється в зернистий, що покращує оброблюваність інструментальних сталей ріжучим інструментом.

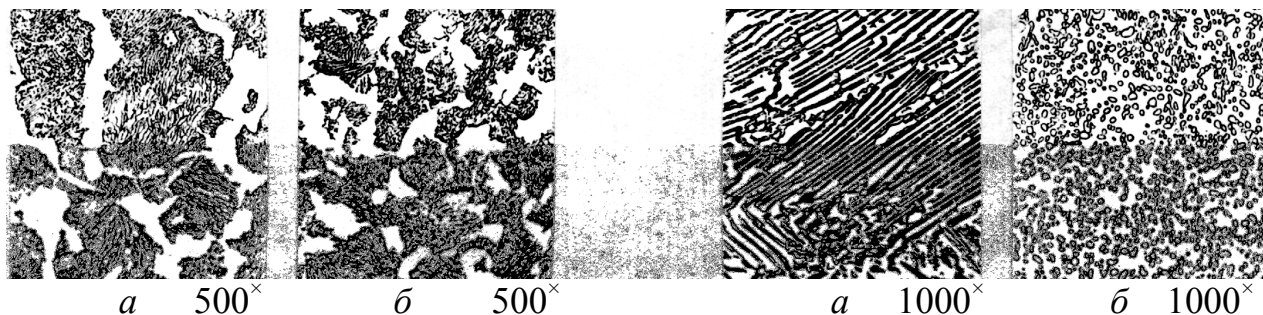


Рисунок 14.1 - Мікроструктура доевтектоїдної сталі 50:
а - до відпалу, б - після повного відпалу; світлі зерна - ферит, темні зерна - перліт

Рисунок 15.2 - Мікроструктура евтектоїдної сталі У8:
а – до відпалу (пластинчастий перліт), б - після неповного відпалу (зернистий перліт)

14.1.2. Вплив температури гартування і швидкості охолодження на мікроструктуру загартованої доевтектоїдної сталі. Гартування підвищує міцність та твердість сталі. Структура загартованої сталі залежить від температури нагрівання та швидкості охолодження. Основною структурою загартованої сталі є мартенсит - перенасичений розчин вуглецю в α -залізі.

Сталь 50 після повного гартування. Після нагрівання до температури $t_{n.гарт.} = A_{c3} + (30...50)^\circ\text{C}$, видержування при цій температурі і наступного швидкого охолодження у воді доевтектоїдна сталь 50 має структуру дрібноголчастого мартенситу з рівномірно розташованими по всьому полі голками. Голки перетинаються під кутами приблизно 60° або 120° (рис. 14.3, а – вигляд під мікроскопом; схема - на обкладинці, третій рисунок зліва). Сталь має високу твердість і міцність та потребує послідовного відпускання.

Сталь 50 перегріта при гартуванні. Величина і розташування голок мартенситу при гартуванні залежать від розмірів вихідних зерен аустеніту. Чим вища температура нагріву тим більші зерна аустеніту. І з-за “спадкоємності” сталі будуть більші голки мартенситу після охолодження сталі у воді. Голки об'єднуються в окремі ділянки з переважною орієнтацією.

При перегріві сталі (до 1000°C і вище) в процесі швидкого охолодження утворюється мартенсит крупноголчастий (рис. 14.3, б; на схемі – голки виконують крупніші), який має підвищену крихкість і понижену твердість.

Сталь 50 недогріта при гартуванні. При нагріванні до температури неповного гартування, тобто до $t_{\text{неп.гарт.}} = A_{c1} + (30 \dots 50)^\circ\text{C}$, в доевтектоїдній сталі утворюються дві фази - аустеніт + ферит. При швидкому охолодженні аустеніт переходить у *дрібногочастий мартенсит* (темніші ділянки, 700НВ), а *ферит* (світлі ділянки, 60НВ) залишається (рис. 14.3, в). Таким чином недогрів при гартуванні сталі 50 зменшує її твердість

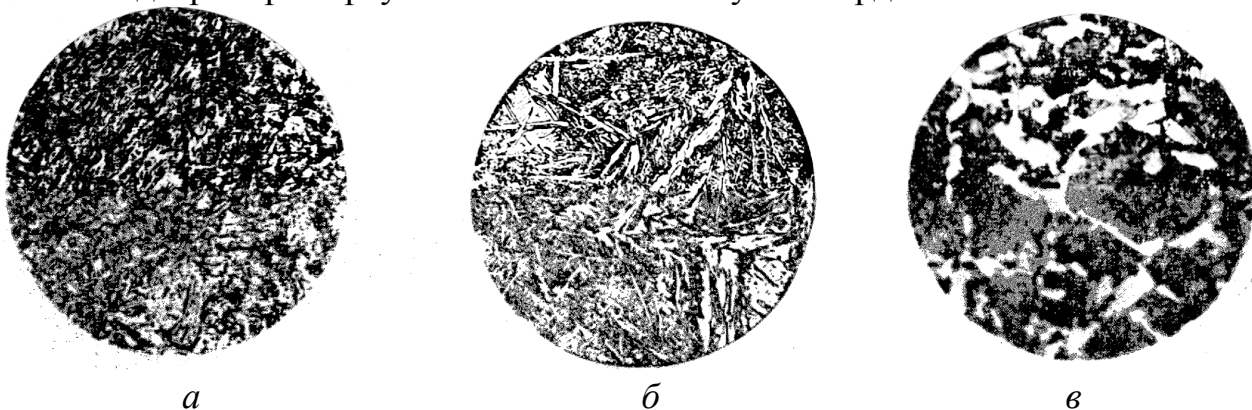


Рисунок 14.3 - Вплив температури гартування на структуру сталі 50:
а – повне гартування, $t_{\text{н.гарт.}} = A_{c3} + (30 \dots 50)^\circ\text{C}$, дрібногочастий мартенсит;
б – перегрів, $t_{\text{гарт.}} = 1000^\circ\text{C}$, крупногочастий мартенсит;
в – недогрів, $t_{\text{гарт.}} < A_{c3} + (30 \dots 50)^\circ\text{C}$, дрібногочастий мартенсит + ферит

Вплив зниження швидкості охолодження сталі при гартуванні. Якщо при гартуванні вуглецеву сталь 50 охолоджувати не у воді, а в маслі, то швидкість охолодження буде нижче критичної швидкості гартування, $V_{\text{гарт.}} < V_{\text{кр.}}$. Тоді структура загартованої сталі (рис. 14.4) буде складатися з *гочастого мартенситу гартування* ($M_{\text{голч.}}$ - світлі гочасті зерна) і *пластинчастого троститу гартування* ($T_{\text{пл.}}$ - темні ділянки).



$M_{\text{голч.}}$

$T_{\text{пл.}}$

Тростит гартування, як продукт розпаду аустеніту, - це механічна суміш пластинок фериту і цементиту. Тростит в структурі загартованої сталі свідчить, що сталь охолоджувалася з недостатньою швидкістю. Твердість такої сталі нижча, ніж твердість сталі мартенситної структури.

Рисунок 14.4 - Мартенсит і тростит гартування, при $V_{\text{гарт.}} < V_{\text{кр.}}$

14.1.3 Особливості режиму гартування заевтектоїдної сталі. Заевтектоїдні сталі при гартуванні нагрівають до температури неповного гартування: $t_{\text{неп.гарт.}} = A_{c1} + (30 \dots 50)^\circ\text{C}$. Це дає можливість зберегти при гартуванні надлишковий цементит, який збільшує твердість і зносостійкість сталі. Структура заевтектоїдної сталі після гартування складається з *мартенситу і цементиту*. Але слід відзначити, що при великій кількості С,

Cr, Ni та інших елементів температура кінця мартенситного перетворення інструментальної сталі нижче кімнатної і при охолодженні не весь аустеніт перетворюється в мартенсит. Залишок аустеніту поступово розпадається, що сприяє нестабільності структури і властивостей сталі. Одразу після гартування такі інструменти оброблюють холодом.

15.1.4 Мікроструктура і властивості загартованої сталі після відпускання. Відпускання – це нагрівання загартованої сталі нижче критичної точки A_{c1} для зменшення внутрішніх напружень і твердості та підвищення ударної в'язкості. Швидкість охолодження на структуру не впливає. Структура вуглецевих сталей при відпусканні залежить температури відпускання, яке поділяють на низьке, середнє та високе.

Мікроструктура сталі після низького відпускання. При температурах низького відпускання ($150...250^{\circ}\text{C}$) мартенсит гартування (голчастий) перетворюється в *мартенсит відпускання* (зернистий). Це *менш пересичений твердий розчин вуглецю в $\alpha\text{-Fe}$* , в якому розподілені дрібнодисперсні частки карбиду заліза (рис. 14.5, а). При низькому відпусканні зберігається висока твердість, але зменшуються внутрішні напруження.

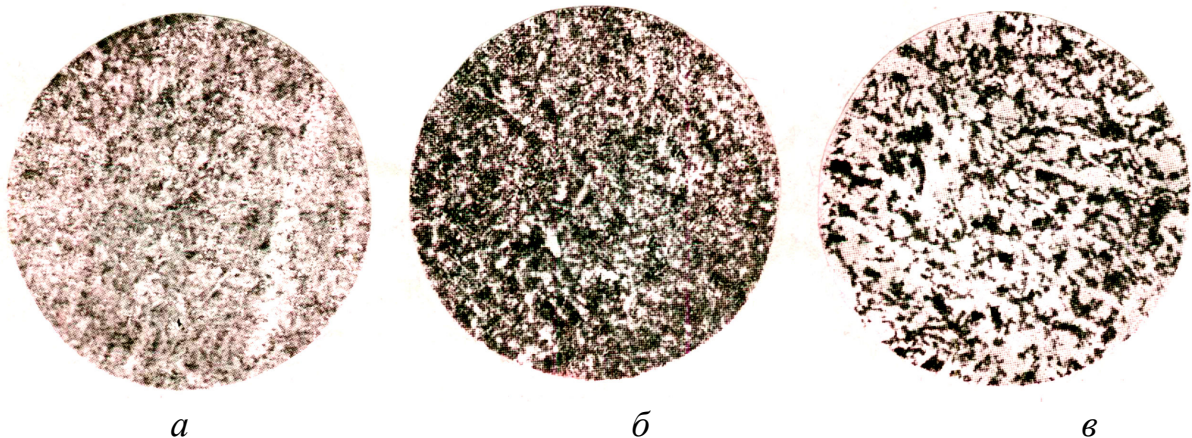


Рисунок 14.5 - Загартована на мартенсит сталь після відпускання: *а* – низького ($150...250^{\circ}\text{C}$), відпущений мартенсит; *б* – середнього ($300...400^{\circ}\text{C}$), тростит відпускання; *в* - високого ($500...600^{\circ}\text{C}$), сорбіт відпускання

Низьке відпускання застосовується для різальних і вимірювальних інструментів, деталей після цементації і гартування, а також для деталей після гартування струмами високої частоти. Твердість - до 64HRC.

Мікроструктура сталі після середнього відпускання. При температурах середнього відпускання ($300...400^{\circ}\text{C}$) голчастий мартенсит гартування перетворюється високодисперсну суміш фериту і цементиту - *тростит відпускання* (зернистий, рис. 14.5, б). Середнє відпускання підвищує пружність - в'язкість сталі при збереженні достатньої твердості, 28...52HRC - залежно від вмісту вуглецю.

Середнє відпускання застосовується для інструментів і деталей машин, що працюють при помірних ударних і знакозмінних навантаженнях (штампи, пружини, ресори).

Мікроструктура сталі після високого відпускання. При температурах високого відпускання (500...600°C) збільшуються частинки суміші ферита і цементиту, тобто мартенсит переходить у *сорбіт відпускання*, що має зернисту будову крупнішу ніж тростит (рис. 14.5, в). Твердість сорбіту відпускання 20...44HRC - залежно від вмісту вуглецю. Високе відпускання повністю усуває внутрішні напруження і дає найкраще співвідношення міцності і в'язкості сталі при достатній твердості. Тому "гартування + високе відпускання" називають "покращанням сталі".

Високе відпускання застосовується для всіх відповідальних деталей машин та ударного інструменту з метою отримання достатньої міцності та ударної в'язкості.

Тростит і сорбіт відпускання порівняно з троститом та сорбітом гартування при однаковій твердості та міцності мають вище відносне подовження з-за зернистої будови.

14.1.5 Мікроструктура сталі, загартованої струмами високої частоти.

Гартування і відпускання підвищують механічні властивості деталей в їх об'ємі, тобто серцевині. Якщо ж для деталі необхідна *висока зносостійкість (твердість) окремих поверхонь*, що працюють в умовах тертя, то ці поверхні підлягають *поверхневому гартуванню*. Спочатку деталь підлягає "покращанню" для підвищення міцності та в'язкості в її об'ємі, потім поверхневому гартуванню окремих поверхонь для підвищення їх твердості.

При поверхневому гартуванні струмами високої частоти структура та властивості деталі міняються тільки в поверхневому шарі, а її серцевина лишається без змін. Мікроструктура поверхневого шару складеться з кількох зон, що плавно переходять одна в одну. На поверхні - *мартенсит*, в перехідній зоні - *мартенсит з феритом* (або тростит-мартенсит з феритом) і в серцевині - *перліт з феритом*.

Струмами високої частоти гартують поверхні деталей машин зі сталей 40, 40X, 40XH, 45, 45X та інших, які в процесі роботи зазнають високих змінних навантажень та зношуються внаслідок тертя (вали, шийки колінчастих валів, кулачки розподільчих валів, шпинделі, шестерні тощо). Твердість загартованої поверхні 50...60HRC.

Недолік методу – значна вартість високочастотної установки, можливість використання тільки в масовому і серійному виробництві (для деталей різних розмірів і конфігурації необхідні відповідні індуктори і підбір режимів).

14.1.6 Мікроструктура цементованої сталі. Якщо необхідна висока твердість поверхневого шару деталі і висока ударна в'язкість в об'ємі деталі, то її виготовляють з сталі, що містить мало вуглецю (0,15...0,25%С). Але поверхневий шар насичують вуглецем (цементация) на глибину 0,5...2,5 мм для того, щоб при гартуванні і низькому відпусканні одержати високу твердість і зносостійкість поверхні деталі, яка після цементації має заевтектоїдну структуру. В об'ємі деталі твердість при гартуванні не підвищується з-за малої кількості вуглецю, тому висока в'язкість зберігається.

Цементований шар має змінну концентрацію вуглецю, що дифундує з поверхні вглиб. Тому від поверхні вглиб в цементованому шарі спостерігається безперервна зміна структури, в якій можна розрізнити три зони (рис. 15.6):

- 1 заевтектоїдну, перліт (темний фон) + надлишковий цементит (тонка біла сітка);
- 2 евтектоїдну, перліт;
- 3 доевтектоїдну, перліт (темні ділянки) + ферит (світлі ділянки), структура якої в перехідній зоні наближається до структури серцевини деталі ($\approx 0,2\%C$).

За глибину цементованого шару приймається сума заевтектоїдної, евтектоїдної і половини перехідної зони.

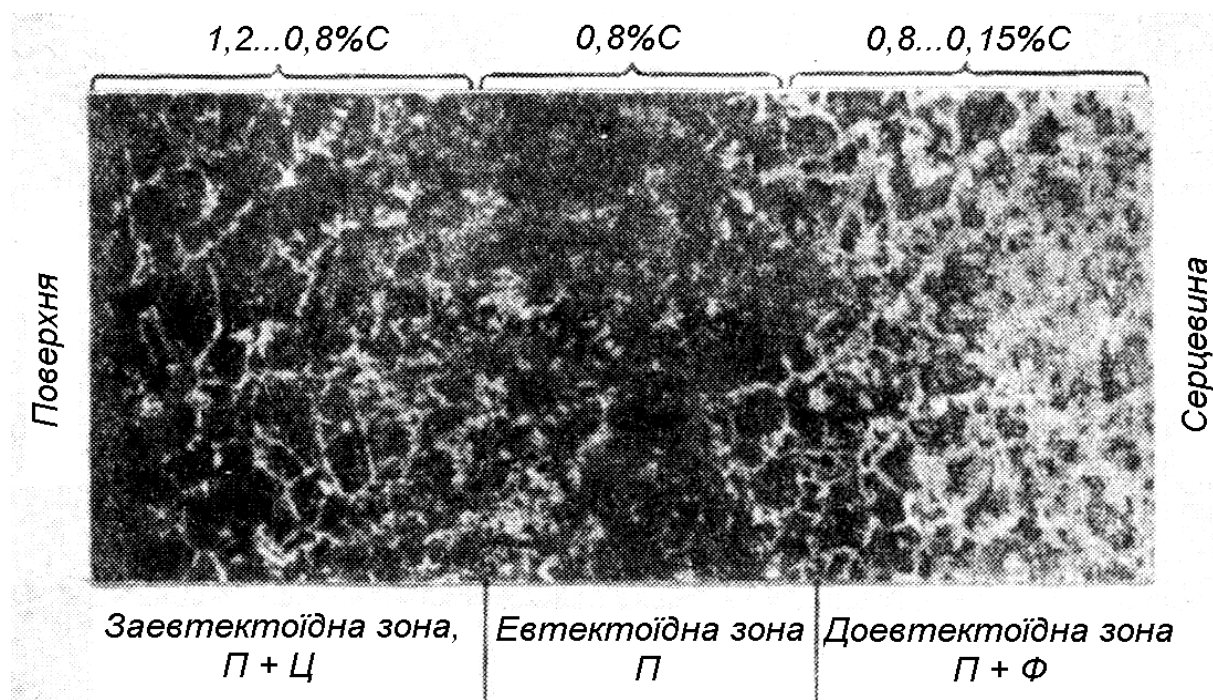


Рис. 14.6. Структура сталі 15 (0,15%С) після цементації при 920⁰С та повільного охолодження

На рис. 14.7 показана структура цементованої сталі після остаточної термічної обробки, тобто *нормалізації* при 900°C , *неповного гартування* при $t_{\text{гарт}} = A_{c1} + (30 \dots 50)^{\circ}\text{C} = 770^{\circ}\text{C}$ та *низького відпускання* при 150°C .

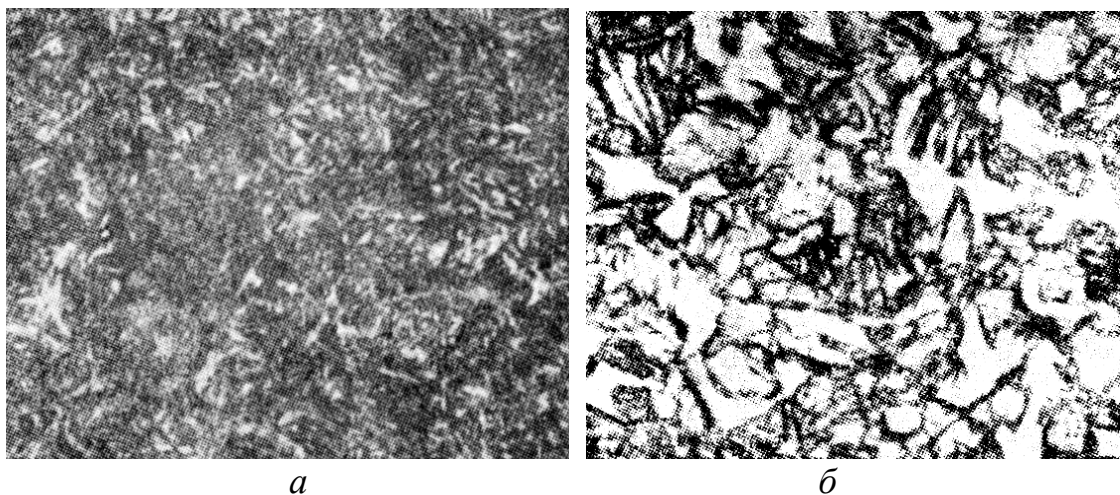


Рисунок 14.7 - Структура цементованої сталі 15 після нормалізації (900°C), гартування (770°C) та низького відпускання (150°C):

a – зернистий мартенсит відпускання в поверхневому шарі;

б – маловуглецевий зернистий мартенсит відпускання + ферит, в серцевині

Структура поверхневого шару – зернистий мартенсит відпускання (рис. 14.7, а). Структура серцевини – зернистий маловуглецевий мартенсит відпускання + ферит (рис. 14.7, б). Поверхневий шар ($0,8 \dots 1,2\% \text{C}$) буде мати високу твердість і зносостійкість. В серцевині ($0,15\% \text{C}$) твердість не підвищиться з-за малої кількості вуглецю в мартенситі та наявності в структурі великої кількості фериту (світлі зерна).

14.2. Завдання і зміст звіту

1. Вказати назву і мету роботи.
2. Розглянути, зарисувати і описати мікроструктури відпалених, загартованих та відпущених вуглецевих сталей. До кожного опису мікроструктури зробити висновок про вплив мікроструктури на властивості сталі, привести приклади використання термооброблених сталей.
3. Зарисувати і описати мікроструктуру і властивості поверхневого шару сталі, загартованої струмом високої частоти.
4. Зарисувати і описати мікроструктуру і властивості сталльної цементованої деталі в поверхневому шарі і в об'ємі – після цементації та термічної обробки.

Контрольні питання

1. Як впливає відпал на мікроструктуру та властивості доевтектоїдної та заевтектоїдної сталей?
2. Визначте температуру гартування сталей 40 і У8.
3. Які властивості має мартенсит?
4. Як впливають недогрів і перегрів на структуру і властивості доевтектоїдної сталі?
5. Який вид термічної обробки поліпшує оброблюваність інструментальної сталі різанням?
6. Яких мікроструктур і властивостей набувають сталі після різних режимів відпускання?
7. Яка мета гартування сталі струмами високої частоти?
8. Як змінюється мікроструктура цементованої сталі від поверхні вглиб деталі?
9. Як впливає гартування на різні структурні зони цементованої деталі?
10. Порівняйте властивості в поверхневому шарі і в об'ємі для деталей виготовлених з використанням цементації та гартування струмами високої частоти.
11. Пояснити мікроструктуру і властивості сталюї цементованої деталі в поверхневому шарі і в об'ємі – після цементації, нормалізації, гартування, відпускання

МІКРОАНАЛІЗ ЛЕГОВАНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ

Мета роботи. Проаналізувати мікроструктуру і властивості легованих конструкційних сталей.

Устаткування, інструменти та матеріали. Металографічний мікроскоп МИМ-8М, мікрошліфи конструкційних легованих сталей, фотографії мікроструктур.

15.1 Мікроструктура конструкційних легованих сталей

Леговані сталі. Легованими називають сталі, в які у процесі виплавки спеціально введені легуючі елементи (л.е.) для підвищення механічних або фізико-хімічних властивостей.

Вплив легуючих елементів. У процесі кристалізації л.е. взаємодіють з залізом та вуглецем і залежно від природних властивостей та вмісту можуть утворювати структурні складові у вигляді твердих розчинів або хімічних сполук або створювати однорідну структуру існування якої неможливе у вуглецевих сталях при нормальній температурі. В результаті можуть підвищуватися – міцність, ударна в'язкість, твердість, зносостійкість, теплостійкість, корозійна стійкість та ін. Інкубаційний період ізотермічного перетворення аустеніту л.е. збільшують тому збільшується прогартовуваність сталей та зменшується критична швидкість їх гартування.

Взаємодія л.е. з залізом. При взаємодії з залізом ЛЕ утворюють тверді розчини заміщення з повною (тільки Ni, Co) або обмеженою розчинністю. В останньому випадку лишок ЛЕ утворює з залізом хімічні сполуки (інтерметаліди FeCr , Fe_3W_2 , Fe_3Mo_2 , FeV та ін.). Розчинення ЛЕ спотворює кристалічну решітку заліза та зміцнює його; хімічні сполуки, при збільшенні їх кількості, спочатку підвищують міцність сталі потім зменшують, аналогічно дії вуглецю.

Взаємодія л.е. з вуглецем. Елементи Mn, Cr, Mo, W, V, Ti, Ta, Zr, Nb утворюють з вуглецем *карбіди* (Mn_3C , Cr_7C_3 , W_2C , VC , TiC та ін.) - хімічні сполуки, які підвищують твердість та корозійну стійкість сталі, протидіють росту зерен аустеніту при нагріванні сталі до високих температур.

Елементи Si, Al, Ni, Co, Cu карбідів не утворюють і розчиняються в фериті, аустеніті та мартенситі.

Класифікація за мікроструктурою. Після нагрівання до 900°C і охолодження на повітрі леговані сталі поділяються на класи: феритний, перлітний, мартенситний, аустенітний та карбідний. Від складу сталі залежать режими її термообробки та мікроструктура, яка визначає властивості сталі.

Маркування. Для маркування легованих сталей прийнято літерно-цифрову систему. Відповідно до неї легуючі елементи позначають такими літерами: А, в середині марки – азот (N), на початку – автоматна, в кінці –

високоякісна; Б – ніобій (Nb); В – вольфрам (W), Г – манган (Mn), Д – мідь (Cu), К – кобальт (Co), М – молібден (Mo), Н – нікель (Ni), П – фосфор (P), Р – бор (B), С – силіцій (Si), Т – титан (Ti), Ф – ванадій (V), Х – хром (Cr), Ц – цирконій (Zr), Ю – алюміній (Al).

Перше двозначне число на початку марки **конструкційної** сталі або сталі з **особливими властивостями** вказує середній *вміст вуглецю у сотих долях %*, далі - *кожна літера* позначає *елемент*, а *число* за нею - середній вміст цього елемента у %. Якщо після літери немає числа, то вміст елемента близько 1%. Літери в кінці марки означають: А - високоякісна сталь (наприклад, 38ХГСА); Ш - особливо високоякісна (98Х18-Ш); СШ - оброблена синтетичним шлаком (35ХМФА-СШ); Л - сталь, призначена для одержання виливків (25Л).

Наприклад (розшифровка марки сталі):

35Х2МА ГОСТ 4543-71 – сталь легована конструкційна, склад за маркою: 35 – 0,35%С (покращувальна, тому що гартується, сталі в яких менше чим 0,3%С – не гартуються); Х2 – 2%Cr; М – 1%Mo (бо числа після «М» немає); А – високоякісна.

Деякі леговані сталі виділено в окремі групи і позначено літерами на початку марки так: Ш – шарикопідшипникова; Е - магнітна; А – автоматна, тобто з підвищеною оброблюваністю різанням.

Призначення. Конструкційні сталі призначені для виготовлення деталей машин, апаратів та конструкцій. Залежно від умов експлуатації основними вимогами до них є міцність, твердість (зносостійкість), ударна в'язкість, пружність.

Класифікація за вмістом вуглецю. Машинобудівні конструкційні леговані сталі залежно від вмісту вуглецю поділяють на цементуючі, покращувальні, ресорно-пружинні та шарикопідшипникові.

15.2 Мікроструктура цементуючих легованих сталей

Цементуючі (низьколеговані сталі містять 0,15...0,25%С, наприклад сталі марок: 15Х, 20Х, 15ХР, 20ХН, 20ХГР, 20ХНР, 18ХГТ, 30ХГТ, 18ХНМФА, 12ХН3А, 12Х2Н4, 20Х2Н4А та ін.

Цементуючі сталі після відпалу мають структуру (рис. 15.1):

ферит + перліт. Причому площа фериту займає більше 65%, а перліту менше 35%.

Після хіміко-термічної та термічної обробки, “цементация + нормалізація + гартування + низьке відпускання”, відповідальні деталі з цих сталей мають такі механічні властивості (для невідповідальних нормалізація непотрібна):

- твердий і зносостійкий поверхневий шар (58...62HRC) завтовшки 0,5...2,5 мм;
- в'язку і міцну серцевину (30...42HRC), в якій з-за нормалізації дрібніше зерно та більша границя текучості.

Якщо у вуглецевих сталях з 0,15...0,25%С при гартуванні серцевина не зміцнюється, то в легованих зміцнення буде тим більше чим більше в сталі легуючих елементів та вуглецю. Тому цементуючі сталі іноді поділяють на три групи:

- вуглецеві - з серцевиною що не зміцнюється;
- низьколеговані - зі слабким зміцненням серцевини;
- середньолеговані - з сильним зміцненням серцевини. Останні називають високоміцними цементуючими сталями. До них відносяться також низьколеговані сталі, що містять 0,25...0,30%С.

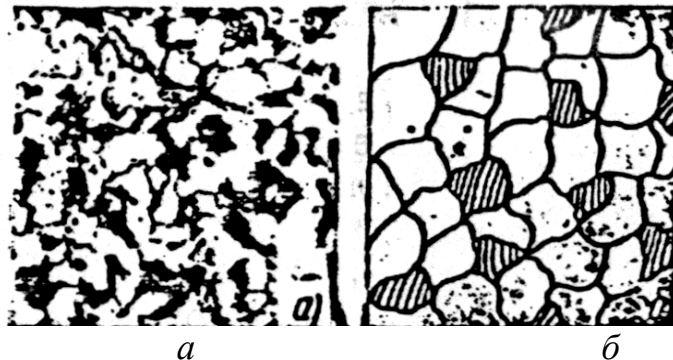


Рисунок 15.1 - Сталь 18ХГТ після відпалу – ферит+перліт:
а – мікроструктура ($\times 500$); б – схема мікроструктури

15.3 Мікроструктура покращувальних легованих сталей

Покращувальні леговані сталі містять 0,3...0,6%С, наприклад сталі марок: 30Х, 40Х, 45Х, 40ХН, 40ХФА, 30ХГСА, 30ХН3А, 40ХН2МА та ін.

Покращувальні сталі після відпалу мають структуру (рис. 15.2): ферит + перліт. Але площа перліту в них більша чим у цементуючих (понад 35%).



Рисунок 15.2 - Сталь 30ХГСА після відпалу – ферит + перліт:
а – мікроструктура ($\times 500$); б – схема мікроструктури

Після “покращання” - термообробки, яка складається з “гартування і високого відпускання”, структура сталі - сорбіт відпускання (рис. 15.3).

Порівняно з вуглецевими ці сталі мають вищі в'язкість, міцність і прогартовуваність, яка залежить від кількості легуючих елементів. Наприклад прогартовуваність сталі 40ХН – до 50 мм, а сталі 30ХГСА – до 100 мм. Нікель підвищує в'язкість, кремній та марганець надають добру зварюваність, молибден – зберігає міцність при 300...400⁰С.

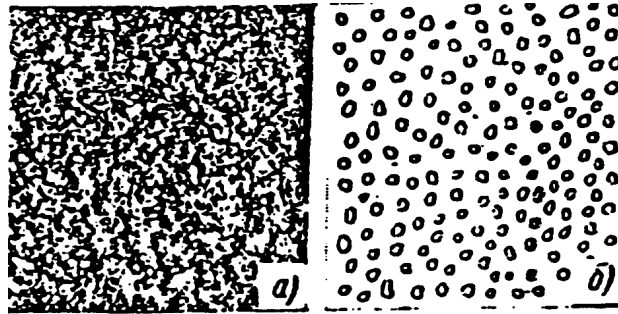


Рисунок 15.3 - Сталь 30ХГСА після гартування і високого відпускання – сорбіт: *а* – мікроструктура ($\times 500$); *б* – схема мікроструктури

При виборі сталі для відповідальних деталей, наприклад ДВЗ (колінчастий вал, шатун, шатунні болти, шестерні та ін.), слід враховувати, що при збільшенні вмісту вуглецю та легуючих елементів твердість в об'ємі деталі підвищується (рис. 15.4, *а*), але міцність росте до певного значення, яке обмежується зменшенням ударної в'язкості. На рис. 15.4, *б* показаний вплив легуючих елементів на ударну в'язкість фериту. Всі розчинені в фериті легуючі елементи крім Ni та Cr при концентрації більше 1% значно зменшують його ударну в'язкість, а твердість, а тому і міцність збільшують. Властивості (рис. 15.4) та прогартовуваність - важливі характеристики для орієнтації у виборі марки сталі залежно від розмірів деталі та навантажень.

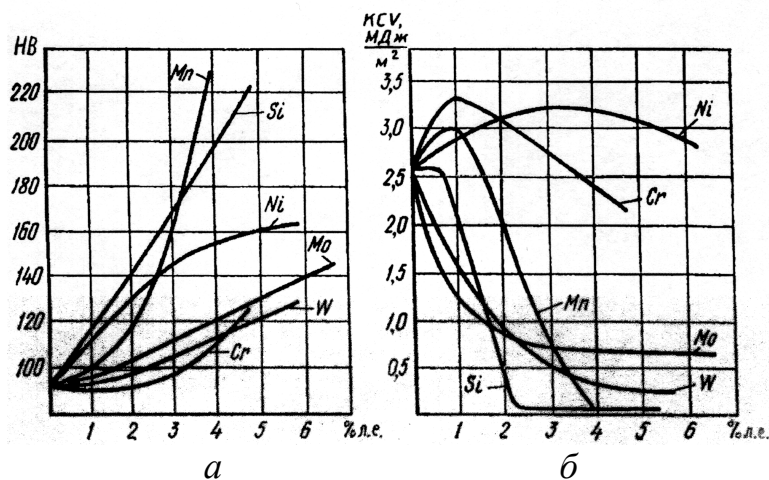


Рисунок 15.4 – Вплив легуючих елементів (л.е.) на властивості фериту: *а* – на твердість, *НВ* ; *б* – на ударну в'язкість, *KCV*

Покращувальні конструкційні леговані сталі використовують для виготовлення колінчастих валів і шатунів ДВЗ, зубчастих коліс, осей валів, болтів гайок та ін. відповідальних деталей.

Після об'ємної термічної обробки (покращання) підвищують твердість поверхонь, які працюють в умовах тертя – поверхневим гартуванням. Далі виконують низьке відпускання ($160...200^{\circ}\text{C}$) для зменшення внутрішніх

напружень, які виникають при гартуванні. Досягається твердість поверхневого шару 48...52HRC при міцній і достатньо в'язкій серцевині.

15.1.3 Мікроструктура ресорно-пружинних легованих сталей

Для ресор, пружин, торсіонів та інших пружних деталей використовують леговані сталі, що містять 0,5...0,7%С та Cr, Mn, Si, V, які підвищують пружність, наприклад марки сталей 65Г, 60С2, 50ХГ, 50ХФА, 60С2ХФА, 60С2Н2А та ін.

Для отримання найбільш високого значення пружності ресори та пружини *гартують* від 800...850°С у маслі або у воді і після цього виконують *середнє відпускання* при 350...500°С (в залежності від марки сталі) з метою отримання будови троститу. Для ресор оптимальна твердість 42...48HRC.

Сталь 60С2 в стані поставки (рис. 15.5) має структуру ферит + перліт, а після гартування і середнього відпускання – тростит (рис. 15.6).



Рисунок 15.5 - Сталь 60С2 у стані постачання – ферит + перліт:
а – мікроструктура ($\times 500$); б – схема мікроструктури

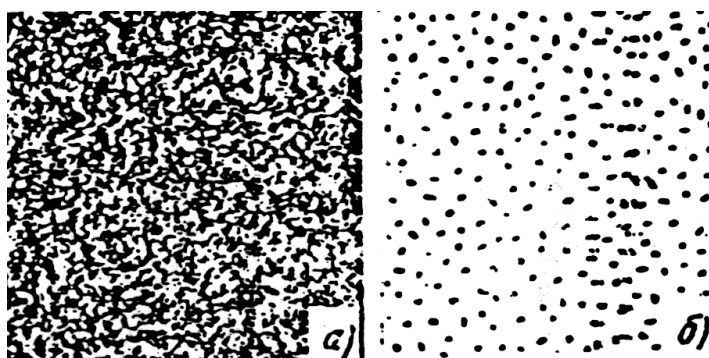


Рисунок 15.6 - Сталь 60С2 після гартування і середнього відпускання – тростит:
а – мікроструктура ($\times 500$); б – схема мікроструктури

15.3 Завдання та порядок оформлення звіту

Лабораторна робота №15 МІКРОАНАЛІЗ ЛЕГОВАНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ

Мета. Проаналізувати мікроструктуру та властивості легованих конструкційних сталей.

Звіт з мікроаналізу повинен містити для кожної групи сталей:

- № з/п згідно методичних вказівок та назву сталі (за класифікацією), мікроструктура якої досліджується;
- розшифровку складу сталі за маркою;
- схему мікроструктури з позначеннями структурних складових;
- опис структурних складових та їх властивостей;
- аналіз впливу структурних складових на властивості сталі;
- аналіз впливу на утворення мікроструктури складу сталі та її термообробки;
- можливі види термічної (хіміко-термічної) обробки сталі та отримувані при цьому механічні властивості;
- можливе використання сталі;
- висновок.

Контрольні питання

1. На які класи за структурою поділяються леговані сталі?
2. Як взаємодіють легуючі елементи з залізом та вуглецем?
3. Як впливають легуючі елементи на інкубаційний період ізотермічного перетворення аустеніту?
4. Яку структуру мають цементуючі сталі до і після цементації?
5. Який порядок термічної та хіміко-термічної обробки деталей з цементуючих сталей?
6. Який порядок термічної обробки і відповідні структури покращувальних сталей?
7. Який порядок термічної обробки і відповідні структури ресорно-пружинних сталей?

Лабораторна робота №16

МІКРОАНАЛІЗ ЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ З ОСОБЛИВИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

Мета роботи. Проаналізувати мікроструктуру та властивості легованих сталей з особливими властивостями.

Устаткування, інструменти та матеріали. Металографічний мікроскоп МИМ-8М, мікрошліфи легованих сталей з особливими властивостями, фотографії мікроструктур.

16.1 Класифікація легованих сталей з особливими властивостями

До сталей і сплавів з особливими властивостями належать корозієстійкі, жаростійкі, магнітні, сплави на основі нікелю та ін.

За структурою ці сталі ділять на такі класи: *перлітний, мартенситний, аустенітний, феритний, аустенітно-мартенситний, мартенситно-феритний, аустенітно-феритний.*

16.2 Мікроструктура легованих сталей перлітного класу

Це сталі 15ХМ, 12Х1МФ та ін., які є жаростійкими при температурі 400...550°C, мають задовільну зварюваність. З них виготовляють і зварюють труби та деталі котельних агрегатів, парових турбін, ДВЗ. Після нормалізації при 950...1050°C мають структуру: ферит + бейніт (рис. 16.1).

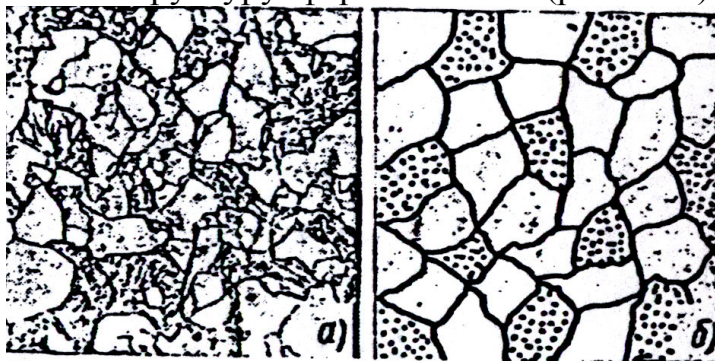


Рисунок 16.1 - Сталь 12Х1МФ (перлітного класу) після нормалізації:
а – мікроструктура ($\times 500$); б – схема мікроструктури

Легування цих сталей хромом, молібденом і ванадієм виконується для підвищення температури рекристалізації фериту. Високу жароміцність забезпечують карбіди ванадію.

16.3 Мікроструктура легованих сталей мартенситного класу

Сталі цього класу: 15Х11МФ, 40Х9С2 та ін. - жаростійкі при температурі 500...600°C. 20Х13, 30Х13 40Х13 - корозієстійкі. Після гартування в маслі (або охолодження на повітрі) від температури

1000...1050°C структура - мартенсит (рис. 16.2). Сталі 30X13, 40X13 після гартування і відпускання мають високу твердість (50...60HRC) і використовуються для виготовлення хірургічного інструменту, карбюраторних голок та домашніх предметів.

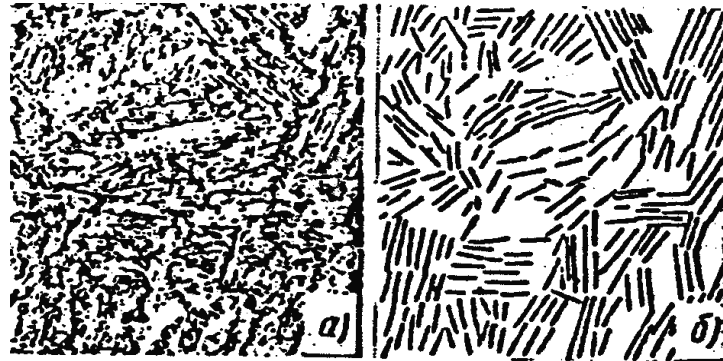


Рисунок 16.2 - Сталь 20X13 (мартенситного класу) після гартування :
а – мікроструктура ($\times 500$); б – схема мікроструктури

Сільхром (40X9C2) підлягає гартуванню при 1000°C та відпусканню до 720...780°C і може працювати при 500...600°C. З нього виготовляють жароміцні деталі, що не потребують зварювання (клапани ДВЗ).

Для деталей газових турбін використовують складнолеговані сталі (15X12ВМНФ), які після гартування (1000°C) і відпускання мають високу границю тривалої міцності.

16.4 Мікроструктура легованих сталей аустенітного класу

Сталі: 45X14Н14В2М, 40X15Н7Г7Ф2МС та інші є жаростійкими при температурі 600-750°C; сталі X18Н9, 10X14Г14Н3 та ін. – корозієстійкі.

Типова термічна обробка сталей аустенітного класу включає нагрів до 1050...1100°C з послідовним охолодженням у воді або на повітрі з отриманням структури аустеніту (рис. 16.3), потім відпускання при 750°C, в результаті якого з аустеніту виділяються карбіди хрому, які розташовуються на границях зерен аустеніту (рис. 16.4).



Рисунок 16.3 - Сталь 45X14Н14В2М (аустенітного класу) після гартування :
а – мікроструктура ($\times 500$); б – схема мікроструктури



Рисунок 16.4 - Сталь 45X14H14B2M (аустенітного класу) після гартування і відпускання (старіння): а – мікроструктура ($\times 500$); б – схема мікроструктури

Ці сталі мають вищі, чим у хромистих - антикорозійні властивості, міцність, пластичність. Мають також добру зварюваність. Оброблюваність різанням їх погана.

16.5 Мікроструктура легованих сталей феритного класу

Сталі 12X17, 08X17, 15X28 та ін. – корозієстійкі; ЭЗ, Э4 – трансформаторні, висококремністі (3...4% Si). Вони не мають перетворення $\alpha \leftrightarrow \gamma$ при нагріванні і охолодженні, тому не гартуються. Корозієстійкі сталі мають структуру крупнозернистого фериту або фериту з невеликою кількістю карбідів хрому (рис. 16.5). Їх недолік – крихкість при 450...500°C. З цих сталей виготовляють ємності і труби азотно-кислотних заводів.

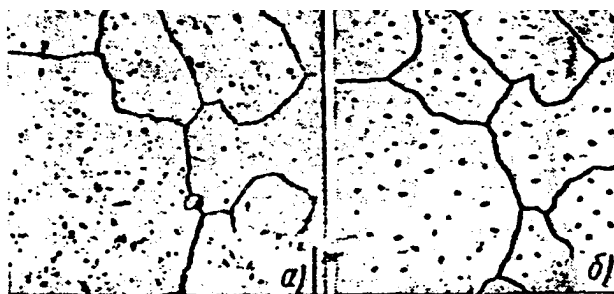


Рисунок 16.5 - Сталь 12X17 (феритного класу): а – мікроструктура ($\times 500$); б – схема мікроструктури

16.6. Основні відомості про використання високолегованих сталей

Зносостійкі сталі. Для роботи в умовах ударно-абразивного зношування призначені *литі сталі аустенітного класу* 110Г13Л і 60Х5Г10Л, а в умовах кавітаційно-ерозійного зношування (деталі відцентрових насосів, лопатки гідротурбін) - сталі 30Х10Г10, 0Х14Г12М, 0Х14АГ12М та ін.

Корозієстійкі сталі поділяють на дві групи: *хромисті і хромонікелеві.*

Хромисті сталі містять 13% і більше хрому. За структурою вони поділяються на сталі *феритного* (08X13, 15X25Т), *феритно-мартенситного* (12X13) і *мартенситного* (20X13, 30X13, 95X18) класів.

Більшість *хромонікелевих сталей* належать до аустенітного класу: 12X18Н9, 12X18Н12Т, 10X14Г14Н4Т та ін. Поряд з ними існують сталі аустенітно-феритного (наприклад, 08X21Н6М2Т) і аустенітно-мартенситного (09X15Н8Ю) класів.

Жаростійкі сталі призначені для роботи при високих температурах у газових середовищах. Жаростійкість (окалиностійкість) визначається не структурою, а складом сталі і в основному залежить від вмісту хрому. Введення в сталь 5...8% хрому підвищує її жаростійкість до 700...750°C, а при 25%Cr - до 1100°C. Поряд з хромом ці сталі легують Si, Al, Ni (15X5, 40X9C2, 15X18CЮ, 20X23Н13 та ін.).

Жароміцні сталі здатні тривало працювати під навантаженням при високих температурах. Їх поділяють на три класи: перлітний, мартенситний і аустенітний.

До сталей *перлітного* класу, призначених для роботи при температурі 450...580°C, належать котельні (15К, 18К, 22К) та теплостійкі (12МХ, 25Х1МФ, 20Х3МВФ та ін.) сталі.

Сталі *мартенситного* класу (15Х5М, 12Х8ВФ, 40Х10С2М) здатні працювати при температурі 450...600°C.

Для роботи при температурі 650...700°C використовують сталі *аустенітного* класу (10Х18Н12Т, 08Х15Н24В4ТР, 45Х14Н14В2М).

Таблиця 16.2 - Використання високолегованих, корозійностійких, жаростійких та жароміцних сталей (за ГОСТ 5632-72)

Марка сталі	Використання
13X11H2B24Ф	Диски компресорів, лопатки турбін
20X13	Деталі з підвищеною пластичністю, предмети домашнього вжитку
30X13, 40X13	Різальний, вимірювальний, хірургічний інструмент, пружини, предмети домашнього вжитку
14X17H2	Важконавантажені деталі, що працюють в агресивних середовищах, в умовах ударних навантажень і стирання
12X17	Деталі, що працюють в азотнокислих середовищах, предмети домашнього вжитку
15X11МФ	Робочі та напрямні лопасті парових турбін
12X18H9Т, 12X18H10	Зварювана апаратура для хімічної промисловості
20X23H18	Деталі для газових турбін, двигунів внутрішнього згорання
ХН77ТЮР	Деталі турбін і реактивних двигунів, що працюють при високих температурах

16.7 Завдання та порядок оформлення звіту

Лабораторна робота №16

МІКРОАНАЛІЗ ЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ ОСОБЛИВИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

Мета. Проаналізувати мікроструктуру та властивості легованих сталей з особливими властивостями.

Звіт з мікроаналізу повинен містити для кожної групи сталей:

- назву (за класифікацією) та мікроструктуру сталі яка досліджується;
- розшифровку складу сталі за маркою;
- схему мікроструктури з позначеннями структурних складових;
- опис структурних складових та їх властивостей;
- аналіз впливу структурних складових на властивості сталі;
- аналіз впливу на утворення мікроструктури складу сталі та її термообробки;
- можливі види термічної (хіміко-термічної) обробки сталі та отримувані при цьому механічні властивості;
- можливе використання сталі;
- висновок.

Контрольні питання

1. На які класи за структурою поділяються леговані сталі?
2. Як взаємодіють легуючі елементи з залізом та вуглецем?
3. Як впливають легуючі елементи на інкубаційний період ізотермічного перетворення аустеніту?
4. Яку структуру мають цементуючі сталі до і після цементації?
5. Який порядок термічної та хіміко-термічної обробки деталей з цементуючих сталей?
6. Який порядок термічної обробки і відповідні структури покращувальних сталей?
7. Який порядок термічної обробки і відповідні структури ресорно-пружинних сталей?
8. Які сталі називають нержавіючими?
9. Приведіть структури і властивості сталей за класами.

Лабораторна робота №17 МІКРОАНАЛІЗ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ СТАЛЕЙ

Мета. Практичне вивчення і аналіз мікроструктури і властивостей інструментальних сталей залежно від складу та термообробки.

Обладнання та матеріали. Металографічний мікроскоп МИМ-8М, мікрошліфи інструментальних сплавів, фотографії мікроструктур.

17.1 Загальні відомості про інструментальні сталі

Інструментальні сталі призначені для виготовлення різального, штампового та вимірювального інструменту.

Сталі для різального інструменту повинні мати високу твердість, стійкість до спрацювання, теплостійкість, достатню міцність (залежить від прогартовуваності) та ударну в'язкість. Їх легують головними чином карбідотворюючими елементами - W, Mo, Cr, V, Mn.

За теплостійкістю і прогартовуваністю сталі для різальних інструментів поділяють на вуглецеві, низьколеговані та швидкоріжучі.

Марки *вуглецевих інструментальних сталей* (ДСТУ 3833-98) позначають літерою У і числом, яке вказує вміст вуглецю у десятих частках відсотків, наприклад: У8 (0,8% С), У12 (1,2% С). Високоякісні сталі, в кінці марки мають літеру А (У8А, У12А). Ці сталі мають низьку теплостійкість та малу прогартовуваність.

У марках *низьколегованих інструментальних сталей* (ДСТУ 3953-2000) вміст вуглецю зазначають у десятих частках відсотків (9ХС – 0,9%С, 6ХВГ – 0,6%С), а якщо його масова частка становить 1% або більше, то початкову цифру взагалі не пишуть (Х, Х12, ХВГ тощо). Ці сталі у відзнаку від вуглецевих мають підвищену прогартовуваність, яка залежить від кількості легуючих елементів.

Швидкоріжучі сталі Р18, Р6М5 (ГОСТ 19265-73) тощо позначають на початку марки літерою “Р” (*rapid* – швидкість), число після “Р” вказує відсоток вольфраму, далі – літери і числа позначають легуючі елементи та їх кількість у відсотках.

17.2 Вуглецеві інструментальні сталі

Вуглецеві інструментальні сталі мають малі прогартовуваність (8...10 мм) та теплостійкість (близько 200°C), містять 0,6...1,35%С.

У відпаленому стані доевтектоїдна сталь У7 має структуру “перліт + ферит”; евтектоїдна У8 – “перліт”; заевтектоїдні У9...У13 – “зернистий перліт” (рис. 17.1, а), а після гартування у воді – “мартенсит+цементит” (рис. 17.1, б).

Для різального інструменту, що працює без ударів (напилки, мітчики), застосовують сталі більш тверді, тобто з більшим вмістом вуглецю - У10, У12. Інструмент, який працює при ударних навантаженнях (зубила, молотки), повинен мати деяку в'язкість, тому для його виготовлення застосовують менш тверді й крихкі сталі з меншим вмістом вуглецю - У7, У8.

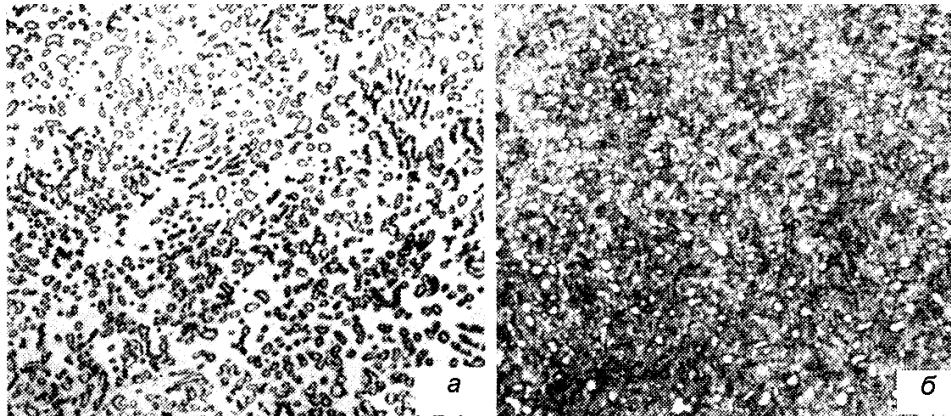


Рисунок 17.1 - Мікроструктура сталі У10 ДСТУ 3833-98:
а – після відпалу – зернистий перліт; *б* – після гартування –
 мартенсит+цементит

Інструментальні вуглецеві сталі (У10, У12) після гартування і низького відпускання мають твердість 60...63 HRC. Проте через низьку теплостійкість (200°C) їхнє використання обмежене. З вуглецевих сталей виготовляють інструменти, які працюють з малою швидкістю різання: мітчики, плашки, напилки, шабери, ручні розвертки та ін.

17.2 Мікроструктура низьколегованих інструментальних сталей підвищеної прогартуваності, нетеплостійких

Низьколеговані інструментальні сталі містять 0,9...1%С та легуючі елементи Cr, Si, W, V, наприклад: Х, 9ХС, ХГВ, В2Ф та ін.

У відпаленому стані мають структуру зернистого перліта. Після гартування в маслі від $830...860^{\circ}\text{C}$ та низького відпускання при $140...160^{\circ}\text{C}$ їх твердість 62...65HRC, структура - мартенсит + карбіди (рис. 17.2).

Ці сталі використовуються при малих швидкостях різання (нагрів ріжучої кромки не повинен перевищувати $200...260^{\circ}\text{C}$). У відзнаку від вуглецевих з них можна виготовляти інструмент складнішої форми та більших розмірів (розвертки, протяжки, плашки, мітчики; 9ХС – перерізом до 35 мм, ХВГ – до 45 мм, ХВСГ – до 100 мм). ХВ4 має високу твердість – 67...69HRC.

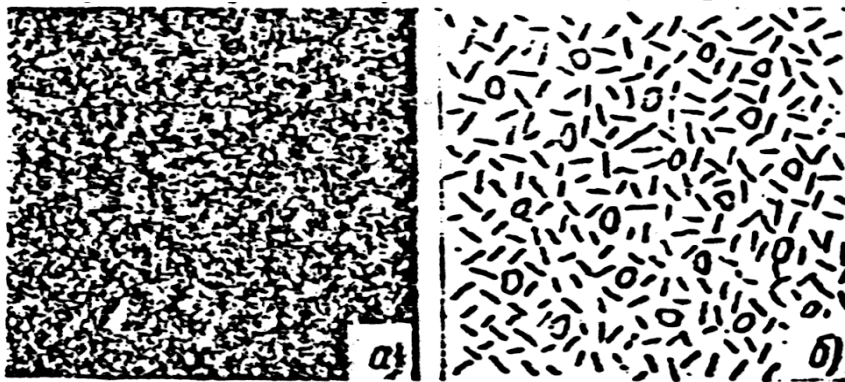


Рисунок 17.2 - Сталь Х після гартування і низького відпускання – мартенсит + цементит: *а* – мікроструктура ($\times 500$); *б* – схема мікроструктури

17.3 Мікроструктура швидкоріжучої сталі. Для забезпечення високої теплостійкості ці сталі леговані значною кількістю вольфраму. Для зменшення вартості частину дорогого вольфраму замінюють молібденом. Крім того ці сталі містять приблизно 4%Cr і 2%V.

Найбільш поширеними швидкоріжучими сталями є P18 та P6M5, які мають теплостійкість до 620⁰C. Ці сталі рекомендуються для інструменту при обробці вуглецевих та легованих сталей.

Для обробки високоміцних, корозієстійких і жароміцних сталей і сплавів використовують сталі, що містять кобальт: P18K5Ф2, P9K5, P6M5K5, P2AM9K5 та ін. Для в'язких аустенітних сталей та матеріалів з абразивними властивостями використовують P12Ф3, тобто з ванадієм.

В литому стані структура швидкоріжучої сталі P18 складається з евтектики у вигляді “скелетоподібного” ледебуриту та продуктів розпаду аустеніту (рис. 17.3).

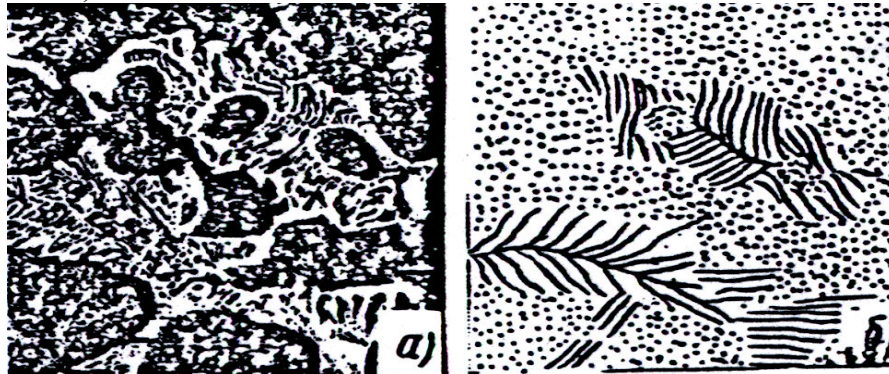


Рисунок 17.3 - Швидкоріжуча сталь P18 після лиття :
а – мікроструктура (×500); б – схема мікроструктури

Наявність в литій швидкоріжучій сталі ледебуритної евтектики надає сталі крихкість і утруднену оброблюваність. Для руйнування ледебуритної евтектики литу швидкоріжучу сталь піддають обробці тиском (*гарячому прокатуванню або куванню*) та *відпалу*. Гаряче кування дробить скелетоподібну евтектику на відокремлені карбіди.

Мікроструктура кованої і відпаленої швидкоріжучої сталі складається з крупних первинних карбідів, дрібних вторинних карбідів і сорбітоподібного перлиту, що являє собою суміш фериту та дрібних евтектоїдних карбідів, які займають основне поле мікроструктури (рис. 17.4)

Мікроструктура швидкоріжучої сталі, загартованої з оптимальної температури (1270⁰C), складається з *мартенситу*, *карбідів* і *залишкового аустеніту*. Однак травленням виявляються головним чином границі бувших зерен аустеніту і дуже погано відзначається основна структурна складова – мартенсит. За виглядом структура загартованої швидкоріжучої сталі складається тільки з аустеніту і карбідів (рис. 17.5)

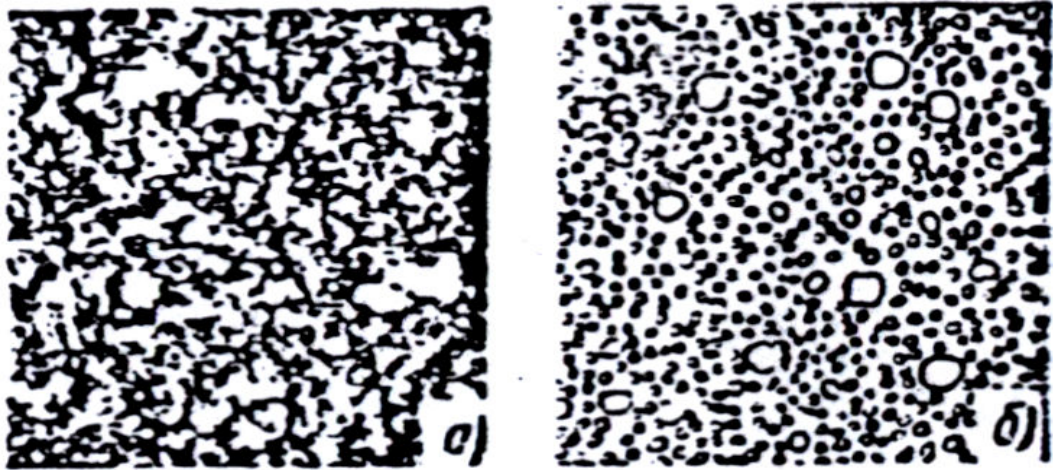


Рисунок 17.4 - Сталь Р18 після кування та відпалу:
а – мікроструктура ($\times 500$); б – схема мікроструктури



Рисунок 17.5 - Сталь Р18 після гартування (нормальний нагрів):
а – мікроструктура ($\times 500$); б – схема мікроструктури

Мікроструктура загартованої швидкоріжучої сталі після трикратного відпускання при $550-570^{\circ}\text{C}$ складається з мартенситу і карбідів (рис. 17.6).



Рисунок 17.6 - Сталь Р18 після гартування і трикратного відпускання:
а – мікроструктура ($\times 500$); б – схема мікроструктури

17.4 Завдання та порядок оформлення звіту

Лабораторна робота №17 МІКРОАНАЛІЗ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ СТАЛЕЙ

Мета. Практичне вивчення і аналіз мікроструктури і властивостей інструментальних сталей залежно від складу та термообробки.

Звіт з мікроаналізу кожної сталі повинен містити:

- назву сталі за класифікацією та розшифровку її марки;
- схему мікроструктури сталі з описом її термообробки;
- позначення на схемі і опис структурних складових. Вказати назву кожної складової, тип сплаву до якого вона відноситься та її властивості;
- аналіз впливу структурних складових на механічні властивості сталі;
- інструменти, для яких можливе використання сталі.

Контрольні питання

1. Який склад вуглецевих інструментальних сталей?
2. Яку термообробку виконують для вуглецевих інструментальних сплавів та яка мікроструктура цих сталей до і після термообробки?
3. При яких умовах обробки можна використовувати ріжучі інструменти із вуглецевих інструментальних сталей? Які твердість і теплостійкість цих сталей?
4. Які властивості і структуру до і після термообробки мають низьколеговані інструментальні сталі?
5. Як впливають легуючі елементи на структуру і властивості низьколегованої сталі?
6. Які інструменти виготовляють з низьколегованих інструментальних сталей?
7. Яка прогартовуваність і теплостійкість швидкоріжучих сталей?
8. Яка технологія виготовлення інструменту з швидкоріжучої сталі?
9. Яку структуру має швидкоріжуча сталь на різних етапах обробки?
10. Як впливають легуючі елементи на структуру і властивості швидкоріжучої сталі?

Лабораторна робота № 18

МІКРОАНАЛІЗ МІДІ ТА ЇЇ СПЛАВІВ

Мета роботи. Проаналізувати мікроструктуру і властивості міді, латуней і бронз.

Устаткування, інструменти і матеріали. Металографічний мікроскоп МІМ-8М, мікрошліфи і фотографії міді та її сплавів.

18.1 Властивості, використання та мікроструктура міді

Мідь має кристалічну решітку гранецентрованого куба. Їй властиві висока електро- і теплопровідність, пластичність та корозостійкість. Мідь у чистому вигляді застосовується для виготовлення кабелів, шин і проводів передачі електроенергії, прокладок, ущільнювальних кілець, шайб тощо.

Технічна мідь поділяється на п'ять марок: М-0 (99,95% Cu), М-1 (99,9 Cu), М-2 (99,7% Cu), М-3 (99,5% Cu), М-4 (99% Cu).

Мікроструктура деформованої і відпаленої міді зерниста, має двійники.

18.2 Мікроструктура, властивості та використання латуней

Латунями називаються сплави міді, у яких основним легуючим компонентом є цинк.

Латуні з вмістом цинку до 39% мають *однофазну* структуру твердого розчину цинку в міді (α -латуні), а з вмістом 39...46% - *двофазну* структуру $\alpha + \beta'$ та однофазну β' – твердого розчину на основі електронної хімічної сполуки CuZn (рис. 18.1, а).

У промисловості застосовують латуні із вмістом цинку до 45%. При більшій кількості механічні властивості (границя міцності σ_b , відносне подовження δ) різко знижуються (рис. 18.1, б). Слід відзначити, що в латунях при збільшенні кількості цинку до 30% підвищується не тільки міцність, а й пластичність.

Недоліком латуней є схильність до корозійного розтріскування у вологій атмосфері при наявності залишкових механічних напружень після деформації. Тому деформовані латуні відпалюють при 270...300°C.

На рис. 18.1, в зображено мікроструктуру литої однофазної α – латуні марки Л70. Під мікроскопом осі дендритів, збагачені міддю, мають світлий відтінок, а міждендритні ділянки, збагачені цинком - темний.

Після наступної деформації і відпалу латунь має зернисту будову з характерними смугами двійників (рис. 18.1, г). Різний відтінок зерен пояснюється їх вільною орієнтацією та різною інтенсивністю травлення з-за анізотропії.

Мікроструктура $\alpha + \beta'$ - латуні (рис. 18.1, д) складається з твердого розчину α (світлі ділянки) та твердого розчину β' (темні ділянки). Ця структура порівняно з α - латунню менш пластична і більш тверда.

Латуні за технологічними властивостями можуть бути деформівні і ливарні, а за складом – прості і спеціальні.

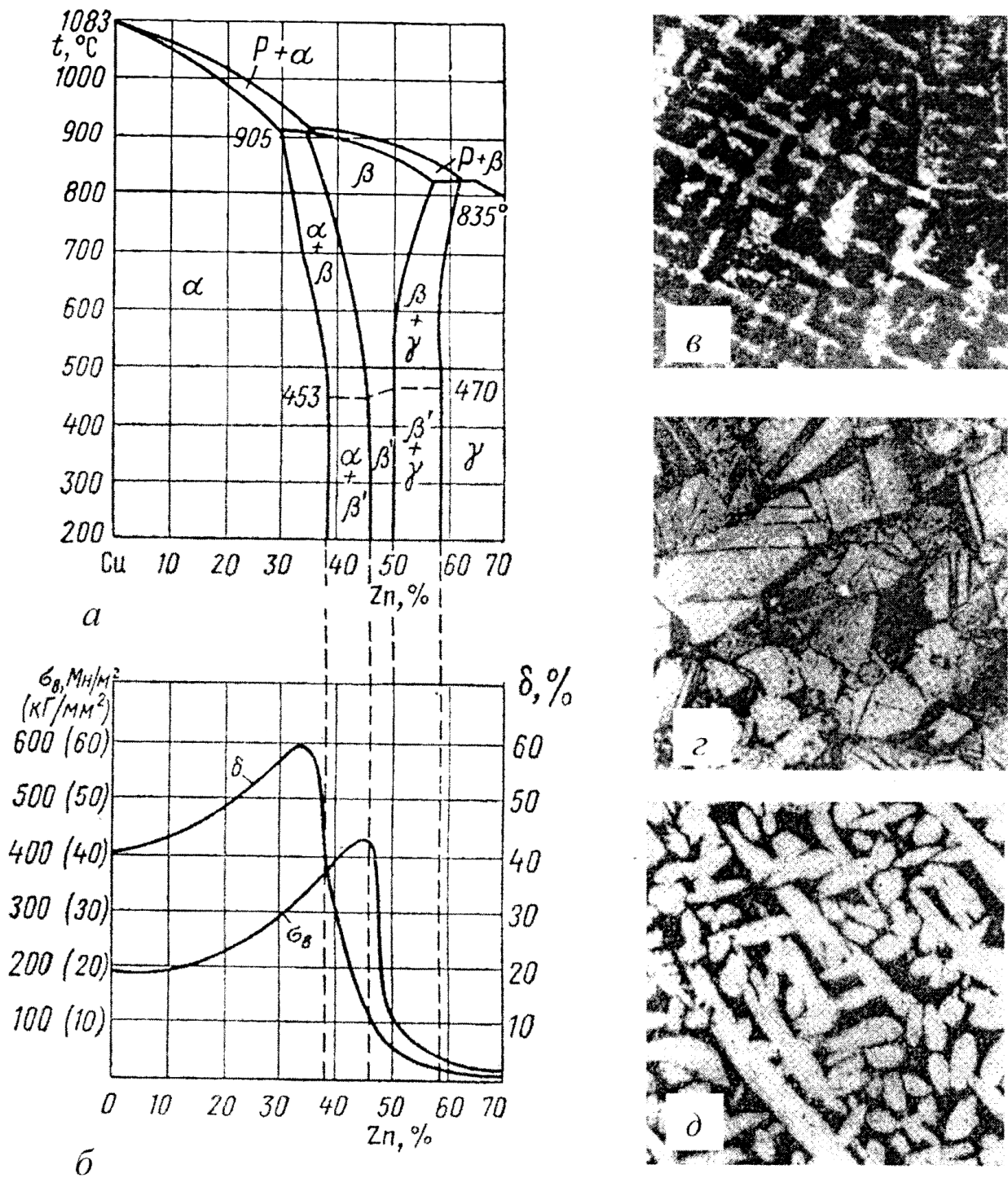


Рисунок 18.1 - Латуні:

- a* - діаграма стану Cu-Zn; *б* - границя міцності (σ_s) та відносне подовження (δ) литої латуні залежно від вмісту цинку;
в - мікроструктура однофазної α -латуні марки Л70 після лиття;
з - Л70 після наступної деформації і відпалу;
д - мікроструктура двофазної латуні Л60 після лиття

Прості латуні, Cu+Zn, маркують літерою *Л* і позначають числом середній вміст міді. Наприклад, Л68 – латунь, яка містить 68%Cu + (100-68=32)%Zn.

Спеціальні латуні містять також інші легуючі елементи, які позначаються такими літерами: *Ф* – P; *О* – Sn; *Ж* – Fe; *А* – Al; *К* – Si; *Мц* – Mn; *Н* – Ni.

В марці деформівної латуні після літери «Л» позначаються легуючі елементи, а далі ставиться вміст міді і через тире – числа, що вказують вміст вказаних після «Л» легуючих елементів.

Наприклад, ЛАН59-3-2:

Л – латунь, яка містить;

59 – 59%Cu ;

3 - 3%Al (А);

2 - 2%Ni (Н);

решта - цинк 100-59-3-2=36%Zn.

В марці ливарної латуні після літер «ЛЦ» вказується вміст цинку, потім позначається кожен легуючий елемент та його вміст. Якщо вміст 1%, то число не ставиться.

Наприклад, ЛЦ40Мц3А:

Л – латунь, яка містить;

Ц40 – 40%Zn;

Мц3 – 3%Mn;

А – 1%Al;

решта – мідь 100-40-3-1=56%.

З однофазних деформівних α -латуней обробкою тиском у холодному стані виготовляють гільзи патронів (Л68, Л70), трубки теплообмінників (Л70), прутки, дріт, стрічки, ювелірні і декоративні вироби (Л90). Менш пластичні в холодному стані двофазні латуні прості і спеціальні деформуються в гарячому стані при температурах понад 700⁰С.

Як ливарні використовують переважно спеціальні латуні, які характеризуються значною рідкотекучістю, малою схильністю до газонасиченості з-за випаровування цинку та до ліквації, добрими антифрикційними властивостями та високою міцністю. Недолік латуней – необхідність додатків у ливарних формах для виведення великих усадочних раковин, великі втрати цинку через його леткість при плавленні сплавів.

З ливарних латуней виготовляють арматуру (ЛЦ40С), лопатки гребних гвинтів (ЛЦ40М3Ж), гайки, вінці черв'ячних коліс (ЛЦ23А6Ж3Мц2), шестерні (ЛЦ16К4), втулки підшипників (ЛЦ38Мц2С2) та ін.

18.3 Мікроструктура, властивості та використання олов'янистих бронз

Бронзами називаються сплави міді з будь-якими елементами, серед яких цинк не є основним. Діаграма стану та властивості олов'яних бронз залежно від вмісту олова приведені на рис 18.2, а мікроструктура на рис. 18.3.

Деформівні бронзи, що містять до 7% олова, після деформування і відпалу мають мікроструктуру у вигляді однорідних зерен твердого розчину α з характерними двійниками (рис. 18.3, а). Лита бронза до відпалу має дендритну будову у вигляді неоднорідного твердого розчину α . Вироби з таких бронз у вигляді стрічок, прутків і дроту поставляють у нагартваному (твердому) або відпаленому (м'якому) стані.

Ливарні бронзи, що містять 7 - 14% олова і відлиті у звичайних умовах, мають двофазну структуру (рис. 18.3, в), яка складається зі світлого фону неоднорідного твердого розчину α та світлих полів зернистої будови - евтектоїду $\alpha + \beta$, де β є інтерметалічним з'єднанням $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$. Ливарні бронзи мають високі антифрикційні властивості. Тверді частинки ($\alpha + \beta$) протистоять спрацюванню бронзи, а м'яка матриця (α) сприяє приробленню поверхонь, що труться. З ливарних бронз виготовляють переважно арматуру (для води), а також деталі, що працюють в умовах тертя: втулки, вкладиші підшипників, вінці черв'ячних коліс.

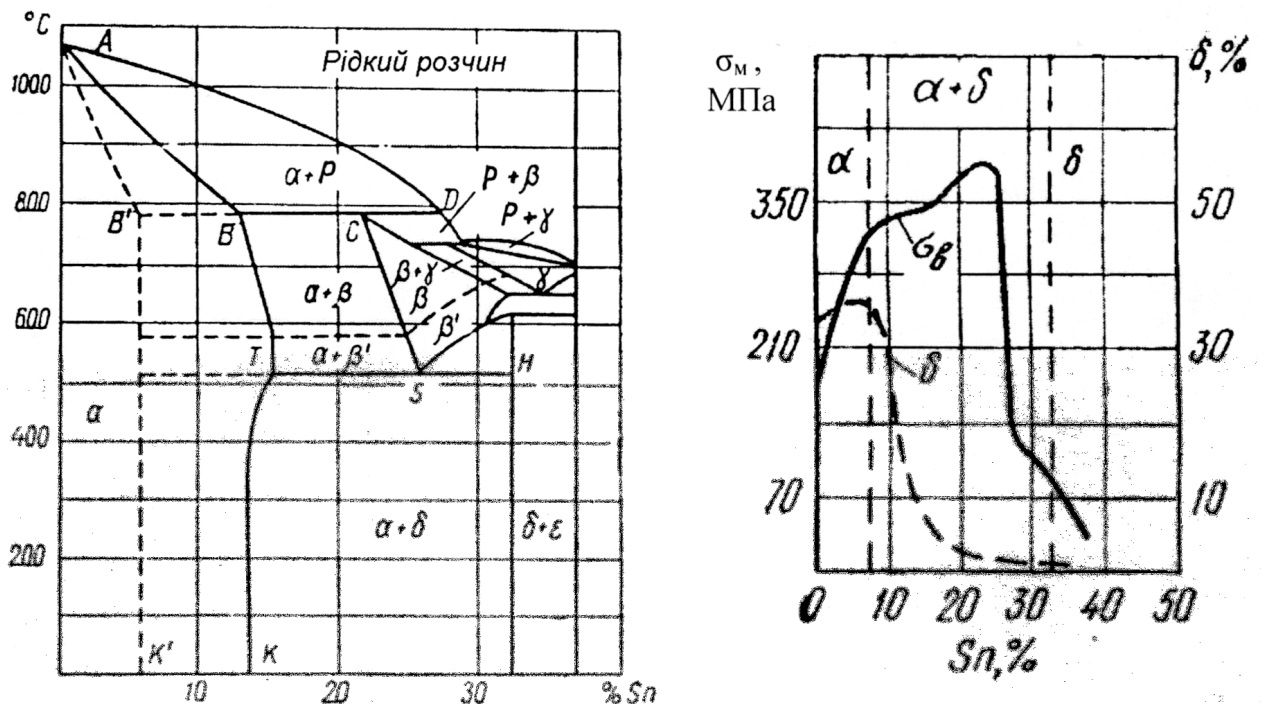


Рисунок 18.2 - Діаграма стану і властивості олов'яних бронз

Олов'яні бронзи (табл. 18.1) мають високі механічні й антифрикційні властивості та корозійну стійкість і легко обробляються. Однак велика дефіцитність олова обмежує застосування високоолов'янистих бронз.

Бронзи маркують літерами *Бр* (бронза), за якими проставляють літери, що вказують компоненти, крім міді, які входять до складу бронзи та числа, що вказують кількість компонентів у відсотках. У деформівних проставляють спочатку всі літери, потім всі числа через тире. У ливарних числа ставляться після кожної літери, що позначає легуючий компонент.

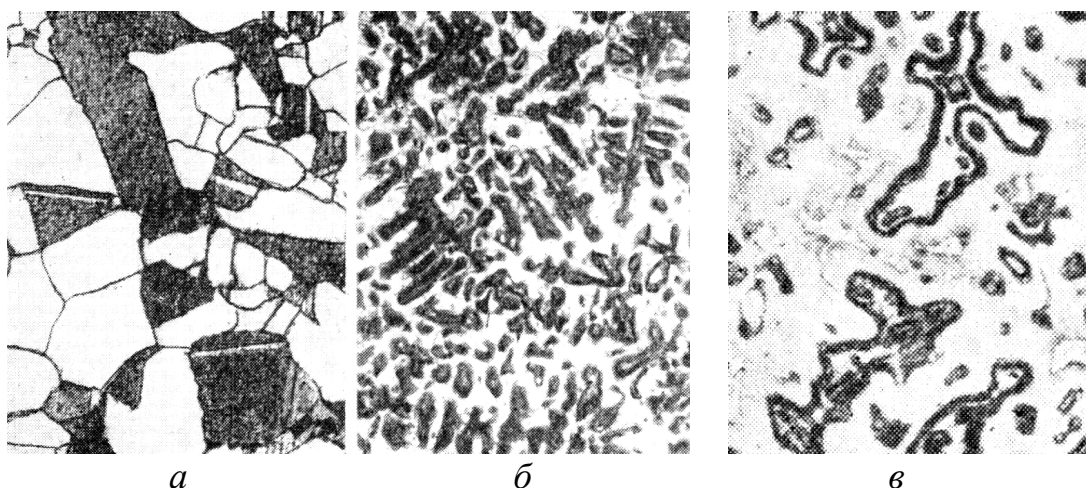


Рисунок 18.3 - Мікроструктура олов'янистих бронз: *а, б* – 6%Sn, *а* – після відпалу, *б* – до відпалу; *в* – 10% Sn, після лиття

Наприклад:

БрОФ10-1 – деформівна бронза, яка містить олова (О) – 10%, фосфору (Ф) – 1%, а решта – мідь $100-10-1=89\%$;

БрО4Ц7С5 – ливарна бронза, яка містить олова (О) – 4%, цинку (Ц) – 7%, свінцю (С) – 5%, а решта – мідь $100-4-7-5=84\%$ Cu.

Таблиця 18.1 - Марки та властивості деяких олов'янистих бронз

Марка бронзи	Механічні властивості			Призначення
	σ_m , МПа	<i>НВ</i>	δ , %	
БрОЦ 10-12	200	60	2	Зубчасті колеса, арматура високого тиску, підшипники, що працюють при підвищених тисках і швидкостях
БрОФ 10-1	260	90	20	Те саме
БрОЦСН 3-1-5-1	280	60	8	Арматура, що працює у воді й парі під тиском до 2,5 МПа
БрОЦС 3-11-5	180	60	8	Те саме
БрОЦС 6-6-3	150	60	6	Деталі, що працюють на знос
БрОФ 6,5-0,25	300	—	38	Стрічки, штаби, дрід для пружин
БрОЦС 4-4-2,5	300	—	35	Дрід діаметром 0,1...12 мм

18.4 Мікроструктура, властивості та використання алюмінієвих бронз

Алюмінієві бронзи. З діаграми стану Cu-Al (рис. 18.4) видно, що при вмісті алюмінію до 9,8% утворюється однофазна структура твердого розчину α -фази, а при вмісті його від 9,8 до 16% - двофазна структура, яка складається з твердого розчину α -фази і евтектоїду $\alpha + \gamma'$.

Мікроструктура однофазної алюмінієвої бронзи мало відрізняється від однофазної олов'яної. Мікроструктура двофазної алюмінієвої бронзи складається (рис. 18.5) з твердої α -фази (світлі ділянки) і евтектоїду $\alpha + \gamma$ (темні ділянки). Двофазні алюмінієві бронзи (табл. 18.2) можна термічно обробляти гартуванням і старінням. Для гартування бронзу нагрівають до температури вище 570°C , тобто до температури евтектоїдного перетворення, а потім охолоджують у воді. Після гартування утворюється голчаста структура, подібна до структури мартенситу.

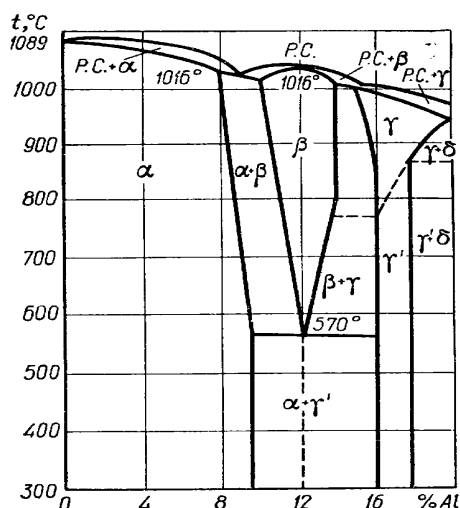


Рисунок 18.4. Діаграма стану Cu-Al



Рисунок 18.5 - Мікроструктура двофазної алюмінієвої бронзи

Таблиця 18.2 - Марки та властивості та призначення деяких алюмінієвих бронз

Марка бронзи	Механічні властивості		Призначення
	σ_B , МПа	δ , %	
БрА5	700	3	Стрічки, штаби
БрАЖ9-4	400	20	Пружини, поковки, фасонне литво, арматура, черв'ячні та зубчасті колеса, втулки тощо
БрАЖСІ-1,5-1,5	800	18	Фасонне литво
БрАМц9-2	400	20	Трубки, штаби, стрічки
БрАЖМц10-3-1-1,5	600	12	Прутки діаметром 16...120 мм
БрАЖНЮ-4-4	500	5	Прутки, труби, литво

18.5. Завдання та порядок оформлення звіту

Лабораторна робота № 18 МІКРОАНАЛІЗ МІДІ ТА ЇЇ СПЛАВІВ

Мета роботи. Проаналізувати мікроструктуру і властивості міді, латуней і бронз.

Звіт з мікроаналізу кожного сплаву повинен містити:

- назву і марку сплаву, мікроструктура якого досліджується;
- розшифровку марки сплаву;
- схему мікроструктури сплаву з вказівкою методу його отримання та позначенням структурних складових;
- опис структурних складових та їх властивостей;
- аналіз впливу структурних складових на властивості сплаву;
- аналіз впливу на утворення мікроструктури складу сплаву та його термообробки;
- можливе використання сплаву;
- висновок.

Контрольні питання

1. Які мікроструктура і властивості міді?
2. Які сплави називають латунями?
3. Як поділяються латуні за складом, структурою та технологічними властивостями?
4. Чим відрізняється маркування деформівних і ливарних латуней?
5. Приведіть приклади застосування латуней.
6. Які сплави називають бронзами?
7. Як маркують бронзи?
8. Приведіть структуру і властивості олов'яних бронз.
9. Які існують безолов'яні бронзи?
10. Приведіть структуру і властивості алюмінієвої бронзи.

Лабораторна робота №19
МІКРОАНАЛІЗ ЛЕГКИХ КОЛЬОРОВИХ СПЛАВІВ

Мета роботи. Проаналізувати мікроструктуру та властивості легких кольорових сплавів на основі алюмінію і магнію залежно від їх складу та термообробки.

Устаткування, інструменти, матеріали. Металографічний мікроскоп МИМ-8М, мікрошліфи легких кольорових сплавів, альбом мікроструктур кольорових металів.

19.1. АЛЮМІНІЙ ТА ЙОГО СПЛАВИ

Характерною особливістю алюмінію є висока електропровідність. Оскільки на поверхні алюмінію утворюється щільна плівка окису алюмінію Al_2O_3 , він має відносно високу стійкість проти корозії в деяких середовищах. Алюміній (основний компонент) з міддю, магнієм, кремнієм, цинком та іншими елементами утворює ряд технічних сплавів. Ці сплави мають кращі властивості, ніж чистий алюміній, і широко застосовуються в техніці. Всі алюмінієві сплави можна поділити на дві основні групи: деформівні і ливарні.

Деформівні сплави підрозділяються на сплави, що не зміцнюються термічною обробкою, і сплави, що зміцнюються термічною обробкою.

19.1.1 Мікроструктура, властивості та використання деформівних алюмінієвих сплавів, що не зміцнюються термічною обробкою

До *деформівних сплавів, що не зміцнюються термічною обробкою*, належать сплави Al-Mn і Al-Mg-Mn, які мають мікроструктуру у вигляді однорідного α -твердого розчину. Ці сплави (марки АМц і АМг2) мають високу пластичність, підвищену опірність корозії при помірній міцності, добре зварюються. Вони застосовуються для виготовлення деталей глибоким штампуванням, зварних деталей, а також деталей, що працюють в умовах корозії.

19.1.2 Мікроструктура, властивості та використання деформівних алюмінієвих сплавів, що зміцнюються термічною обробкою

До групи *деформівних сплавів, що зміцнюються термічною обробкою*, належать сплави, які утворюють обмежені тверді розчини. Алюмінієві сплави зміцнюються гартуванням і наступним старінням, під яким розуміють видержування сплаву при кімнатній температурі протягом 5...7 діб (природне старіння) або кількох годин при підвищеній температурі (штучне старіння). Протягом цього часу сплав зміцнюється.

Типовим прикладом термічно оброблених сплавів є сплав Al-Cu, діаграму стану якого наведено на рис. 19.1.

Розчинність міді в алюмінію при евтектичній температурі 580°C становить 5,65% і знижується до 0,1...0,2% при кімнатній температурі (точка D). При повільному зниженні температури твердий розчин розпадається і виділяються кристали хімічної сполуки. Таким чином, після повільного охолодження сплаву, що містять до 5,65%Cu, складаються з α -твердого розчину і дрібних кристалів CuAl_2 .

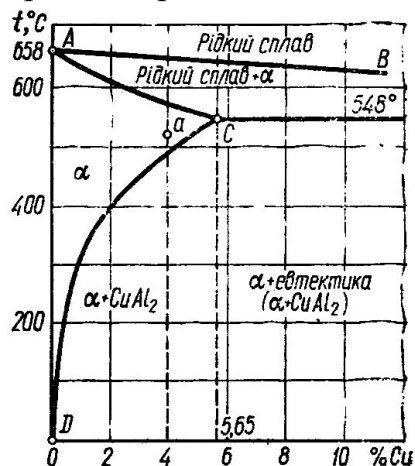


Рисунок 19.1 - Діаграма стану Al-Cu

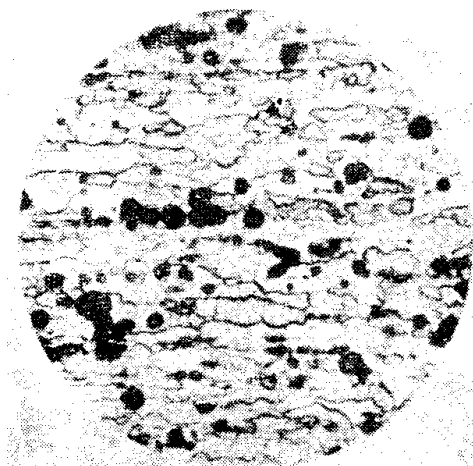


Рисунок 19.2 - Мікроструктура дуралюмінію Д16

Для гартування сплав треба нагріти вище лінії граничної розчинності CD . Тоді він буде складатися з одного α -твердого розчину, в якому міститься вся мідь. При наступному швидкому охолодженні (гартування у воді) процес виділення кристалів CuAl_2 не встигає відбутися і при кімнатній температурі утворюється нестійкий пересичений α -твердий розчин, який в період наступного старіння розпадається. Процес розпаданьня відбувається в кілька стадій залежно від температури і тривалості старіння.

При природному старінні атоми міді лише збираються до певних центрів і утворюють зони. Ці переміщення спотворюють кристалічну решітку, внаслідок чого механічні властивості сплаву підвищуються. При штучному старінні розпадається твердий розчин з виділенням у місцях концентрації атомів міді найдрібніших частинок проміжної основи.

Дуралюміні. Дуралюмін — алюмінієвий сплав, що містить алюміній і мідь, а також до 1,8% Mg, до 0,9% Mn, до 1% Fe, до 1% Si. Мікроструктура відпаленого дуралюмінію Д16 (рис. 19.2) складається з основи — твердого розчину (розчину міді в алюмінію) і великих включень (первинних фаз з'єднань FeAl_3 , Al_6Mn та ін.).

Із зміною температури змінюється розчинність міді в алюмінію. Тому дуралюмін можна піддавати термічній обробці - гартуванню і відпусканню (старінню). Мікроструктура дуралюмінію, загартованого у воді з наступним природним старінням, складається з зерен твердого розчину α (світла основа) і темних включень FeAl_3 , Al_6Mn та ін.

Гартування з наступним старінням дає змогу одержати більш однорідну структуру дуралюміну і підвищити його механічні властивості. Дуралюмін дуже чутливий до перегріву і при температурі 550°C починається перепал. Мікроструктура перепаленого при гартуванні дуралюміну складається із зерен твердого розчину, на яких розміщені плівки окисів. Перепал різко знижує міцність дуралюміну і особливо пластичність.

19.1.3 Мікроструктура, властивості та використання ливарних алюмінієвих сплавів

Ливарні алюмінієві сплави за ДСТУ 2839-94 поділяються на п'ять груп:
 1) Al-Si (6...13%Si) – силуміни - АК7, АК12; 2) Al-Si-Cu (4...22%Si, 1...8%Cu) – мідні силуміни - АК5М, АК5М7; 3) Al-Cu (4,5...5,3% Cu) - АМ5, АМ4,5Кд; 4) Al-Mg (4,5...13%Mg) – магналії - АМг5К; 5) Al+інші компоненти (3,5...12%Zn, 6...10%Si, 1,5...2%Mg) – АК7Ц9, АК9Ц6, АЦ4Мг.

У марках компоненти позначають початковими літерами їх назви: А – алюміній, К – кремній, М – мідь, Кд – кадмій, Ц – цинк, Мг – магній, Мн – манган та ін. За ними цифрами вказують вміст цих елементів.

Силуміни. Сплави алюмінію з 6...13% Si називаються силумінами. Діаграма стану Al – Si показана на рис. 19.3. Ці сплави за складом близькі до евтектичного сплаву і тому відрізняються *високими ливарними властивостями*, а вилівки - високою щільністю. З діаграми видно, що силуміни можуть бути доевтектичні, евтектичні і заевтектичні. Застосовуються лише доевтектичні силуміни, бо заевтектичні дуже крихкі і мають низьку міцність.

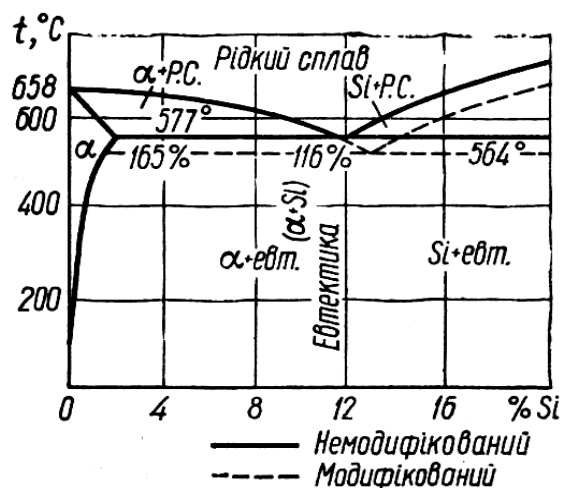


Рисунок 19.3 - Діаграма стану Al-Si

Структура доевтектичного силуміну (рис. 19.4, а) складається з алюмінієвого твердого розчину α (основний світлий фон шліфа) й евтектики $\alpha + \text{Si}$ (темні ділянки). Кремній в евтектиці має вигляд тонких гострих пластин, які є концентраторами внутрішніх напружень і зменшують міцність сплаву.

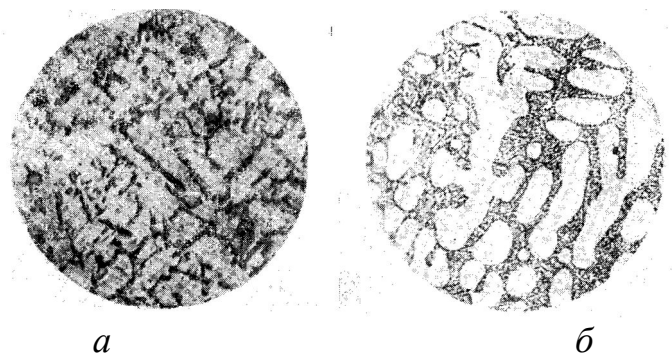


Рисунок 19.4 - Мікроструктура силуміну АК12: *а* – немодифікований; *б* - модифікований

Для роздрібнення евтектики в силумін перед розливанням додають як модифікатор 0,1 % Na, який сприяє виділенню кремнію в дуже тонкій округлій формі та підвищенню механічних властивостей сплаву.

Введенням до складу сплаву магнію, який утворює сполуки Mg_2Si , і міді, яка утворює сполуку $CuAl_2$, можна зміцнювати сплав термічною обробкою. Мікроструктура модифікованого силуміну (рис. 19.4, *б*) складається з світлих ділянок твердого розчину α і дрібнодисперсної евтектики $\alpha + Si$.

Широко застосовуються силуміни марок АК12, АК9, АК7 (розшифровка марки АК12: А – алюмінієвий сплав, К12 – 12% Si).

19.2. Мікроструктура, властивості і використання магнієвих сплавів

Магній як конструкційний матеріал застосовують у вигляді сплавів з Al, Zn й іншими елементами. За технологічною ознакою магнієві сплави поділяються на дві групи:

- деформівні, що надходять у вигляді листів, прутків, поковок і штамповок (наприклад МА2). На міцність деформівного сплаву термічна обробка не впливає (МА2 має $\sigma_m \geq 240 \text{ МПа}$, $HB \geq 45$, $\delta \geq 5\%$);
- ливарні, для фасонного лиття (наприклад МЛ5, рис. 19.5).

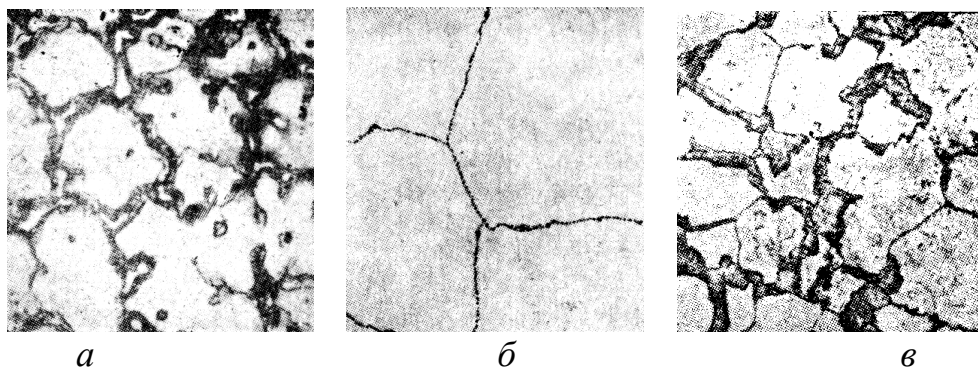


Рисунок 19.5 - Магнієвий сплав МЛ5 після лиття (*а*), гартування (*б*), старіння (*в*)

Сплав МЛ5 містить 7,5...9,3%Al; 0,15...0,5% Mn; 0,2...0,8%Zn; залишок Mg.

Після лиття має структуру з зерен потрійного твердого розчину Al та Zn в Mg (світлий фон) та евтектики, розташованої по границям зерен твердого розчину (рис. 19.5 а).

Після гартування (415°C) структура складається з однорідних зерен потрійного твердого розчину Al та Zn в Mg (рис. 19.5, б). При старінні (175°C, 16 годин) з твердого розчину виділяється інтерметалічна сполука Mg_4Al_3 і механічні властивості сплаву підвищуються. Сплав МЛ5 використовується для виливків високонавантажених деталей складної конфігурації і має такі механічні властивості: $\sigma_m \geq 220 \text{ МПа}$, $HB \geq 65$, $\delta \geq 2\%$.

Магнієві сплави використовуються там, де потрібна мала питома вага, наприклад у транспортному машинобудуванні, для виготовлення радіоапаратури, портативних машин (друкарських, лічильних, оптичних приладів тощо).

19.3. ЗАВДАННЯ ТА ПОРЯДОК ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ

Лабораторна робота № 19 МІКРОАНАЛІЗ ЛЕГКИХ КОЛЬОРОВИХ СПЛАВІВ

Мета роботи. Проаналізувати мікроструктуру та властивості легких кольорових сплавів на основі алюмінію і магнію залежно від їх складу та термообробки.

Звіт з мікроаналізу кожного сплаву повинен містити:

- № з/п згідно методичних вказівок та назву і марку сплаву, мікроструктура якого досліджується;
- схему мікроструктури з позначеннями структурних складових;
- опис структурних складових та їх властивостей;
- аналіз впливу структурних складових на властивості сплаву;
- аналіз впливу на утворення мікроструктури складу сплаву та його термообробки;
- термообробку і можливе використання сплаву;
- висновки.

Контрольні питання

1. Схарактеризуйте деформівні і ливарні алюмінієві і магнієві сплави.
2. Пов'яжіть технологічні властивості сплавів з діаграмами стану.
3. В чому суть термічної обробки легких сплавів та як вона впливає на структуру і властивості сплавів.
4. Як впливають модифікатори на мікроструктуру і властивості сплавів?
5. Порівняйте характеристики антифрикційних сплавів на основі алюмінію.
6. Приведіть марки алюмінієвих і магнієвих сплавів за їх класифікацією.

Лабораторна робота № 20

МІКРОАНАЛІЗ АНТИФРИКЦІЙНИХ СПЛАВІВ

Мета роботи. Проаналізувати мікроструктуру, властивості і використання типових антифрикційних сплавів.

Устаткування, інструменти і матеріали. Металографічний мікроскоп МІМ-8М, мікрошліфи і фотографії мікроструктур антифрикційних сплавів.

20.1 Загальні відомості про антифрикційні сплави

Антифрикційні (підшипникові) сплави характеризуються низьким коефіцієнтом тертя, високою зносостійкістю, достатньою міцністю, доброю припрацьовуваністю, корозійною стійкістю, відсутністю схоплювання з контактуючою поверхнею.

До основних литих антифрикційних сплавів відносяться: бабіти, бронзи, латуні, антифрикційні чавуни, деякі сплави на основі алюмінію та ін. За структурою литі антифрикційні сплави поділяють на дві групи:

- у м'якій основі розташовані тверді включення інтерметалідних з'єднань (олов'янистий бабіт, алюмінієва та олов'яниста бронза);
- у більш міцній основі твердого розчину розташовані включення м'якої металевої структурної складової (наприклад свинцевисті бронзи та сплави на основі алюмінію містять олово, свинець і кадмій).

З антифрикційних сплавів виготовляють вкладиші підшипників ковзання для колінчастих валів двигунів, втулки різних механізмів, поршневі кільця, черв'ячні колеса, тощо.

Підшипникові сплави для вкладишів двигунів повинні втримувати достатній питомий тиск, мати корозійну стійкість, малий коефіцієнт тертя із поверхнею сталеного або чавунного валу та не спричиняти сильного його зносу. А окрім того мати невисоку температуру плавлення для зручності заливання, добру зчіплюваність зі сталеною основою вкладишів та високу ударну в'язкість у випадку роботи при ударних та знакоперемінних навантаженнях.

Залежно від елемента, який є основою сплаву, розрізняють олов'янисті і свинцевисті бабіти, сплави на мідної основі (бронзи, латуні) а також алюмінієві і цинкові підшипникові сплави.

20.2 Мікроструктура і властивості бабітів.

Бабіти є легкоплавкими підшипниковими сплавами. Вони мають низький коефіцієнт тертя при роботі в парі із сталевим валом і добре до нього припрацьовуються з утворенням на поверхні дотику з валом мікрокапілярів, в яких зберігається мастило.

Для заливання вкладишів підшипників колінчастих валів ДВЗ часто використовують бабіти Б83, Б88, БК2, БН. Бабіти за структурою відповідають правилу Шарпі, тобто містять тверді включення, які забезпечують стабільність геометричних розмірів підшипника та м'яку основу, яка у початковий період роботи посилено зношується утворюючи на робочій поверхні вкладиша сітку капілярів по яких циркулює мастило. здатність деформуватися під впливом місцевих навантажень

Бабіти відзначаються малою твердістю та малим коефіцієнтом тертя у парі зі сталлю, добре утримують на поверхні мастило, мають здатність деформуватися під впливом місцевих навантажень.

Олов'яні бабіти Б83, Б88 порівняно з свинцевими мають вищу корозійну стійкість і теплопровідність, менший температурний коефіцієнт лінійного розширення, більшу вартість, але зношують вал у 2...3 рази менше. Недоліками бабітів є висока вартість, низька робоча температура (до 120°C) та погані експлуатаційні властивості в умовах сухого тертя.

Олов'яні бабіти використовують також як підшипники відповідального призначення для парових турбін, турбокомпресорів, електродвигунів тощо.

Найкращий з бабітів - Б83 є сплавом олова (83%Sn) із сурмою (10...12%Sb) та міддю (5,5...6,5%Cu), температура його плавлення 380°C.

Мікроструктура бабіту Б83 (рис. 20.1). Основа, темні ділянки - це α -твердий розчин (на базі олова), білі кристали кубічної форми - хімічна сполука SnSb, а зірочки - Cu_3Sn (обидві сполуки відіграють роль твердих включень).

На початку процесу кристалізації практично вся мідь при найвищій температурі утворює з оловом *тверду інтерметалічну сполуку Cu_3Sn у формі каркасу з зірочок та ланцюжків*, які далі попереджують ліквідацію за питомою вагою. Утворюючи Cu_3Sn мідь зв'язує 3,75%Sb. Якщо привести залишок рідини L до 100%, то в рідині залишається 12,2% Sb. Подальшу кристалізацію сплаву, який містить 12,2% Sb можна розглядати за діаграмою подвійної системи Sn-Sb (рис. 20.2, критичні точки 1 і 2).

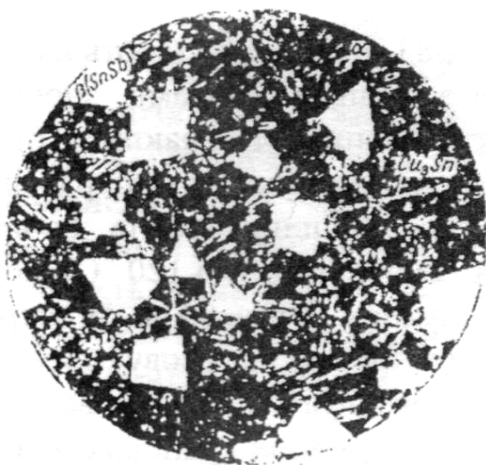


Рисунок 20.1 - Мікроструктура бабіту Б83

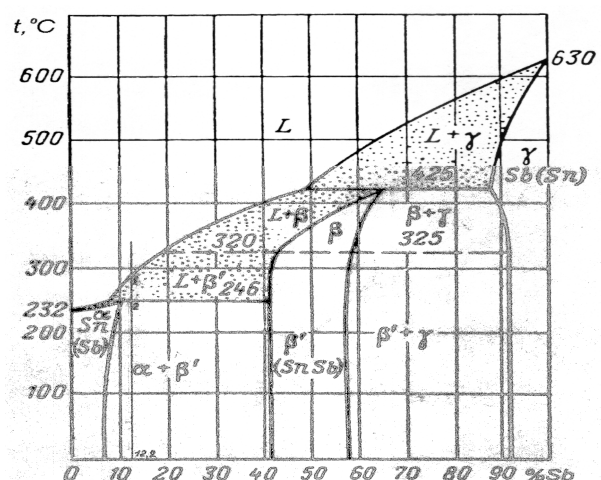


Рисунок 20.2 - Діаграма стану системи Sn-Sb

В точці 1 утворюються центри кристалізації фази β' , з яких при охолодженні сплаву до точки 2 ростуть тверді включення SnSb кубічної форми при зменшенні вмісту Sb в рідині. В точці 2 залишок рідини має близько 8,5% Sb і в процесі перитектичного перетворення утворює механічну суміш, яка складається з м'якої основи - твердого розчину α та твердих включень β' .

Таким чином структура бабіту складається з м'якої основи та твердих включень. М'яка основа забезпечує достатню припрацьовуваність підшипника до валу, тверді кристали, які виступають над поверхнею, є опорними і сприймають на себе навантаження. Така структура сприяє високій зносостійкості сталюого або чавунного валу. Мікрорельєф поверхні, який утворюється в результаті стирання м'якої основи, забезпечує зберігання і добру подачу мастила для утворення масляного клину між поверхнями тертя на початку обертання валу. У таблиці 20.1 наведено склад часто застосовуваних бабітів

Таблиця 20.1 - Марки і склад найбільш застосовуваних бабітів

Марка бабіту	Вміст елементів				
	Sb	Cu	Cd	Sn	Інші елементи
Б88	7,3...7,8	2,5...3,5	0,8...1,2	Залишок	0,15...0,25Ti
Б83	10...12	5,5...6,5	-	Залишок	-
БН	13...15	1,5...2,0	0,1...0,7	9...11	0,1...0,5Ni 0,5...0,9As
Б16	15...17	1,5...2,0	-	15...17	-
БС6	5,5...6,5	0,1...0,3	-	5,5...6,5	-

Примітка. У всіх сплавах, крім Б88 і Б83, основа – свинець.

Бабіт Б83 використовується для виготовлення підшипників парових турбін, турбокомпресорів, насосів, дизелів потужних електродвигунів.

Підшипники для парових турбін, компресорів та вкладишів колінчастих валів бензинових двигунів виготовляються з бабіту марки Б16, а дизельних – Б83; нафтових двигунів, металообробних верстатів, вентиляторів - Б6; тракторів – БН, тепловозів - Б2.

20.2. Мікроструктура та властивості свинцевистої бронзи

Свинець практично не розчиняється у міді ні в рідкому, ні в твердому стані. Тому при затвердінні сплав міді з свинцем має структуру механічної суміші зерен обох компонентів (рис. 20.3, а): світлі ділянки - мідь, темні ділянки - свинець.

Свинцевиста бронза БрС30 має добрі антифрикційні властивості, високу теплопровідність, але низькі механічні і технологічні властивості. Для

попередження ліквації після заливки необхідне швидке охолодження. Застосовується для виготовлення високонавантажених підшипників.

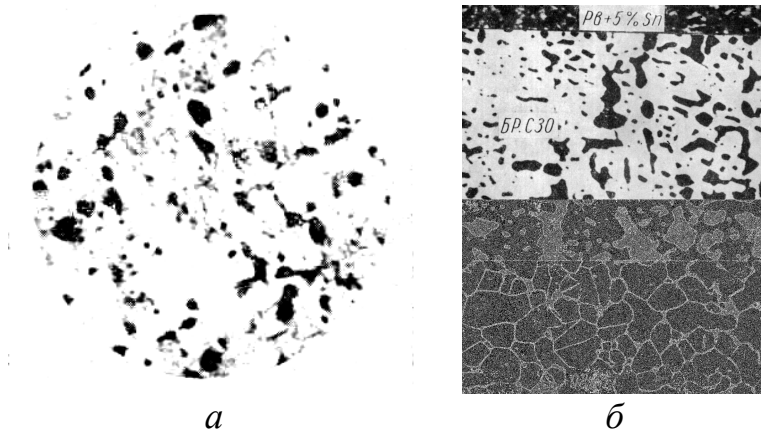


Рисунок 20.3 - Мікроструктура: *а* - свинцевистої бронзи БрС30; *б* – тришарового вкладиша (на стрічці з сталі 08кп - шар бронзи БрС30 і тонкий шар, 20...30 мкм, Pb+5%Sn)

На рис. 20.3, *б* зображена мікроструктура тришарового вкладиша, який поєднує переваги свинцевистої бронзи та бабіту.

20.3 Мікроструктура алюмінієвих антифрикційних сплавів

Основними легуючими компонентами алюмінієвих антифрикційних сплавів є олово, мідь, нікель і кремній, який утворює з алюмінієм гетерогенні структури.

Мікроструктура більшості підшипникових алюмінієвих сплавів складається з технічно чистого алюмінію або твердого розчину на його основі (м'яка складова) та твердих включень хімічних сполук: FeAl_3 , NiAl_3 та ін.

Більшість з цих сплавів мають добрі ливарні властивості, задовільно обробляються різанням і обробкою тиском. Їх недоліком є порівняно висока твердість та високий коефіцієнт лінійного розширення.

Сплав АН 2,5 містить 2,5 % Ni, залишок – Al; умови використання - питомий тиск на шийку валу до 20МПа, твердість валу – не менше 250НВ, температура – до 100⁰С. Структура: первинні кристали $\alpha(\text{Al})$ і евтектика $\alpha(\text{Al}) + \text{NiAl}_3$. Цей сплав не отримав широкого розповсюдження для вкладишів ДВЗ з-за схильності до задирок і зчіплювання при недостатньому змащуванні.

В сплавах з оловом, чим більше олова, тим вищі антифрикційні властивості сплава. Але при перевищенні 10-12%Sn, утворюється груба сітка олов'яної складової, яка знижує зносостійкість і опір втоми при підвищених температурах. У деформованих сплавах олов'яна складова має вигляд зернистих включень, які значно покращують антифрикційні властивості. Хімічний склад і механічні властивості деяких антифрикційних сплавів на основі алюмінію приведені в табл. 20.2.

Таблиця 20.2 - Антифрикційні сплави на основі алюмінію та їх склад і механічні властивості

Сплав	Вміст елементів (залишок Al), %				σ_B , МПа	δ , %	HB
	Sn	Cu	Ni	Si			
АОЗ-1	2...4	0,8...1,2	0,3...0,5	1,7...2,1	110	2	420
АО9-2	8...10	2,0...2,5	0,8...1,2	0,3...0,7	150	4,5	550
АО20-1	17...23	0,7...1,2	-	-	110	30	300
АН-2,5	-	-	2,7...3,3	-	120	20	350

Сплави АОЗ і АО9-2 застосовують для лиття монометалевих вкладишів і втулок товщиною не більше 10 мм.

З сплавів АО20-1 і АН-2,5 виготовляють біметалічну стрічку зі сталлю методом прокатування з подальшим штампуванням вкладишів.

Для важконавантажених швидкохідних підшипників на робочу поверхню наносять шар олова або іншого м'якого металу.

Такі підшипники працюють при навантаженні не більше 200...300 МПа і коловій швидкості 15...20 м/с.

20.4 Завдання та порядок оформлення звіту

Лабораторна робота № 20 Мікроаналіз антифрикційних сплавів

Мета роботи. Проаналізувати мікроструктуру та властивості легких кольорових сплавів на основі алюмінію і магнію залежно від їх складу та термообробки.

Звіт з мікроаналізу кожного сплаву повинен містити:

- особливості будови антифрикційних сплавів та вимоги до них;
- назву і марку сплаву, мікроструктура якого досліджується;
- схему мікроструктури з позначеннями структурних складових;
- опис структурних складових та їх властивостей;
- аналіз впливу структурних складових на властивості сплаву;
- для бабіту Б83 – діаграму та опис утворення структурних складових;
- висновки.

Контрольні питання

1. Поясніть вимоги до антифрикційних сплавів.
2. Поясніть структуру, властивості і використання свинцевої бронзи.
3. Поясніть структуру, властивості і використання бабіту Б83.
4. Порівняйте характеристики антифрикційних сплавів на основі алюмінію.
5. Приведіть марки алюмінієвих і магнієвих сплавів за їх класифікацією.

Лабораторна робота №21

**ВИГОТОВЛЕННЯ РАЗОВОЇ ПІЩАНО-ГЛИНЯНОЇ ФОРМИ
СПОСОБОМ РУЧНОГО ФОРМУВАННЯ**

Мета роботи. Практичне закріплення технології виготовлення разової ливарної форми способом ручного формування. Наочне вивчення модельного комплексу, ливникової системи, формувального інструменту та технології виготовлення форми.

Устаткування та матеріали. Модельний комплект для виготовлення форми, моделі і стрижневі ящики для різних виливків, опоки, формова та стрижнева суміші, формувальний інструмент.

Завдання

1. Ознайомитись з модельним комплектом для заданого виливка; зробити ескізи та проаналізувати будову і призначення моделі, стрижневого ящика, опок та моделей ливникової системи.
2. Описати склад та призначення сумішей для ручного формування.
3. Описати технологію виготовлення ливарної форми способом ручного формування за даним модельним комплектом.
4. Зробити ескіз ливарної форми у перерізі та пояснити її елементи.
5. Проаналізувати виготовлення разової ливарної форми способом ручного формування у порівнянні з іншими методами.
6. Зробити висновки по роботі.

21.1 Загальні поняття про виготовлення виливків у разових піщано-глиняних формах

Технологія виготовлення виливка у разовій піщано-глиняній формі складається з таких послідовних операцій:

- виготовлення модельних комплектів;
- приготування формових і стрижневих сумішей;
- формування ливарних форм;
- виготовлення стрижнів;
- сушіння стрижнів, а іноді і форм;
- складання форм;
- приготування рідкого металу;
- заливання форм металом;
- вибивання виливка з форм і стрижнів з виливка;
- обрубкування ливникової системи і очищення виливка;
- механічна і термічна обробка виливка;
- контроль і виправлення дефектів готового виливка.

Переважну кількість виливків виготовляють у піщано-глиняних формах. На рис. 21.1 наведено виливок (рис. 21.1, а) і разову ливарну форму

(рис. 21.1, б). Форму виготовляють у опоках (металевих рамках) 1. Нижня і верхня опоки з'єднуються між собою центрувальними штирями 7. Форма складається з таких елементів: ливникової системи 5, верхньої 6 і нижньої 8 півформ з вентиляційними каналами 9, порожнини 2, стрижня 3, випорів 4.

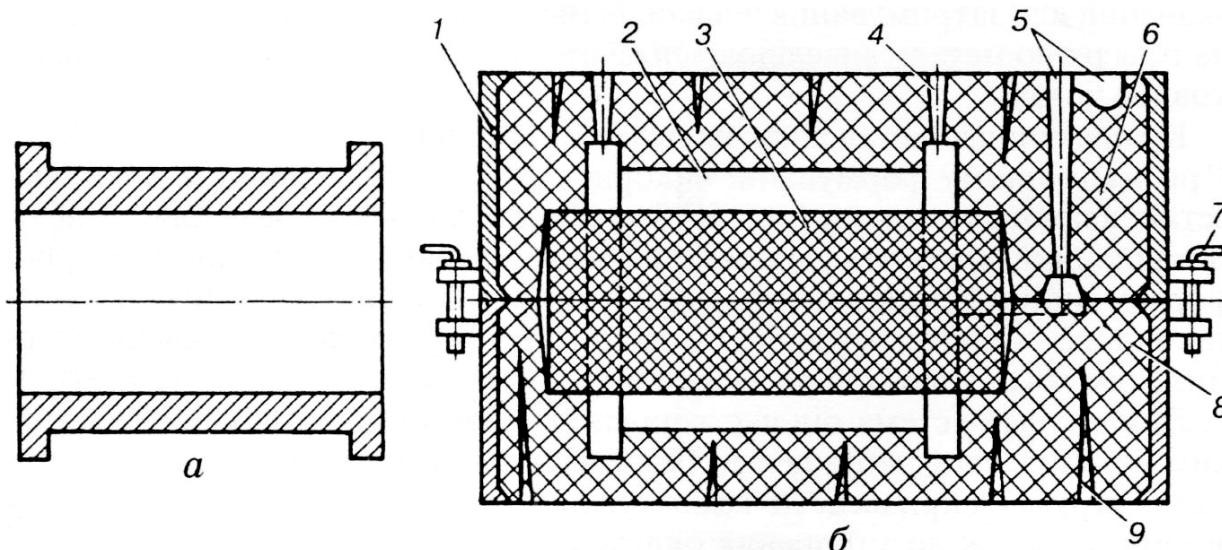


Рисунок 21.1 - Виливок і складена форма

21.2 Ливникова система - це сума каналів, якими рідкий метал надходить у ливарну форму. Вона має забезпечити швидке заповнення форми рідким металом, правильне його тверднення у формі, мати якомога меншу масу і легко відокремлюватися від виливка. Складається ливникова система (рис. 21.2, а) з ливникової чаші 1, стояка 2, шлаковловлювача 3 і живильників 4. До ливникової системи належить також випор 4 (див. рис. 21.1).

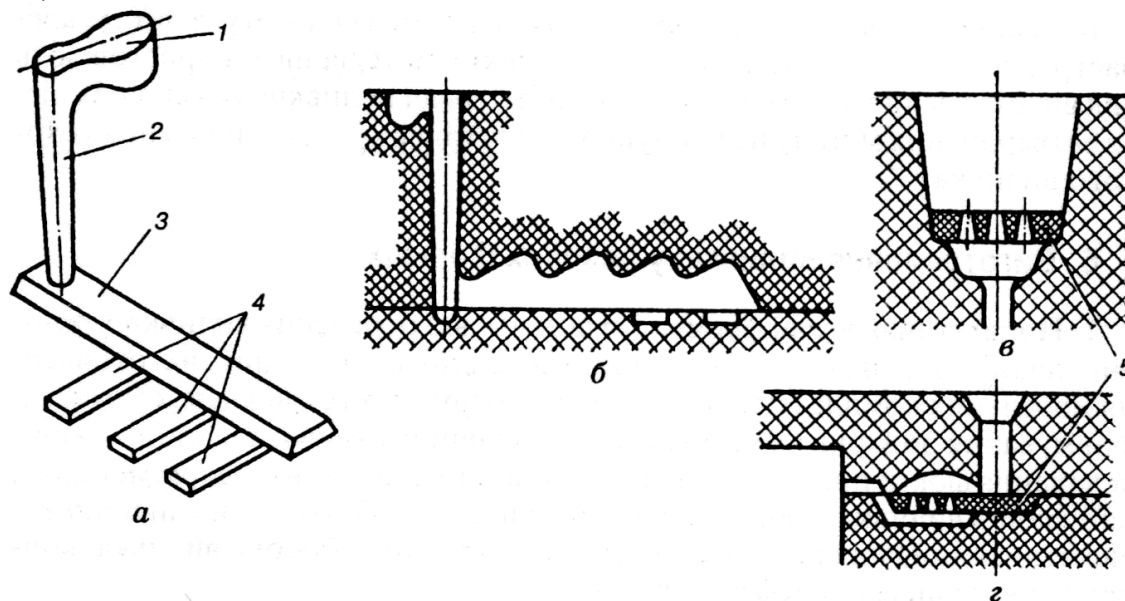


Рисунок 21.2 - Варіанти ливникової системи

Ливникова чаша призначена для приймання рідкого металу з ковша. По стояку конічної форми метал надходить у трапецієдний в перерізі шлаковловлювач, який розміщено у верхній половині ливарної форми. Він призначений для затримування шлакових і земляних включень, які спливають на поверхню металу внаслідок зниження швидкості його струменя у шлаковловлювачі.

Краще очищає метал шлаковловлювач гребінчастого типу (рис. 21.2, б). При машинному формуванні використовують вогнетривку сітку 5, яку встановлюють у воронку (рис. 21.2, в) або у шлаковловлювач (рис. 21.2, г).

Живильники підводять рідкий метал безпосередньо в порожнину ливарної форми. Випор установлюють у найвищій точці виливка, тому рідкий метал заповнює випор останнім, що дає змогу контролювати заливання форми. Крім того, через випор при заповненні форми металом виходить повітря.

Ливникова система під час заливання форми має бути заповнена рідким металом, щоб забезпечити безперервність струменя, оскільки розривання струменя призведе до всмоктування повітря та шлаку в порожнину форми, а також до утворення окислених плівок у місці розривання, які розчленять виливок. Тому між елементами ливникової системи витримують певне співвідношення: сумарна площа перерізу всіх живильників ($F_{жс}$) повинна бути меншою, ніж площа перерізу шлаковловлювача ($F_{ш}$), який має переріз менший, ніж стояк (F_c). Наприклад, може бути таке співвідношення:

$$F_{жс} : F_{ш} : F_c = 1,0 : 1,2 : 1,4.$$

21.3. Формувальний інструмент

Інструмент для виготовлення разової форми вручну можна поділити на дві групи: 1) інструменти, що використовують для наповнення опок формовою сумішшю, ущільнення її та видалення моделей з форми; 2) інструменти для обробки форм.

Для наповнення опок формовою сумішшю застосовують совкові лопати. Інструменти, які використовують при виготовленні разової ливарної форми вручну, подані на рис. 3. Ущільнюють суміш пневматичними (рис. 21.3, а) або ручними (рис. 21.3, б) трамбівками. Щоб легше виходили гази із форми, її наколюють душником (рис. 21.3, в). Видаляють моделі із форми за допомогою підіймача (рис. 21.3, г) з гострим кінцем (для дерев'яних моделей) або з різьбою на кінці (для металевих моделей).

До обробного інструменту належать: гладилки прямокутні (рис. 21.3, д) та торцеві (рис. 21.3, е); ложки (рис. 21.3, є) для обробки криволінійних поверхонь і вирізування ливникової чаші; гачки (рис. 21.3, ж) для видалення залишків суміші з глибоких і вузьких заглибин форми.

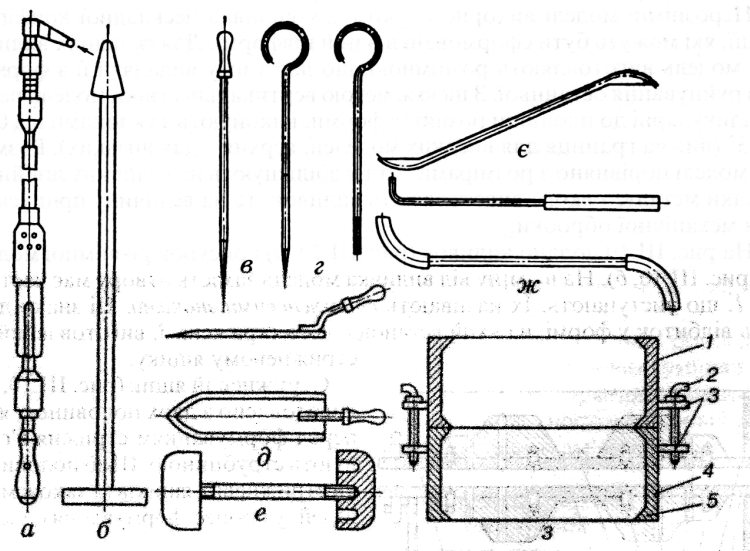


Рисунок 21.3 - Формувальний інструмент

Формування виконують у металевих рамках - опоках (рис. 21.3, з). Верхня опока 1 з'єднується з нижньою 4 штирями 2, які пропускають крізь вушко 3. Для утримання суміші в опоках роблять буртики 5.

21.4 Модельний комплект для ручного формування

Модельний комплект включає *моделі* і *стрижневі ящики*, які можуть бути виконані рознімними і нерознімними. В одиночному і мало-серійному виробництві їх виготовляють з деревини.

Нерознімні моделі використовують для виливка нескладної конфігурації, які можуть бути сформовані в одній півформі. Для складних виливків модель виготовляють рознімною, що дає змогу видаляти її з форми без руйнування останньої. З цією ж метою вертикальні стінки моделі, перпендикулярні до площини розняття форми, виконують з уклонами від 0,5 до 3° (нижча границя для високих моделей, верхня - для низьких). Розміри моделі порівняно з розмірами деталі збільшують на величину лінійної усадки металу, з якого виготовляють виливок, та на величину припусків для механічної обробки.

На рис. 21.4 подано виливок (рис. 21.4, а) і рисунок рознімної моделі (рис. 21.4, б). На відміну від виливка модель замість отвору має частини 1, що виступають. Їх називають *стрижневими знаками*. Ці знаки дають відбиток у формі, на який встановлюють стрижень 3, виготовлений у стрижневому ящику.

Стрижневий ящик (рис. 21.4, в) виготовлено з двох половинок, які перед формуванням стрижня з'єднують струбицею. Щоб половинки стрижневих ящиків (а також моделей) у процесі формування не зсунулись одна відносно іншої, одна половина має центрувальні шипи 2, а друга - відповідні гнізда.

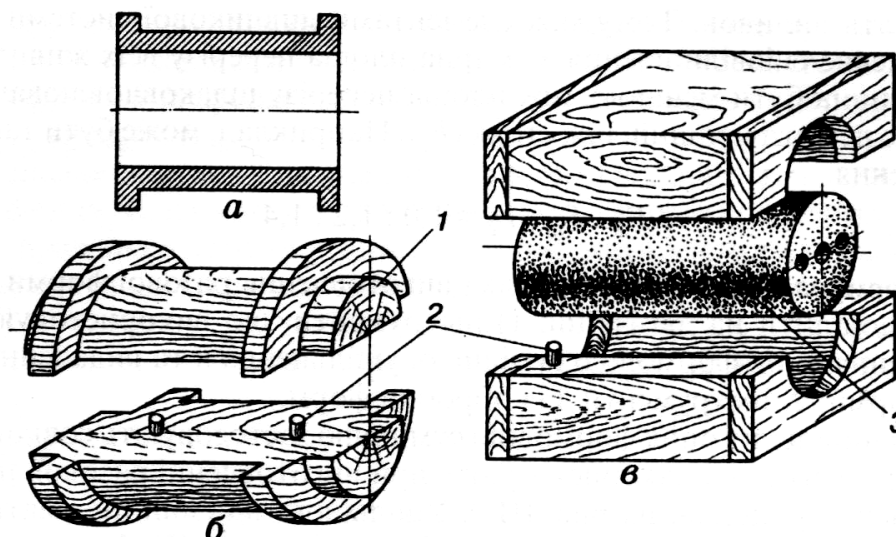


Рисунок 21.4 - Виливок, рознімна модель і стрижневий ящик із стрижнем

21.6 Модельний комплект для машинного формування

Для машинного формування модельний комплект виготовляють з металевих сплавів і використовують у великосерійному та масовому виробництві. Металеву модель (півмодель) закріплюють гвинтами на металевій плиті. Разом з моделями вилівка на плиті монтують також моделі ливникової системи. Такі плити називають *модельними* (рис. 21.5). Верхня 4 і нижня 3 півмоделі точно зафіксовані на плитах 1 та 2 контрольними шпильками 5 і закріплені гвинтами 6. На плитах закріплені також моделі ливникової системи 7 та 8. У процесі формування на плити встановлюють верхню і нижню опоки 9.

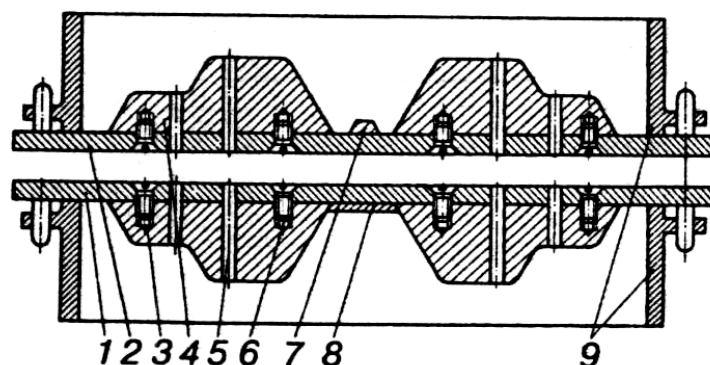


Рисунок 21.5 - Модельна плита

21.7 Формові і стрижневі суміші

Формові і стрижневі піщано-глинисті суміші повинні мати такі властивості: вогнетривкість, пластичність, газопроникність, піддатливість, міцність, непригарність.

Вогнетривкість - здатність суміші не плавитись і не розм'якати під дією розплавленого металу.

Пластичність - здатність суміші набирати форму, яку їй надають (без руйнування), і давати точні відбитки моделі або стрижневого ящика.

Газопроникність - властивість суміші пропускати з певною швидкістю гази, які утворюються у формі і які виділяє метал при охолодженні.

Піддатливість - властивість суміші не чинити значного опору усадці металу при охолодженні вилівка у формі (особливо це важливо для стрижневих сумішей).

Міцність - здатність ущільненої суміші не розмиватися рідким металом, який заповнює форму.

Непригарність - здатність суміші не вступати в хімічну взаємодію з металом і не пригоряти до поверхні вилівка.

До складу формових і стрижневих сумішей входять: кварцовий пісок, глина, вода і спеціальні добавки. Пісок забезпечує суміші вогнетривкість і газопроникність, глина - пластичність і міцність, але знижує газопроникність і піддатливість, а також утруднює вибивання стрижнів з вилівка. Тому в стрижневі суміші замість глини як скріплювача добавляють різні органічні і неорганічні речовини: смоли, декстрин (хімічно оброблений крохмаль), рідке скло, патоку, каніфоль тощо. У формових сумішах вміст глини обмежують до 8...12 %. Для зменшення пригорання до виливків, а також для підвищення піддатливості й газопроникності у формові і стрижневі суміші вводять також спеціальні добавки (кам'яновугільний пил, мазут, тирсу тощо).

Види формових сумішей. Найбільш широко використовують облицьовувальні, наповнювальні та єдині формові суміші.

Облицьовувальну суміш виготовляють із свіжих піску та глини з добавкою протипригарних матеріалів і використовують для виготовлення робочої поверхні ливарної форми, яка контактує з рідким металом. При формуванні її наносять на модель шаром завтовшки 15...20 мм.

Наповнювальну суміш насипають зверху облицьовувальної, заповнюючи остаточну порожнину ливарної форми. Цю суміш виготовляють із оборотної, переробленої після вибивання опок, суміші з добавкою 5...10 % свіжих піску та глини.

Єдині суміші використовують у масовому виробництві при машинному формуванні для заповнення всього об'єму ливарної форми. Виготовляють їх з оборотної суміші з добавкою до 50 % свіжих піску та глини.

За станом форми перед заливанням металом розрізняють суміші для виготовлення таких форм: сирих, підсушених, сухих, хімічно тверднучих і самотверднучих.

Сирі форми виготовляють з великої кількості оборотної суміші й використовують для невідповідальних виливків із чавуну, сталі і кольорових сплавів до 3000 кг.

Підсушені {напівсухі} форми виготовляють з облицьовувальної суміші, яка містить 2...4 % швидкотверднучих зв'язувальних закріплювачів. Такі форми використовують для відповідальних виливків із чавуну і сталі з поверхнями значної протяжності (станини, столи верстатів тощо).

Сухі форми виготовляють із суміші з більш високим вмістом глини і меншою кількістю оборотної суміші, тобто більш міцних і менш газопроникних і піддатливих.

Хімічно тверднучі форми виготовляють із сумішей, які містять рідке скло, швидко тверднуть при продуванні вуглекислим газом. Такі суміші підвищують продуктивність при формуванні в 3...5 разів.

Самотверднучі форми і стрижні виготовляють із рідких самотверднучих сумішей (РСС). Опоки і стрижневі ящики заливають сумішшю, в яку вводять хімічні реагенти, що переводять суміш в рідкотекучий стан. РСС добре заповнює всі звивини форми або стрижневого ящика. Відпадає потреба в ущільненні суміші, оскільки РСС твердне по всьому об'єму при нормальній температурі за 30...40 хв.

21.8 Технологія ручного формування

При виготовленні виливків значних розмірів і маси, а також в індивідуальному виробництві дрібних і середніх виливків формування виконують вручну, оскільки машинне формування було б економічно невигідним.

Найбільш поширене ручне формування у двох опоках за різноміною моделлю. Формування починають виготовленням нижньої півформи і виконують у такій послідовності (рис. 6): на підмодельну дошку 3 площиною розняття укладають нижню половину моделі 2 і накривають опокою 1 (рис. 21.6, а). На модель наносять шар облицьовувальної, а потім наповнювальної суміші. Трамбівкою ущільнюють формову суміш, а надлишок суміші зрізують лінійкою на рівні верхньої кромки опоки і для збільшення газопроникності форму наколюють вентиляційними голками 4 (рис. 21.6, б). Приготовлену півформу разом з підмодельною дошкою перевертають на 180° і на нижню половину моделі встановлюють верхню 7. Накривають нижню півформу верхньою опокою 6, опоки з'єднують між собою за допомогою штирів 8. Установлюють моделі ливникової системи 5, а поверхню розняття посипають роздільним піском (рис. 21.6, в). Заповнюють верхню опоку сумішшю 9, ущільнюють її, після чого витягують моделі ливникової системи (рис. 21.6, г). Знімають верхню півформу з нижньої і також перевертають її на 180° площиною розняття догори (рис. 21.6, д). Формову суміш навколо моделей злегка зволожують водою, моделі розштовхують в усі боки і за

допомогою підіймача *10* видаляють з форми. Виправляють і загладжують зруйновані частини форми обробним інструментом. Останніми операціями є укладання стрижня *11* у форму, складання форми, скріплення опок (рис. 21.6, *є*).

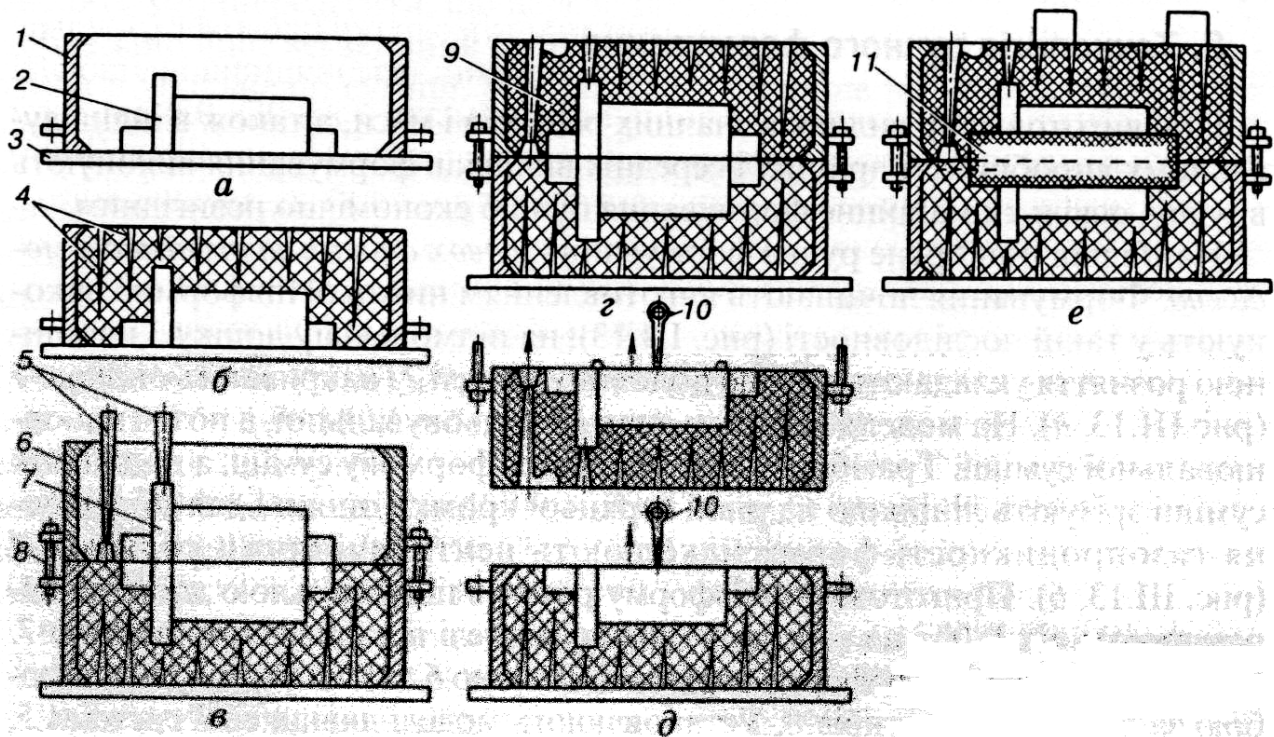


Рисунок 21.6 - Формування у двох опоках за рознімною моделлю

Контрольні запитання

1. Приведіть операції виготовлення виливка в піщано-глиняних формах.
2. З яких елементів складається піщано-глиняна форма для деталі з порожниною?
3. З яких елементів складається ливникова система? Поясніть їх призначення.
4. Які основні інструменти використовують для ручного формування?
5. Дайте характеристики і відзнаки модельних комплектів для ручного і машинного формування.
6. Приведіть вимоги до властивостей формових сумішей.
7. Які суміші використовують для ручного та машинного формування?
8. Чим відрізняються стрижневі суміші від формових?
9. Які операції виконують при формуванні вручну за рознімною моделлю?

Лабораторна робота №22

ОГЛЯД І АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ ТИСКОМ В УМОВАХ РЕАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

Мета роботи. Придбати практичні навички аналізу використання способів і режимів ОМТ для виготовлення виробів металургійного та машинобудівного виробництва. Огляд відеороликів про технології та обладнання з ОМТ які використовуються в реальному виробництві.

Обладнання. Широкоформатний телевізор для демонстрації відеороликів. Відоролики з прокатування, волочіння, пресування, кування, об'ємного штампування та листового штампування.

Порядок виконання та завдання

1. Оглянути відеоролики з технологій прокатування, пресування, волочіння, кування, об'ємного штампування та листового штампування.
2. У звіті привести для кожного з розглянутих видів ОМТ - схеми обробки для виготовлення виробів, схеми обладнання, термічний режим обробки та ескізи отримуваних виробів.
3. Проаналізувати способи обробки за галузями їх виробництва (металургійні, машинобудівні), за продуктивністю, за економічністю, за впливом на властивості матеріалу.
4. Пояснити вплив холодного деформування на властивості сталі («наклеп»).
5. Пояснити принцип дії печей і нагрівальних пристроїв, які використовуються при гарячій обробці тиском. Проаналізувати вплив нагрівання різними способами на властивості сталевих заготовок.
6. Визначити інтервал температур гарячого кування вала з сталі 40, користуючись діаграмою “залізо-цементит”. Пояснити вплив гарячого кування на структурні складові сталі.
7. Привести схеми прокатування заготовок: круглого перерізу та труби.

Коротки теоретичні відомості

22.1 Наклеп та рекристалізація металів

З підвищенням ступеня деформації металу зростають твердість, залишкові напруження, границі міцності і текучості, та зменшуються пластичність і в'язкість. Зміцнення металів при пластичній деформації називається *наклепом*. Унаслідок наклепу подальша деформація металу може спричинити руйнування.

При нагріванні метал переходить до більш сталого стану. При температурі 0,2...0,3 від температури плавлення $T_{пл}$ (поверненні), частково зменшуються спотворення кристалічної решітки та внутрішні напруження без істотної зміни мікроструктури та властивостей деформованого металу.

При нагріванні деформованих металів вище ніж $0,4 T_{nl}$ утворюються нові рівноважні зерна, і властивості металу відновлюються до їхніх вихідних значень перед деформацією. Процес утворення нових центрів кристалізації та нових рівноважних зерен у деформованому металі, що супроводжується зменшенням міцності, зростанням пластичності та відновленням інших властивостей, називається *рекристалізацією*. Найменша температура, при якій починається знеміцнювання металу, називається температурою рекристалізації. Розмір зерна після рекристалізації залежить від температури та тривалості нагрівання.

22.2 Холодне та гаряче деформування

Відповідно до температури процесу розрізняють холодне та гаряче деформування. *Холодне деформування* відбувається при температурах, нижчих від температури рекристалізації, і супроводжується зміцненням металу. *Гаряче деформування* проходить при температурах, вищих від температури рекристалізації. При гарячому деформуванні відбувається також зміцнення металу, але воно повністю знімається в процесі рекристалізації. Після рекристалізації пластичність металу приблизно в 10 разів вища, ніж після холодного деформування.

Зміна структури литого металу при деформуванні. Структура зливок, що є вихідними заготовками при обробці тиском, неоднорідна (див. рис. 22.1, *а*). Основу її складають зерна первинної кристалізації (дендрити) різних розмірів та форми, на границях яких накопичуються домішки та неметалеві включення. В будові зливка є також пори, газові раковини. Високий ступінь деформації при підвищеній температурі приводить до подрібнення зерен, а також до часткового заварювання пор.

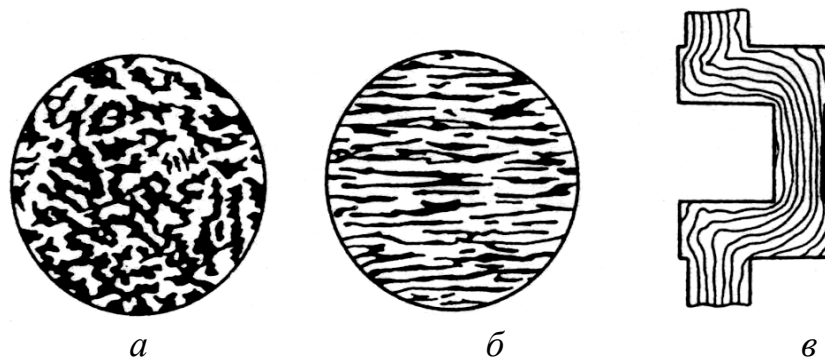


Рисунок 22.1 - Зміни мікро і макроструктури сталі при деформуванні:
а – мікроструктура до деформування (після лиття); *б, в* – після деформування;
б – стрічковість мікроструктури;
в – волокнистість макроструктури

Утворення стрічкової і волокнистої структури. Зерна та міжкристалічні прошарки з підвищеним вмістом неметалевих включень

витаються у напрямі найбільших розтягувальних деформацій. У результаті витягування зерен утворюється *стрічкова* мікроструктура (рис. 22.1, б). А в результаті подрібнення і розташування лініями неметалевих включень метал набуває ще і *волокнистої* макроструктури (рис. 22.1, в). Стрічкова мікроструктура усувається відпалом. На волокнистість макроструктури відпал не діє. Волокнистість впливає на механічні властивості і спричинює їх анізотропію. В поперечному напрямі ударна в'язкість на 50...70 %, відносне звуження - на 40 %, відносне видовження - на 20 % менше, ніж уздовж волокон. Наявність волокнистості потрібно враховувати при проектуванні та виготовленні деталей. Треба намагатись щоб найбільші розтягувальні напруження діяли вздовж, а перерізні зусилля - поперек волокон, та щоб волокна не перерізувалися при обробці різанням. Бажано, щоб біля поверхні деталі волокна відповідали її обрису (рис. 22.1, г). Якщо потрібно підвищити пластичність металу в поперечному напрямі, то слід зробити обтискування заготовки вздовж волокон, тобто змінити механічну схему деформації.

22.3 Нагрів при обробці тиском

Окислення металів при нагріванні. При нагріванні сталі вище 700 °С поверхневий шар окислюється з утворенням окалини, яка складається з оксидів заліза Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , FeO . З підвищенням температури до 1330... 1350 °С окалина плавиться і залізо горить (з утворенням снопа яскраво-блакитних іскор). Витрати металу на окалину (вигар) за одне нагрівання в полуменевій печі становлять 1,5...2,5 %, а при електронагріванні-0,4...0,7 %. Крім незворотних втрат металу, утворення окалини, що має високу твердість, в 1,5...2 рази підвищує інтенсивність спрацювання деформуючого інструмента.

При високих температурах поряд з окисленням заліза відбувається знеуглецьовування поверхневого шару внаслідок вигорання вуглецю. Глибина знеуглецьованого шару становить 0,2...0,5 мм, а іноді 1,5...2,0 мм.

Для зменшення окислення металу застосовують електронагрівання заготовок у захисній атмосфері.

Перегрівання і перепалювання. При високих температурах нагрівання інтенсивно зростає зерно. Це явище називається *перегріванням*. Перегріта сталь характеризується гіршими механічними властивостями - зменшення відносного видовження і ударної в'язкості становить майже 25 %. Структуру перегрітої сталі здебільшого можна виправити відпалюванням.

При нагріванні сталі до температури, близької до температури плавлення, відбувається інтенсивна дифузія кисню в глиб металу, утворення оксидів на границях зерен та розплавлення легкоплавких міжзернистих прошарків, що спричинює появу тріщин і втрату пластичності. Це явище називається *перепалюванням*. Наслідків його не можна позбутися термічною обробкою, і перепалений метал доводиться відправляти на переплавлення.

Температурний інтервал гарячої обробки тиском. Для найбільшого підвищення пластичності металу температура початку обробки має бути якомога вищою, але не повинна спричиняти перегрівання та перепалювання. Температура закінчення обробки має бути вищою за температуру рекристалізації і фазових перетворень.

Температурний інтервал гарячої обробки тиском вуглецевих сталей з 0,2...0,7 % вуглецю становить 1280...800 °С; з 0,8... 1,3 % вуглецю - 1100... 760 °С. Мідні сплави обробляють в інтервалі температур 900...700 °С; дуралюмін - 470...400 °С; титанові сплави - 950...730 °С; магнієві сплави - 420...300 °С; сплави хрому - 1800... 1000 °С; вольфрамові сплави - 2000... 1600 °С.

Режим нагрівання. Заготовки нагріваються нерівномірно. У початковий момент нагріваються зовнішні шари, а потім за рахунок теплопровідності - серцевина. При значній різниці температур поверхні й осердя виникають температурні напруження (зовні - стискальні, зсередини - розтягувальні), які можуть призвести до появи тріщин. Загроза їх утворення більша у легованих та литих сталей, у яких менша теплопровідність, вона зростає також із збільшенням перерізу заготовки. Тому заготовки з легованих сталей діаметром понад 150 мм нагрівають поступово (методично) в два етапи: повільне нагрівання і витримування при 700... 800 °С, а потім нагрівання до потрібної температури з найбільш можливою швидкістю.

Види нагрівальних пристроїв. Пристрої для нагрівання заготовок перед обробкою тиском поділяють на нагрівальні печі та електронагрівники. Нагрівальні печі використовують частіше для нагрівання зливків, великих і середніх заготовок. Електронагрівальні пристрої, як і печі, застосовують для нагрівання дрібних та середніх заготовок.

У печах теплота від стінок нагрівальної камери до заготовок передається випромінюванням і частково конвекцією. В електронагрівальних пристроях теплота виділяється в самому металі, який нагрівається під дією електромагнітного поля (індукційне нагрівання) або електричного струму (електроконтактне нагрівання).

Типи печей. Залежно від джерела енергії нагрівальні печі є полуменеві і електричні. В *полуменевих печах* теплота утворюється при згорянні рідкого (мазуту) або газоподібного палива. В *електричних печах* теплота виникає при проходженні струму через металеві або карборундові опори, вмонтовані в стінках нагрівальної камери. Вони використовуються переважно для нагрівання кольорових сплавів.

За принципом дії розрізняють печі камерні і методичні.

Камерні печі можуть бути переносними (для нагрівання заготовок до 150 мм) і стаціонарними.

Робочий простір печі (нагрівальна камера) 3 (рис. 22.2, а), яка футерована вогнетривкою цеглою, нагрівається при спалюванні палива за допомогою двох форсунок 2 (або пальників) і має однакову температуру.

Заготовки 7, розміщені на поді печі, завантажуються крізь вікно 5. Продукти згоряння виводяться крізь димохід 4 і використовуються для нагрівання до 200...300 °С повітря, яке надходить у піч, що підвищує ККД печі.

Печі для нагрівання великих заготовок обладнують різними пристроями, що полегшують завантаження і вивантаження. Використовують печі зі штовхачами, карусельні, конвеєрні, з висувним подом.

Різновидом камерних печей є нагрівальні колодязі, які застосовують для нагрівання великих зливків при прокатуванні і куванні. В них заготовки розміщуються вертикально і завантажуються зверху краном.

Методичні печі призначені для нагрівання великих заготовок під прокатування і кування у великосерійному виробництві. Печі мають велику довжину (8...22 м) і три зони з різною температурою. Заготовки 1 (рис. 22.2, б), поступово переміщуючись назустріч гарячим газам уздовж печі, проходять зони підігрівання I (600...800 °С), максимального

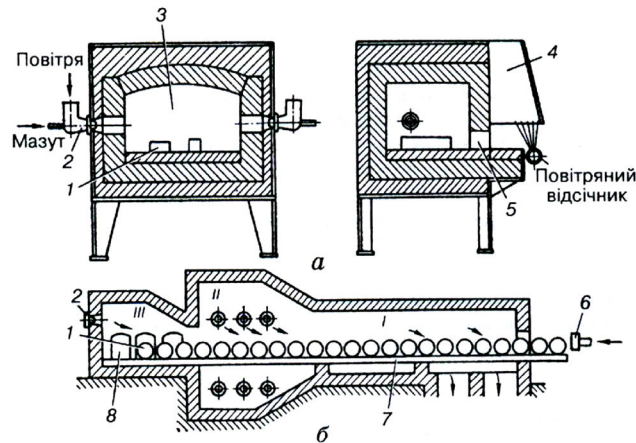


Рисунок 22.2 - Полуменеві печі для нагрівання заготовок

нагрівання II (1350 °С), де відбувається основне згоряння палива за допомогою форсунок або пальників 2, і зону витримування III (1200...1300 °С), в якій вирівнюється температура по перерізу заготовки. Продукти згоряння з температурою 700 °С направляють в рекуператори для підігрівання повітря. Заготовки штовхачем 6 проштовхуються крізь піч по охолоджуваних напрямних трубах 7 і вивантажуються крізь вікно 8.

Печі для нагрівання заготовок діаметром до 120 мм мають дві зони нагрівання (600...700 °С та 1250... 1300 °С) і називаються *напівметодичними*.

Електричні нагрівальні пристрої. Індукційне нагрівання ґрунтується на появі в заготовці, що розміщується в змінному електромагнітному полі, змінних струмів. Унаслідок поверхневого ефекту (скін-ефекту) із зростанням частоти струму глибина поверхневого шару, в якому індукуються змінні струми і який нагрівається, зменшується. Тому при нагріванні заготовок діаметром до 150 мм використовується частота 500...8000 Гц, а для більших заготовок - 50 Гц. Індуктор у вигляді багатовиткового соленоїда по діаметру заготовки виконують із мідної трубки, що охолоджується водою.

Електроконтактне нагрівання, що ґрунтується на виділенні теплоти при проходженні струму через заготовку (за законом Джоуля-Ленца), застосовують для нагрівання сталевих заготовок діаметром до 75 мм. Напруга при цьому становить 5...15 В, сила струму - до 5000 А. Кінці заготовок, що затискуються між мідними струмопідвідними контактами, нагріваються на 200...300 °С вище від її середньої частини. Цей метод раціонально використовувати для нагрівання сталевих заготовок сталого перерізу і значної довжини.

Швидкість електронагрівання у 8... 10 разів вища, а інтенсивність утворення окалини в 4...5 разів менша, ніж при нагріванні в печах. Перевагами його є також поліпшення санітарних умов праці й можливість автоматизації процесу. Обмежувальні фактори: висока вартість генератора високої частоти і необхідність заміни індуктора із зміною розмірів і форми заготовки при індукційному нагріванні, низька стійкість (до 1000 циклів) струмопідвідних контактів при електроконтактному нагріванні.

Контрольні запитання

1. Які переваги обробки тиском порівняно з іншими видами обробки?
2. Суть основних видів обробки тиском.
3. Яка різниця між гарячим і холодним деформуванням?
4. Які методи використовують для запобігання окисленню і знеуглецьовуванню?
5. Вибір температури нагрівання заготовок при обробці тиском.
6. Основні типи нагрівальних печей для обробки тиском.
7. Принцип дії основних електронагрівальних пристроїв.
8. Які печі попереджують виникнення тріщин при нагріванні масивних заготовок.
9. Яким способом нагрівають дріт? Поясніть що таке температура рекристалізації.
10. Поясніть як утворюється строчечність та волокнистість структури сталі в процесах обробки тиском. Як впливає відпал на ці елементи структури?

Лабораторна робота №23.
**АНАЛІЗ ОБЛАДНАННЯ ТА РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ РУЧНОГО
ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ**

Мета роботи. Придбати практичні навички з розробки технології ручного дугового зварювання. Ознайомитися з матеріалами і обладнанням для зварювання, технікою зварювання та правилами техніки безпеки.

Послідовність виконання роботи

1. Зобразити схему та пояснити суть ручного дугового зварювання металевим електродом.
2. Вибрати та пояснити підготовку кромки заданих заготовок для зварювання.
3. Визначити основні параметри режиму зварювання.
4. Вибрати необхідне зварювальне обладнання та приладдя з приведенням схеми та опису зварювального поста.
5. Вказати правила техніки безпеки при електродуговому зварюванні.

23.1 Основні теоретичні положення та методичні вказівки

Процес зварювання металів і утворення таким чином нероз'ємного з'єднання здійснюється за рахунок використання міжмолекулярних і міжатомних сил зчеплення. Але ці сили не діють при дотику двох металевих поверхонь. Цьому перешкоджають нерівності поверхні, забруднення та плівки оксидів, гідридів і нітридів та інші. Щоб між поверхнями виникли міжатомні сили зв'язку треба їх зблизити на відстані близькі до міжатомних.

Залежно від стану дотичних поверхонь розрізняють види зварювання: плавленням; стисканням (якщо метали пластичні); стисканням з нагріванням до пластичного стану.

При дуговому зварюванні (плавленням) кромки заготовок і електрод нагрівають до розплавлення і утворення єдиної ванни рідкого металу. В процесі кристалізації утворюються зерна, що належать як основному металу, так і металу шва. При плавленні оксиди і інші домішки на зварюваних поверхнях руйнуються або перетворюються в легкоплавкий шлак і спливають на поверхню шва. Джерелом теплоти для плавлення є зварювальна дуга - потужний електричний розряд у вигляді іонів і електронів в іонізованому газовому проміжку. Температура газу в стовпі дуги досягає 6000...7000°C, а в катодній та анодній зонах, наприклад при зварюванні сталі, складає приблизно 2500°C.

Джерела струму для дугового зварювання. Для живлення дуги заготовки і електрод підключають до джерела перемінного або постійного струму. При зварюванні *перемінним струмом* використовують *зварювальні*

трансформатори. Схема, яка пояснює принцип дії зварювального трансформатора приведена на рис. 23.1.

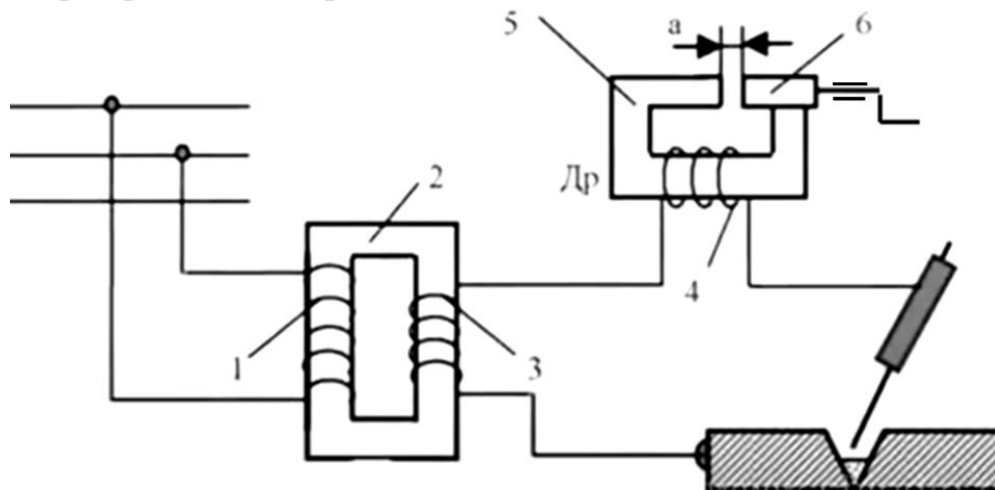


Рисунок 23.1 - Принципова схема зварювального трансформатора

Первинна обмотка 1 трансформатора 2 підключається до електромережі перемінного струму з напругою 220 або 380 вольт. До вторинної обмотки 3 низької напруги (55...80 вольт) підключається послідовно дроссель Др, який складається з роз'ємного осередка 5-6 і котушки 4. Струм регулюється зміною індуктивного опору за допомогою гвинтового пристрою, який забезпечує зміну повітряного зазору a і відповідно – індуктивного опору дросселя. При збільшенні зазору опір дросселя зменшується, а зварювальний струм збільшується.

У зварювальних трансформаторах регулятор струму і трансформатор розташовані на одному магнітопроводі. Для регулювання струму використовуються методи зміни індуктивного опору (утворенням зазору в магнітопроводі дросельної котушки) або магнітного розсіювання (переміщенням котушок).

Для зварювання постійним струмом використовують зварювальні генератори та зварювальні випрямлячі. Спрощена схема зварювального випрямляча [30] приведена на рис. 23.2.

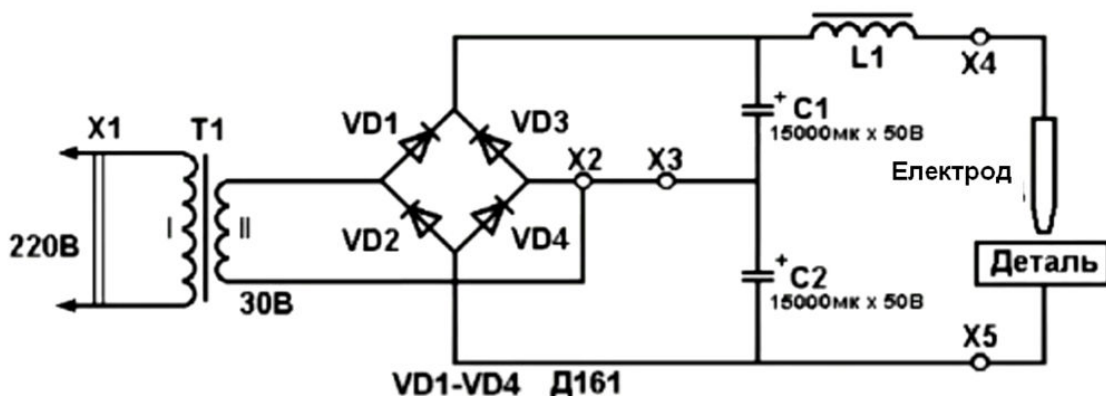


Рисунок 23.2 – Принципова схема зварювального випрямляча

Ця схема відрізняється тим, що струм після вторинної обмотки II випрямляється двохполуперіодним випрямлячем, який складається з діодів VD1-VD4 та згладжуючих конденсаторів C1 і C2.

Приведені джерела зварювального струму, в яких трансформатор працює при частоті 50Гц мають один недолік – велику масу.

Останнім часом все більше використовуються зварювальні інвертори для зварювання постійним струмом, в яких за рахунок підвищення частоти струму до 60...80кГц трансформатори мають дуже малу масу. На рис. 23.3 приведена блок-схема зварювального інвертора [30].

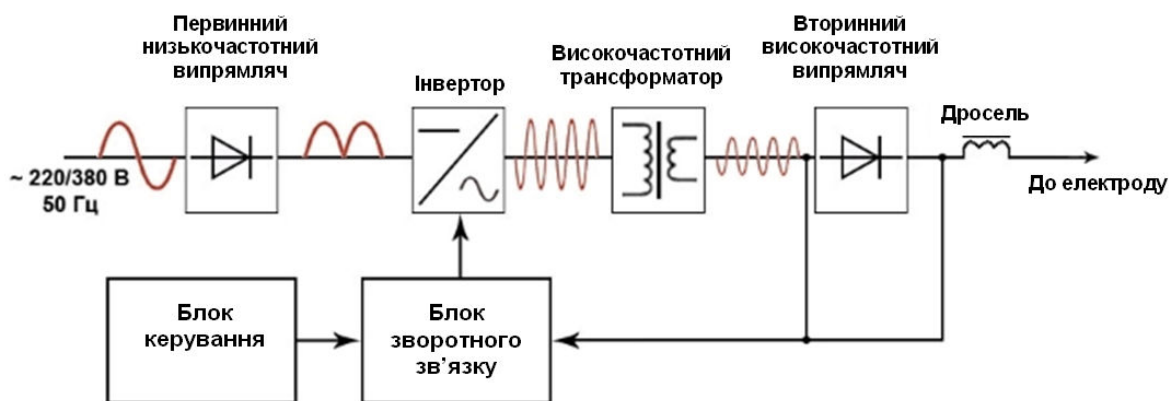


Рисунок 23.3 – Блок-схема зварювального інвертора

Змінний струм з частотою 50Гц поступає на *первинний низькочастотний випрямляч*, випрямлюється і згладжується. Потім у *інверторі* перетворюється в змінний струм високої частоти. Далі у *високочастотному трансформаторі* напруга зменшується до зварювальної. Отриманий струм спрямлюється у *вторинному високочастотному випрямлячі* і підключається через дросель до електроду.

Основні вимоги до джерел струму: легке запалювання дуги і безпека роботи, що досягається напругою холостого ходу не більш 60...80 В; стабільне горіння дуги на заданому режимі; можливість регулювання струму; обмеження струму при короткому замиканні.

Для збудження дуги зварювальник короткочасно дотикається заготовки електродом. В результаті струму короткого замикання в точках дотику метал розігрівається. При відводі електроду не 3...4 мм виникає зіткнення електронів, що рухаються від катода до аноду, з молекулами газів і пари металу та їх іонізація. В результаті проміжок пари та газу між електродом і заготовками стає електропровідним і виникає електрична дуга. Під дією дуги плавляться зварювальні кромки заготовок і електрод, які утворюють загальну зварювальну ванну рідкого металу. Зварювальник подає електрод в міру його плавлення у зону ванни, забезпечуючи зазор 2...4 мм, рухає електрод вздовж лінії зварювання для утворення шва у вигляді валика наплавленого металу та

надає електроду поперечно-коливні рухи для отримання валика необхідної ширини.

Стержні плавких електродів мають покриття, яке при розплавленні утворює легкий шлак, що покриває метал шва і ванну в'язкою плівкою. Шлак перешкоджає окисленню металу, відновлює оксиди. Для підвищення стійкості дуги перемінного струму в обмазку електродів вводять йонізуючі елементи (крейду). У складі покриттів містяться шлакоутворюючі, газоутворюючі, розкислюючі і легуючі добавки. Шлакоутворюючі захищають розплавлений метал від азоту і кисню повітря, а метал шва від швидкого охолодження; газоутворюючі – утворюють навколо дуги оксиди вуглецю та водень які, захищають розплавлений метал від взаємодії з повітрям; розкислюючі відновлюють в металі оксиди в період його контакту з рідким шлаком; легуючі феросплави - легують шов для підвищення необхідних властивостей.

При зварюванні можна одержати такі з'єднання (рис. 23.2, а): стикові (1), внапустку (2), таврові (3), кутові (4). Шви можуть бути односторонніми або двохсторонніми та виконуватися за один чи декілька проходів.

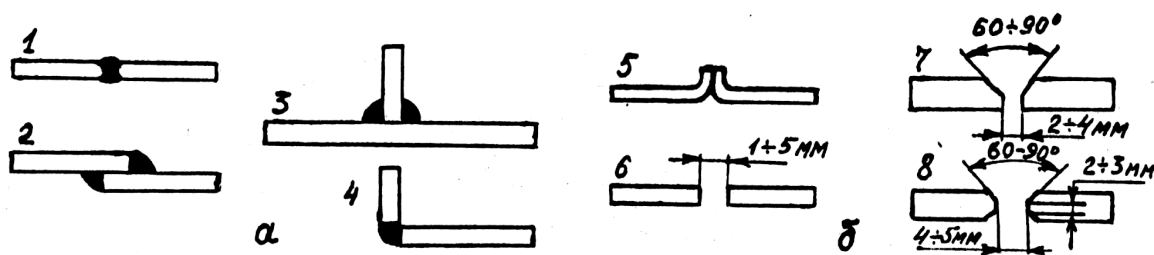


Рисунок 23.2 - Зварювальні з'єднання: а – види з'єднань, б – способи підготовки кромки стикових з'єднань

Для забезпечення повного провару шва по перерізу стику заготовок використовують різні способи підготовки зварюваних кромки (рис. 23.2, б):

- з відбортовкою кромки (5) – при товщині листа до 3 мм;
- без скісний (6) – при товщині листа 3...8 мм;
- з V – подібною обробкою (7) при товщині листа до 15 мм;
- з X – подібною обробкою (8) – при товщині листа більше 15 мм;
- чашоподібну – при товщині листа більше 20мм.

Ручне дугове зварювання ефективно при зварюванні коротких, переривчастих швів зі складною траєкторією, в малодоступних місцях, в різних просторових положеннях в умовах виробництва і ремонту, монтажу і будівництва. В цьому процесі об'єм рідкого металу зварювальної ванни незначний, так що він може утримуватися на вертикальній або стельовій площині за рахунок поверхневого натягнення. До недоліків способу відносяться важка ручна праця і мала продуктивність.

Технологічний процес дугового зварювання складається з підготовки кромки та з'єднання заготовок за визначеним режимом зварювання. Тому необхідно перш за все вибрати тип зварного з'єднання, форму оброблення

кромок та складання заготовок для зварювання і визначити режим зварювання.

Режим зварювання - один з основних елементів технологічного процесу, який визначає якість і продуктивність зварювання. При ручному дуговому зварюванні *основні параметри режиму зварювання* такі:

- діаметр електроду ($d_{ел}$, мм),
- зварювальний струм ($I_{зв}$, А),
- напруга на дузі (U_d , В),
- швидкість зварювання ($V_{зв}$, м/год).

Визначення режиму зварювання починають з *вибору діаметру електроду, його типу і марки*. Діаметр електроду $d_{ел}$ вибирають залежно від товщини зварюваного металу S згідно слідуєчих рекомендацій (табл. 23.1):

Таблиця 23.1 - Вибір діаметра електроду залежно від товщини зварюваного металу

Товщина металу S , мм	1...2	3...5	4...10	12...24	30 та більше
Діаметр електроду $d_{ел}$, мм	2...3	3...4	4...5	5...6	6...8

Для вертикальних та поточних швів вибирають електроди діаметром не більше 4 мм.

Продуктивність процесу зварювання визначають, виходячи із значення коефіцієнта наплавлення a_n [$г/(А \times год)$]. Тому з групи електродів, що забезпечують задані фізико-механічні властивості зварного шва, слід вибирати ті, які забезпечують вищий коефіцієнт наплавлення і, отже, забезпечують більшу продуктивність процесу.

Значення *зварювального струму* (A) залежно від діаметру електроду визначають за емпіричною формулою: $I_{зв} = k \times d_{ел}$,

де k - коефіцієнт, що дорівнює 40...60 А/мм для електродів із стрижнем з низьковуглецевої сталі і 35...40 – для електродів із стрижнем з високолегованої сталі.

При недостатньому струмі основний метал проплавляється на невелику глибину, а тому метал електроду сплавляється з основним металом лише посередині, внаслідок чого шов буде ослабленим. При великому струмі електрод сильно нагрівається а метал розбризкується.

Напруга на дузі для найбільш поширених електродів в середньому складає 25...28 В. *Швидкість зварювання* визначають за формулою:

$$V_{зв} = \frac{\alpha_n \times I_{зв}}{\gamma \times F_n \times 100} \text{ м/год},$$

де α_n - коефіцієнт наплавлення, $\alpha_n = 10...15$ г/(А×год);

γ - густина металу шва, для сталі $\gamma=7,8 \text{ г/см}^3$;

F_n - площа поперечного перерізу наплавленого металу шва (см^2), яка складається з суми площин елементарних геометричних фігур – складових перерізу шва.

Знаючи площу перерізу наплавленого металу, довжину і густину зварних швів, визначають масу ($г$) наплавленого металу на весь виріб

$$G_{н.м} = F_n \times L \times \gamma, \text{ г},$$

де L - довжина (см) зварних швів виробу.

Витрату товстопокритих електродів з урахуванням втрат приблизно можна приймати рівним 1,6...1,8 від маси наплавленого металу.

Кількість електроенергії ($\text{кВт} \times \text{год}$), що йде на зварювання виробу, визначають як добуток зварювального струму на напругу дуги і на час зварювання. Час зварювання виробу підраховують, знаючи швидкість зварювання, або визначають за формулою:

$$t_{зв} = G_{н.м} / (\alpha_n \times I_{зв}) \text{ год.},$$

де $G_{н.м}$ - маса наплавленого металу, $г$;

α_n - коефіцієнт наплавлення, $г/(A \times \text{год})$,

$I_{зв}$ - зварювальний струм, A .

Техніка безпеки. Зварювальна дуга є джерелом інфрачервоного і ультрафіолетового випромінювання та бризок розплавленого металу. Випромінювання шкідливе для зору навіть при короткочасній дії протягом декількох секунд. Краплі розплавленого металу викликають опіки кожного покрову.

Завдання

Зобразіть схему і опишіть суть процесу ручного електродугового зварювання електродами з товстим покриттям. Вкажіть призначення покриття. Розробіть процес зварювання панелі із Ст3 (рис. 23.3, а, б, в). Шов переривчастий $l/t = 100/200$. Виробництво - дрібносерійне. Вкажіть тип з'єднання, форму оброблення кромки під зварювання і дайте ескіз перерізу шва з вказівкою його розмірів. Підберіть марку і діаметр електроду, визначте режим зварювання. За розмірами шва підрахуйте масу наплавленого металу. Визначте витрату електродів з урахуванням втрат, витрати електроенергії і час зварювання виробу. Вкажіть методи контролю якості зварного шва. У швах таврових з'єднань без скошу кромки при товщині металу $s = 7...9 \text{ мм}$ $\kappa = 5$, при $s = 10...30 \text{ мм}$ $\kappa = 6...8 \text{ мм}$. Площа нормального шва $F_{\Delta} = \kappa^2/2$.

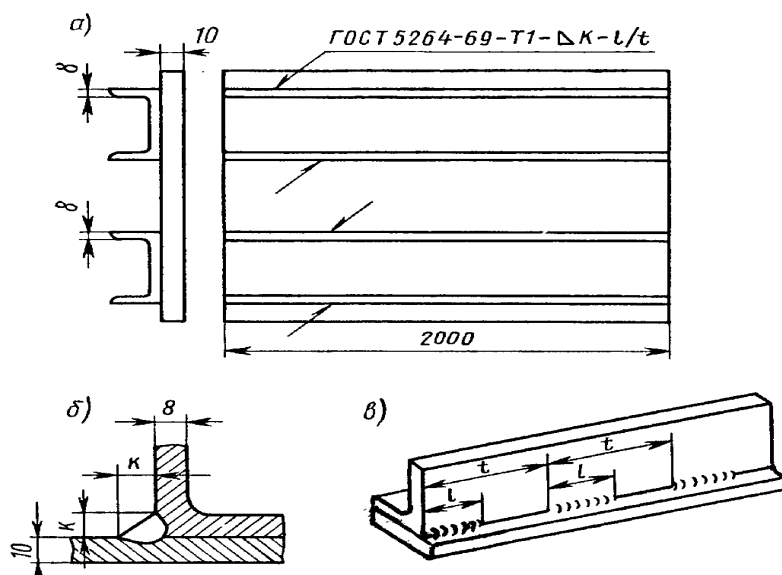


Рисунок 23.3 - Панель, що отримана зварюванням

Контрольні запитання

1. На чому оснований процес зварювання?
2. Як поділяють види зварювання за станом з'єднаних поверхонь?
3. Поясніть фізичну суть дугового зварювання. Що таке дуга? Які її параметри?
4. Поясніть принцип дії зварювального трансформатора та способи регулювання струму.
5. Поясніть призначення складових елементів електродного покриття.
6. Поясніть як запалюють дугу при ручному дуговому зварюванні.
7. Основні види зварних з'єднань.
8. Способи підготовки кромок стикових з'єднань.
9. Приведіть складові технологічного процесу ручного дугового зварювання.
10. Приведіть основні параметри режиму зварювання.
11. Як визначають зварювальний струм?
12. Поясніть техніку безпеки при ручному дуговому зварюванні.

Лабораторна робота №24

ОГЛЯД І АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ КОНТАКТНОГО ЗВАРЮВАННЯ

Мета роботи. Оглянути відеоролики про технології і використання способів контактного зварювання (стикове, точкове, шовне, конденсаторне, індукційне). Описати оглянуті види зварювання та проаналізувати їх використання.

Обладнання. Широкоформатний телевізор для демонстрації відеороликів. Відеоролики з контактних методів зварювання.

Порядок виконання та завдання

1. Оглянути відеоролики з різних видів контактного зварювання.
2. Привести схеми контактного зварювання.
3. Описати суть методів контактного зварювання та проаналізувати їх використання.

24.1 Суть процесу контактного зварювання

Контактне зварювання (зварювання опором) ґрунтується на розігріванні зварюваних виробів Джоулівською теплотою і механічному стисненні розігрітих виробів.

Згідно із законом Джоуля-Ленца кількість теплоти, що виділяється при проходженні електричного струму в зварюваних деталях і перехідних контактах, Дж,

$$Q = I^2 R t,$$

де I – сила зварювального струму, А;

R – опір металу деталей і перехідних контактів, Ом;

t – час проходження струму, с.

Сила зварювального струму при контактному зварюванні може досягати десятків і навіть сотень тисяч ампер. Такі струми дістають у знижувальних однофазних зварювальних трансформаторах, що мають у вторинній обмотці здебільшого всього один виток. Для регулювання зварювального струму первинну обмотку трансформатора поділяють на кілька секцій, від яких до перемикача ступенів трансформатора зроблено 4...16 відводів.

Вмиканням певного числа витків первинної обмотки в мережу змінюють коефіцієнт трансформації, а разом з цим і напругу на кінцях вторинної обмотки:

$$W_1 / W_2 = U_1 / U_2; \quad U_2 = (W_2 \times U_1) / W_1,$$

де W_1 і W_2 – число витків відповідно первинної і вторинної обмоток;

U_1 і U_2 – первинна і вторинна напруги, В.

Для $W_2 = 1$ напруга $U_2 = U_1 / W_1$, отже, чим менше витків первинної обмотки ввімкнено в мережу, тим більша вторинна напруга. Ця напруга в контактних машинах, як правило, не перевищує 12 В.

Сила зварювального струму I_2 прямо пропорційна вторинній напрузі:

$$I_2 = U_2 / R_z$$

де R_z — повний (активний та індуктивний) опір, Ом.

Опір місця зварювання залежить від шорсткості і стану поверхні зварюваного матеріалу, опору самого матеріалу, від тиску, який прикладають до зварюваних виробів, і від інших факторів. Найбільший опір має місце контакту зварюваних виробів, де виділяється найбільша кількість теплоти. Час зварювання залежно від товщини і роду зварюваного матеріалу змінюється від сотих і навіть тисячних часток секунди до кількох хвилин. Коли деталі нагріваються до пластичного стану або до оплавлення, до них прикладається зусилля осадки і деталі зварюються.

Є багато видів електричного контактного зварювання. Проте основних способів три: *стикове, точкове і шовне*. Окрему групу становить зварювання акумульованою енергією. З цієї групи найчастіше застосовують *конденсаторне зварювання*.

24.2 Стикове зварювання

При стиковому зварюванні (рис. 24.1) зварювані деталі 1 (стрижні, штаби, рейки, труби) закріплюють умідних затискачах машини.

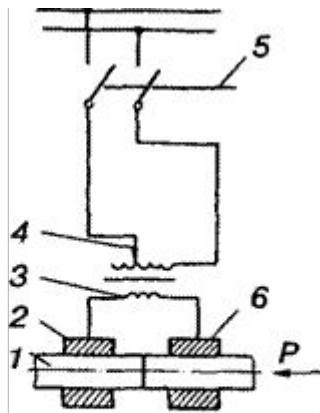


Рисунок 24.1 - Схема стикового зварювання

Затискач 6 встановлено на рухомій плиті, що переміщується по напрямних станини, а затискач 2 закріплений на нерухомій плиті. Вторинний виток 3 зварювального трансформатора з'єднаний з плитами мідними гнучкими шинами. Первинну обмотку трансформатора ввімкнено в мережу змінного струму через вимикальний пристрій 5. Для регулювання потужності трансформатора і зміни сили зварювального струму призначений перемикач ступенів 4. Переміщення рухомої плити і стискування зварювальних виробів силою P здійснюється механізмом стискування.

Основні види стикового зварювання - опором і оплавленням.

При зварюванні опором деталі з ретельно підготовленими торцями під невеликим тиском доводять до тісного стискання. Вмикають зварювальний струм, який розігріває метал до пластичного стану. До деталей прикладають зусилля осадження і разом з цим вимикають струм. У наслідок висадження металу в місці з'єднання утворюється потовщення. Зварювання опором застосовують для з'єднання виробів змаловуглецевих сталей і кольорових металів перерізом до 300 мм². При більшому перерізі не досягається рівномірного нагрівання по всьому перерізу стику, і якість з'єднання погіршується.

Зварювання оплавленням застосовують, виготовляючи вироби більшого перерізу. Розрізняють зварювання переривчастим і безперервним оплавленням. Якщо зварюють переривчастим оплавленням, то деталі, затиснуті в машині при ввімкнутій напрузі вторинного кола, приводять у короткочасне стикання і знову розводять на невелику відстань. Під час розведення деталей зварювальне коло розривається при силі струму в тисячі й десятки тисяч ампер, внаслідок чого між торцями зварювальних виробів відбувається сильне іскроутворення і розбризкування розплавленого металу. Чергуючи замикання з розмиканням, рівномірно оплавляють увесь стик. Прикладають зусилля осадження і назовні стику разом із розплавленим металом витискуються оксиди і утворюється міцне зварне з'єднання. Струм вимикають у кінці осадження.

Зварювання безперервним оплавленням виконують на машинах з механізмом безперервної подачі деталей тільки вбік їх зближення.

Затиснуті в машині деталі включаються під напругу вторинного кола, а потім їх зближують до стикання. Спочатку стикання зварювальних поверхонь відбувається лише в тих місцях, де є мікровиступи. Тут виникає струм великої густини, метал швидко нагрівається до розплавлення і випаровується. Коли вся поверхня зварювальних торців оплавиться і покриється шаром рідкого металу, до виробів прикладається зусилля осадження з одночасним вимиканням струму. Деталі з'єднуються в одне ціле так само, як і під час зварювання переривчастим оплавленням.

Стикове зварювання оплавленням застосовують для з'єднання деталей будь-якої конфігурації і будь-якого перерізу, виготовлених з однорідних і різнорідних чорних і кольорових металів. Найчастіше цей метод застосовують, зварюючи залізничні рейки, складаний різальний інструмент, магістральні газо-і нафтопроводи, двотаврові і таврові балки тощо. Споживана потужність і витрата електроенергії під час зварювання оплавленням у 2...5 разів менші, ніж під час зварювання опором.

Густина струму при зварюванні опором становить 20...60 А/мм², а при зварюванні оплавленням - 6...25 А/мм². Тиск осадки для зварювання сталей опором становить 20...30 МПа, а для зварювання оплавленням - 30... 40 МПа.

Кольорові метали зварюють (звичайно оплавленням) з тиском осадки 8...15 МПа.

Машини, що використовуються для стикового зварювання, виготовляють потужністю 0,75... 1000 кВ А і вище.

24.3 Точкове зварювання

Точкове зварювання застосовують для з'єднання листових конструкцій, в яких треба забезпечити потрібну міцність, а забезпечення щільності не обов'язкове. Сумарна товщина листів не перевищує 10... 12 мм. При точковому зварюванні складені внапусток деталі 1 (рис. 24.2, а) затискають між мідними електродами 2, до яких від зварювального трансформатора 4 через електродотримачі 3 підводиться зварювальний струм.

Нижній електрод установлено нерухомо, а верхній разом з електродотримачем набуває руху від механізму стиску, який створює потрібне зусилля P . Вмикальний пристрій 6 вмикає в мережу первинну обмотку трансформатора, і по колу зварювання проходить струм великої сили. Під дією електричного струму нагрівається весь вторинний контур, але найсильніше – деталі в місцях з'єднання.

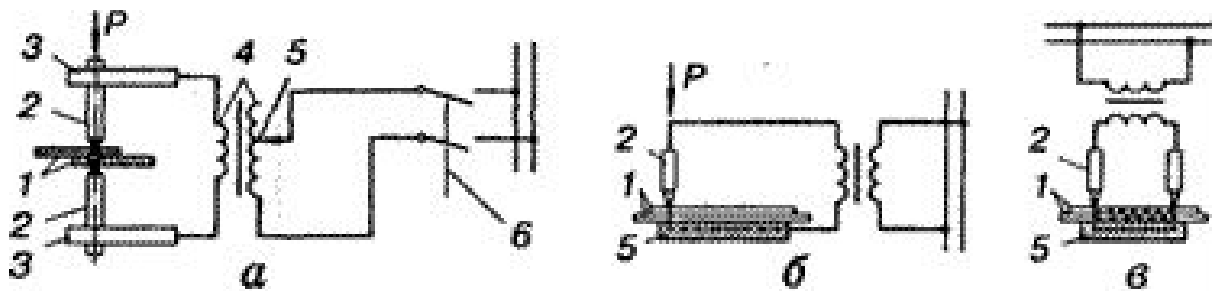


Рисунок 24.2 - Основні схеми точкового контактного зварювання

Місце стикування електродів з деталлю нагрівається менше, оскільки теплота добре відводиться мідними електродами, охолоджуваними водою. Нагрівання здійснюють до розплавлення контактних поверхонь деталей на деяку товщину, внаслідок чого ядро зварної точки має стовпчасту дендритну структуру. Для зварювання деталей прикладають зусилля осадження. Силу зварювального струму регулюють за допомогою перемикача потужності 5.

Режими зварювання. Розрізняють так звані *м'які* й *жорсткі* режими точкового зварювання.

М'які режими характеризуються більшою тривалістю зварювання і меншою густиною струму. Їх застосовують під час зварювання вуглецевих і низьколегованих сталей і сталей, схильних до гартування. Для м'яких режимів час зварювання становить 0,2...3,0 с, густина струму - 90...150 А/мм², тиск на електроди - 15...40 МПа.

Жорсткі режими характеризуються меншим часом зварювання ($0,001...0,1\text{с}$), більшою густиною струму ($150...350\text{ А/мм}^2$) і більшим тиском ($40...100\text{ МПа}$).

Ці режими використовують при зварюванні корозієстійких сталей і кольорових металів (міді, алюмінію та ін.)

Види точкового зварювання. Крім розглянутої вище основної схеми точкового зварювання у промисловості застосовують *однобічне* точкове зварювання, яке буває одноточкове (рис. 24.2, б), двоточкове (рис. 24.2, в) та багатоточкове. В однобічному зварюванні електроди 2 розміщують з одного боку зварюваних виробів 1, а з другого підкладають мідні або бронзові шини 5. Під час зварювання струм проходить через електроди 2, зварювані вироби 1 і мідні шини 5.

Типи точкових машин. Серійні машини, що використовуються для точкового зварювання, виготовляють потужністю $0,5...750\text{ кВ А}$ і більше з ножним (педальним) приводом і довільною витримкою, з приводом від електродвигуна, з електромагнітним, пневматичним або пневмогідравлічним приводом керування і з електронним регулюванням часу зварювання.

Галузь застосування. Точкове зварювання найчастіше застосовують при з'єднанні внапусток деталей з листової вуглецевої або легированої сталі, різних кольорових металів і їхніх сплавів. Найбільше поширене воно в авіаційній, вагонобудівній і автомобільній промисловості.

24.4 Шовне зварювання

Схема і різновиди шовного зварювання. Шовне, або роликове, зварювання застосовують для одержання міцних і щільних швів при виготовленні тонкостінних посудин, призначених для зберігання і транспортування рідини, газів та інших продуктів, а також при виробництві тонкостінних плоскоскручених труб.

У шовному зварюванні (рис. 24.3) листи 1 завтовшки $0,3...3,0\text{ мм}$ складають внапусток і потім затискають зусиллям P між двома мідними роликами 2, до яких підводять електричний струм від зварювального трансформатора 3. Одному чи обома роликам надає примусового обертання спеціальний привід. При ввімкненні струму і одночасному обертанні роликів відбувається переміщення і нагрівання до розплавлення контактних поверхонь зварюваних виробів, які під дією стискальних зусиль зварюються.

Розрізняють три основних способи шовного зварювання: безперервне, переривисте і крокове. При безперервному зварюванні подача струму на ролики і обертання роликів провадиться безперервно. Такий вид зварювання застосовують при виготовленні виробів з низьковуглецевих сталей завтовшки до 1 мм .

При більших товщинах безперервна подача струму на ролики не дає задовільної якості зварного з'єднання. Такі з'єднання зварюють переривистим

методом, при якому ролики обертаються безперервно, а струм подається переривисто. В результаті переривистої подачі струму в місці зварного з'єднання утворюється ряд безперервних точок, які перекривають одна одну.

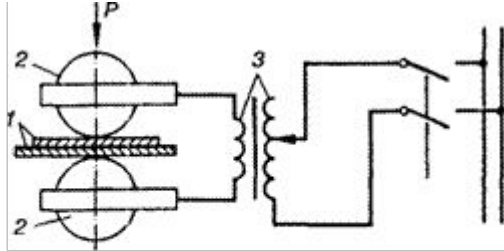


Рисунок 24.3 - Схема шовного зварювання

При переривистому методі зварювання дістають зварні з'єднання високої якості як при зварюванні вуглецевих, так і корозієстійких сталей, а також алюмінієвих і мідних сплавів.

Крокове зварювання, при якому обертання роликів і подача струму на них переривисті, великого поширення не набуло.

Для переривистої подачі струму на ролики шовні машини оснащують ігнітронними переривниками. Тривалість ввімкнення струму при переривистому зварюванні становить 0,02...0,12 с, а час перерв між вмиканням - 0,02...0,35 с. Серійні шовні машини випускають потужністю 25...500 кВ · А з педальним або пневматичним приводом.

24.5 Індукційне зварювання

Індукційне зварювання виконують нагріванням металу до пластичного стану або до оплавлення за допомогою індукційних струмів середньої (2...10 кГц) або високої (70...500 кГц) частоти з наступним стисканням деталей. Найчастіше цей спосіб застосовують для виготовлення зварних труб з поздовжнім прямим або спіральним швом і армування твердими сплавами різального інструменту.

При зварюванні труб скручена заготовка 1 (рис. 28.4) переміщується між обтискними роликами (показані стрілками 3) і нагрівається кільцевим індуктором 2, який має один або кілька витків. Під час проходження через індуктор струму в трубній заготовці індукуються вторинні струми 4, які намагаються замкнутись по кільцевій ділянці труби в площині розміщення індуктора. Проте, зустрічаючи на своєму шляху відкриту щілину, вони відхиляються до місця зіткнення кромek, де й сходяться. Внаслідок великої густини струму метал у цій ділянці дуже швидко нагрівається до температури плавлення. При наступному обтисканні трубної заготовки обтискними роликами створюється зварне з'єднання з витісненням стику розплавленого металу.

Індукційними струмами високої частоти зварюють труби різних діаметрів, починаючи від кількох міліметрів до 1600 мм при товщині стінок 0,1... 16 мм. Перевагою цього методу зварювання є можливість зварювати труби з гарячекатаної, неочищеної від окалини, заготовки, що неможливо при контактному зварюванні, або контактним підведенням струмів високої частоти.

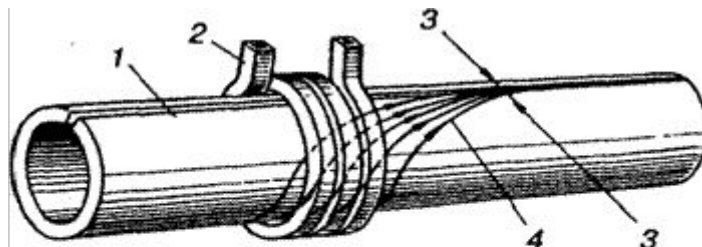


Рисунок 24.4 Схема індукційного зварювання труб

Перевагою цього способу, особливо при використанні струмів радіочастоти (300...500 кГц), є також висока продуктивність. При автоматичному дуговому зварюванні під флюсом максимальна швидкість становить близько 150 м/год, а при індукційному зварюванні струмами радіочастоти (залежно від діаметра і товщини стінки зварюваних труб) – до 18 км/год.

Застосування струмів радіочастоти дає змогу також зварювати труби з легкоокислюваних металів, аустенітних і жароміцних сталей, сплавів алюмінію та інших металів.

24.6 Дифузійне зварювання

Дифузійне зварювання ґрунтується на взаємній дифузії контактуючої пари металів, що перебувають у вакуумі $133 \cdot 10^{-3} \dots 133 \cdot 10^{-5}$ Па або в атмосфері інертних захисних газів, нагрітих до 400... 1300 °С і стиснених до 10...20 МПа. Нагріваються вироби індукційними струмами високої частоти, електронним променем, контактним та іншими способами.

Дифузійним зварюванням можна з'єднувати як однорідні, так і різнорідні метали та їхні сплави, а також металокерамічні вироби з металами. Так, успішно зварюються бронза з міддю, тантал з вольфрамом, графіт з титаном, скло з залізонікелькобальтовим сплавом, тугоплавкі (ніобій, тантал, молібден, вольфрам) і хімічно активні (титан, цирконій, берилій) метали.

Основною перевагою цього способу зварювання є виготовлення міцного з'єднання без помітних змін фізико-механічних властивостей зварних з'єднань у зоні зварювання. До недоліків дифузійного зварювання належать трудомісткість і тривалість процесу. Час зварювання різного складного інструменту на вакуумній установці типу СДВУ-2 становить 6...18 хв.

24.7 Конденсаторне зварювання

Суть процесу. Конденсаторне зварювання здійснюється за допомогою нагрівання зварюваних з'єднань короткочасним імпульсом розрядного струму конденсаторів з послідовним прикладанням невеликих зусиль стискання. Енергія в батареях конденсаторів нагромаджується від електричної мережі.

Під час розрядження їх енергія витрачається на зварювання. Конденсатори можуть розряджатися безпосередньо на виріб або на первинну обмотку зварювального трансформатора. Більше поширений другий спосіб. Таким способом здійснюється точкове, стикове, шовне і рельєфне зварювання.

Схема точкового конденсаторного зварювання з розрядженням конденсаторів на первинну обмотку зварювального трансформатора наведено на рис. 24.5. Струм з мережі через невеликий підвищувальний трансформатор 2 і випрямляч 1 надходить на зарядження конденсаторів 3. За допомогою перемикача 4 конденсатори вмикаються на зарядження або розряджаються на первинну обмотку зварювального трансформатора 5 і зварювані вироби 6.

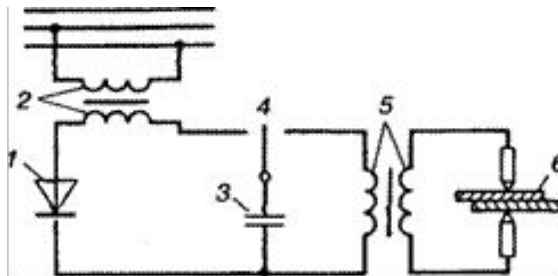


Рисунок 24.5 - Схема точкового конденсаторного зварювання

Галузі застосування. Конденсаторне зварювання застосовують переважно для з'єднання металевих виробів малих товщин: 0,005...2,0 мм. Тонкий метал завтовшки 0,2...0,3 мм можна приварювати до металу завтовшки 10...15 мм. Конденсаторне зварювання широко застосовують в приладобудуванні, у виробництві фотоапаратів, годинникових механізмів, оптичних приладів, радіоламп тощо для з'єднання однорідних і різнорідних металів

Цим способом зварюють маловуглецеві і корозієстійкі сталі, алюміній і його сплави, нікель і нікелеві сплави, сплави міді, срібло, платину та ін.

Машини для конденсаторного зварювання виготовляють невеликої потужності: 0,1...70 кВ А для точкового зварювання і 12...50 кВ А для стикового і шовного зварювання.

Переваги конденсаторного зварювання: незначна споживана потужність; рівномірне навантаження на мережу, яка не має пікових значень струму в момент розрядження конденсаторів; висока якість зварних з'єднань.

АНАЛІЗ ГЕОМЕТРІЇ, КОНСТРУКЦІЇ І ЗАСТОСУВАННЯ ТОКАРНИХ РІЗЦІВ

Мета роботи. Проаналізувати форму, конструкцію, типи і застосування токарних різців.

Обладнання. Набір токарних різців, кутомір, довідникові матеріали, широкоформатний телевізор для демонстрації різних видів різців та їх застосування.

25.1 Будова токарного різця

Основним інструментом при токарній обробці, є різець (рис.29.1), що складається зі стрижня I, за допомогою якого він закріплюється в різцетримачі на супорті верстата, і голівки II, на якій закріплена ріжуча частина. На ріжучій частині, виділяють 6 елементів (поверхонь, ліній, точок) та ряд кутів, якими характеризується геометрія різця.

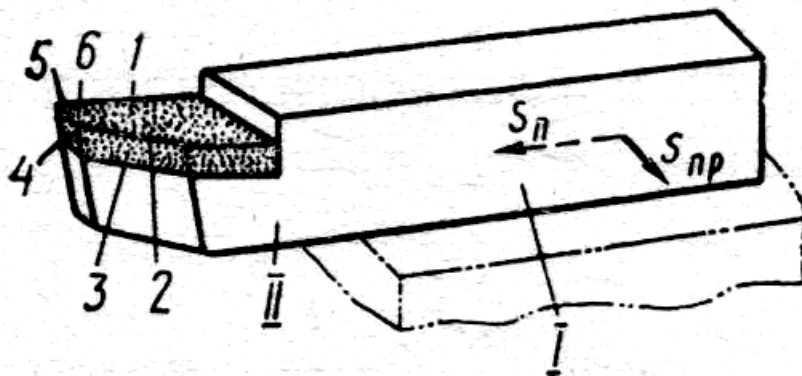


Рисунок 25.1 - Частини і елементи різця: I – стрижень, II – головка; 1 – передня поверхня, 2 – головна ріжуча кромка, 3 – головна задня поверхня, 4 – допоміжна задня поверхня, 5 – допоміжна ріжуча кромка, 6 – вершина різця

По передній поверхні 1 сходять стружка, що відокремлюється від заготовки за допомогою головної ріжучої кромки 2, утвореною передньою поверхнею 1 і головною задньою поверхнею 3. Перетин передньої поверхні 1 і допоміжної задньої поверхні 4 утворює допоміжну ріжучу кромку 5. Перетин кромки утворює вершину різця 6, яка може бути гострою чи закругленою.

Для визначення кутів вводять координатні площини, яких у токарних різцях чотири: основна, площина різання, головна січна і допоміжна січна.

Площина, паралельна напрямкам подовжньої $S_{\text{под}}$ і поперечної $S_{\text{поп}}$ подач – основна (рис. 25.2). Площина різання проходить через ріжучу кромку 2 і є дотичною до поверхні різання. Головна і допоміжна січні площини

проводяться перпендикулярно до проекцій головної і допоміжної ріжучих кромки на основну площину (рис. 25.2).

Основні кути, що визначають геометрію токарного різця: головний і допоміжний задні кути α і α_1 і кут загострення β , передній кут γ , кут різання δ , головний і допоміжний кути в плані φ і φ_1 .

Головний задній кут α вимірюється між головною задньою поверхнею різця 3 і площиною різання. Збільшення головного заднього кута приводить до зменшення тертя між різцем і оброблюваною заготовкою і, отже, знижує знос інструмента. Однак при цьому знижується міцність ріжучої кромки. Тому задній кут виконують у межах $6... 12^\circ$. Збільшення заднього кута на кілька градусів у ряді випадків дозволяє збільшити стійкість різця.

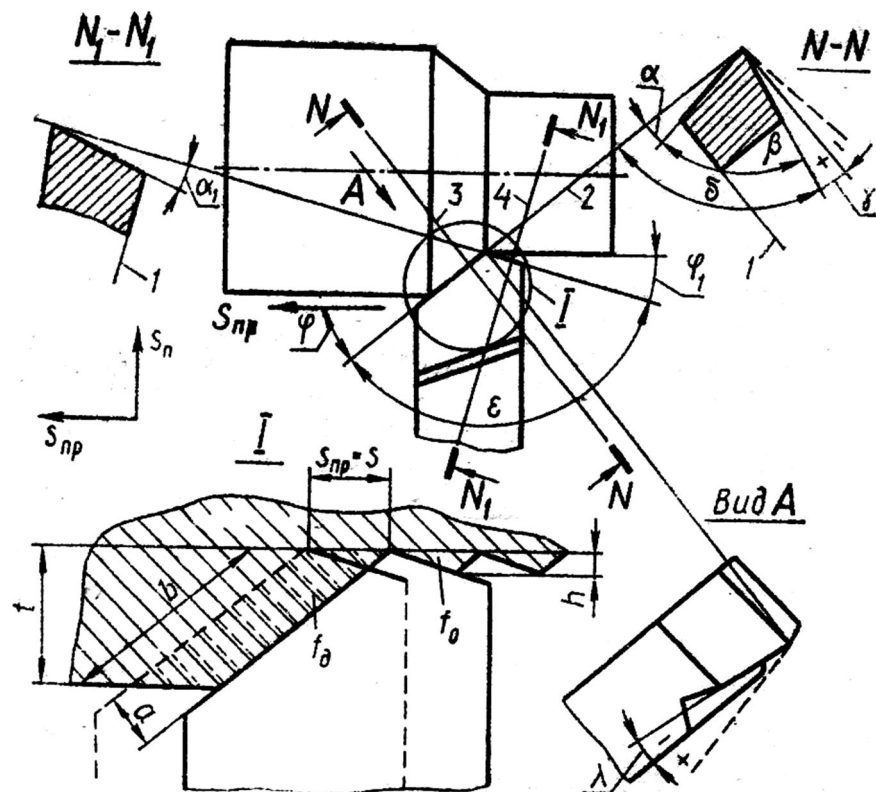


Рисунок 25.2 - Координатні площини різця (сліди площин): 1 – основна, 2 – різання, 3 – головна січна, 4 – допоміжна січна;

кути різця в головній січній площині 3: α – головний задній, β – загострення, γ – передній, δ – різання;

кути різця в допоміжній січній площині: α_1 – допоміжний задній; β_1 – загострення, γ_1 – допоміжний передній (β_1 і γ_1 на рис. не вказані);

кути в плані (в проекції на основну площину): φ – головний, φ_1 – допоміжний;

переріз шару, що зрізається: $a \times b$; t – глибина різання

Кут загострення β вимірюється між передньою і головною задньою поверхнями різця. Він визначає гостроту клина, що врізається в матеріал деталі. Зі зменшенням кута загострення полегшується процес різання, однак внаслідок крихкості інструментальних матеріалів цей кут досить великий.

Передній кут γ вимірюється між передньою поверхнею різця і площиною, проведеною через головну ріжучу кромку перпендикулярно до площини різання. Збільшення переднього кута зменшує роботу, затрачувану на відділення стружки, поліпшує чистоту поверхні, але погіршує відведення тепла і міцність ріжучої кромки. Кут γ вважається додатковим, якщо кут $\delta < 90^\circ$, і від'ємним, якщо кут $\delta > 90^\circ$. Останній використовується при обробці твердих чи крихких матеріалів або при наявності періодичних ударів. Звичайно кут $\gamma = 3 \dots 20^\circ$ або $-5 \dots -10^\circ$.

Кут різання δ вимірюється між передньою поверхнею різця і площиною різання.

Чотири головних кути зв'язані залежностями

$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ;$$

$$\delta = \alpha + \beta = 90^\circ - \gamma.$$

Головний кут у плані ϕ вимірюється між проекцією головної ріжучої кромки на основну площину і напрямком подовжньої подачі. Він визначає співвідношення між радіальною і осьюовою складовими зусилля різання. Якщо $\phi = 90^\circ$, радіальна складова зусилля різання, що викликає згин деталі, мінімальна. У цьому випадку можна обробляти тонкі, нежорсткі деталі. Якщо ϕ зменшується до $10 \dots 15^\circ$, стає менше шорсткість обробленої поверхні і знос інструмента, але росте навантаження на деталь, що викликає її вібрацію.

25.2 Типи різців та операції, які виконуються на токарно-гвинторізних верстатах

Різноманіття робіт, виконуваних на токарських верстатах, вимагає застосування різних за конструкцією і призначенням різців. Токарні різці класифікуються по наступних ознаках:

- по напрямку подачі - праві і ліві; останні використовують при обробці східчастих валів, торцевих поверхонь, звернених до шпинделя верстата;
- за формою головки - прямі, відігнуті і відтягнуті (ріжуча частина тонше стрижня);
- за характером виконуваних операцій - чорнові і чистові;
- за призначенням - прохідні, підрізні, відрізні, розточувальні, різьбові і фасонні;
- за конструкцією - цільні (головка і тіло різця виконані з одного матеріалу); з привареною встик головкою; з припаяною пластинкою (наприклад, із твердого сплаву); з механічним кріпленням ріжучих пластинок (із твердих сплавів або мінералокераміки);

- за матеріалом ріжучої частини - вуглецеві, швидкоріжучі, твердосплавні, мінералокерамічні, алмазні і з надтвердих матеріалів.

На рис. 25.4 показані основні типи різців і операції, виконувані на токарно-гвинторізних верстатах.

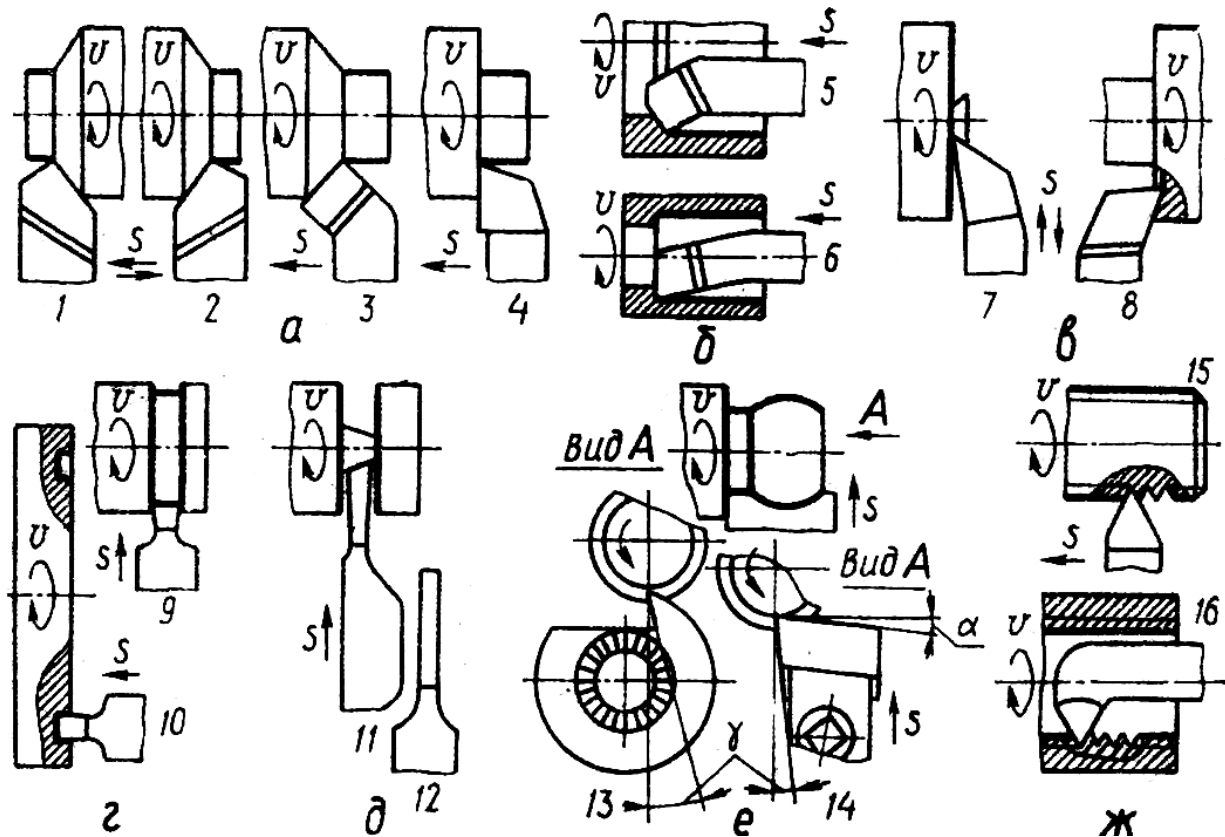


Рисунок 25.4 - Типи токарних різців:

1, 8- ліві прохідний і торцевий; 2, 4 - праві прохідні; 3 - лівий прохідний відігнутий; 5, 6 -розточувальні; 7 - торцевий правий; 9, 10 - прорізні; 11, 12 - відрізні; 13, 14 - круглий і призматичний фасонні; 15, 16 –різбові;

операції, виконувані на токарно-гвинторізних верстатах:

a - обробка зовнішніх циліндричних поверхонь; *б* - розточування внутрішніх поверхонь; *в* - обробка торцевих поверхонь; *г* - нарізування канавок на циліндричної та торцьової поверхнях; *д* - відрізання заготовки; *е* - одержання фасонної поверхні; *ж* -нарізування зовнішньої і внутрішньої різьб

25.3 Матеріали різців

Нижче приводиться коротка характеристика інструментальних матеріалів, з яких виготовлюються різці.

Вуглецеві інструментальні сталі У8, У10, У10А, У11А, У12А містять 0,8...1,2%С. Після термообробки мають твердість 60...62 HRC. Добре заточуються. Мають обмежене застосування, тому що припустима швидкість

різання складає 15...19 м/хв у зв'язку з низькою теплостійкістю (200...250 °C). Застосовуються для виготовлення ручного ріжучого інструмента.

Леговані інструментальні сталі 6ХС, 9ХС, 9ХВГ, ХВГ, ХГ і інші містять 0,6...1,0 %С і приблизно по 1 % хрому, кремнію, марганцю і вольфраму. Після термообробки мають твердість HRC3 62...64 і теплостійкість 250...300 °C.

Швидкоріжучі сталі P12, P6M5, P9Ф5 містять 6...18 % вольфраму, завдяки чому їхня теплостійкість складає 600...630°C. Твердість після гартування 60...64 HRC. Швидкоріжучі сталі є найбільш розповсюдженими в даний час матеріалами для виготовлення цільних різців різного призначення.

Найбільш поширені тверді сплави трьох груп: вольфрамокобальтові (BK3, BK8, BK10M), титановольфрамові (Т5К10, Т15К6, Т30К4) і титанотанталовольфрамові (ТТ7К12, ТТ8К10). Їх основу складають карбіди вольфраму, титану і танталу, для зв'язування порошкових карбідів використовується кобальт. Мають високу твердість 86...90HRA і теплостійкість до 800... 1000 °C, що дозволяє обробляти деталі зі швидкістю до 800 м/хв. Тверді сплави випускають у виді пластинок, що кріпляться механічно чи припаюються до головки різця.

Для виконання операцій чистової обробки з невеликою глибиною різання розроблений ряд сплавів з мінералокераміки, що завдяки практично необмеженим сировинним ресурсам має низьку вартість, забезпечує підвищення продуктивності праці і якості обробки. Мінералокераміка застосовується у виді змінних багатогранних пластин, що прикріплюються до металообробного інструмента, і поділяється на кілька груп: оксидна, чи біла, кераміка (марки ЦМ-332 і ВО-13), що складається на 99 % з оксиду алюмінію Al_2O_3 , і легуючих добавок (MgO , ZrO_2 , та ін.); оксидно-карбідна, чи чорна, кераміка (марки ВОК-60, ВОК-63, В-3), що складається з: Al_2O_3 (не менш 60 %), TiC (до 40 %) та інших добавок; кераміка на основі нітриду кремнію Si_3N_4 з легуванням оксидами ітрію, цирконію, алюмінію та іншими (сілініт-Р).

Пластины з кераміки одержують методом спікання при температурах 1600...1800°C. Мінералокераміка має твердість HRA 91...94 і теплостійкість до 1200°C; застосовується для інструментів, що повинні забезпечувати високу розмірну точність заготовок. Внаслідок порівняно низької міцності і великої крихкості використовуються для обробки твердих матеріалів на великих швидкостях різання за умови безударних навантажень.

Полікристалічні синтетичні надтверді матеріали (СТМ) марок композит 01 (ельбор-РМ), композит 02 (белбор), композит 05 та інші, а також природні (марка А) і синтетичні алмази (наприклад, марок АСО, АСР, АСВ) використовуються для виготовлення ріжучих вставок для різців, свердел, фрез. Основою СТМ служить кубічний нітрид бора BN, одержуваний при тиску понад 10^5 МПа і температурі до 1700 °C. Синтетичні алмази одержують із графіту при температурі близько 2500 °C і тиску близько 10^4 МПа.

СТМ і алмази у виді полікристалів і одиничних зерен закріплюють у вершині різця. Такі різці забезпечують високу точність обробки і низьку шорсткість поверхні заготовки.

Порядок виконання роботи

1. Вивчити і зарисувати токарний різець. Пояснити його форму і конструкцію.
2. Зарисувати і проаналізувати основні площини і кути ріжучої частини досліджуваного різця. Визначити його тип, основні характеристики та склад матеріалу ріжучої частини.
3. Керуючись даними табл. 25.1, визначити застосування досліджуваного різця.

Таблиця 25.1. Характеристика токарних різців

Інструмент				Заготовка	
Матеріал	Кут			Матеріал і його властивості	Характер, умови обробки
	α	γ	ϕ		
Вуглецеві інструментальні сталі типу У10, У10А	15	30	45	Мідь, латунь в'язка	Чистова деталей невеликого розміру
	15	25	90	Те ж	Чистова нежорстких деталей невеликого розміру
Швидкорізал ьні сталі типу Р18, Р12, Р6М5	10	25	45	Мідь, бронза та інші кольорові сплави	Напівчистова і чистова при безперервному різанні на великих швидкостях
	8	18	45... 60	Прокат вуглецевої і легированої сталей, сталеве лиття	Напівчистова і чистова при безперервному різанні на великих швидкостях
	8... 12	25... 30	45	Чавун сірий і ковкий	Те ж
	8... 12	12... 20	45	Сталеве і чавунне лиття	Чорнова переривчастих чи поверхонь лиття з кіркою

Продовження таблиці 25.1

Інструмент				Заготовка	
Матеріал	Кут			Матеріал і його властивості	Характер, умови обробки
	α	γ	φ		
Тверді сплави типу ВК2, ВК3, ВК8	6...10	0...5	45	Сталеve і чавунне лиття, сталеві кування	Чорнова кувань, лиття по кірці й окалині при рівномірному перетині зрізу
	8... 12	12... 15	45	Кольорові метали і їхні сплави, неметалеві матеріали	Чистова і напівчистова при безперервному різанні
Тверді сплави типу Т5К10, Т15К6	12	8...12	45	Вуглецеві і леговані важкооброблювані сталі	Безперервна чистова і напівчистова зовнішніх поверхонь
	6... 10	0...15	45	Чавун сірий і ковкий	Чорнова при перемінному й ударному навантаженні
Тверді сплави Т30К4, Т60К6	12	0...10	60	Вуглецеві, спеціальні леговані сталі; загартовані сталі	Тонке (алмазне) точіння
Тверді сплави ТТ7К12, ТТ7К15	8...12	-5...-10	45	Вуглецева і легована сталі	Чорнова без ударів
Ельбор (композит 0І) Белбор (композит 02)	—	—	—	Загартовані леговані сталі (55...70HRC) і чавуни (500...600В), тверді сплави групи ВК	Безперервна тонка і чистова $t = 0,1...0,3$, але не більш 0,8...1,0 мм
Алмаз АРВ АРК		—	—	Алюмінієві сплави, латунь, склопластик, пластмаси, кераміка, тверді сплави	Тонка, чистова, напівчистова, $t = 0,1 ...0,5$ мм (пластмаси $t = 2$ мм)

Контрольні питання

1. З яких частин і елементів складається різець?
2. Поясніть положення координатних площин різця?
3. Які кути вимірюють у головній січній площині?
4. Поясніть вплив головного заднього кута на знос і міцність ріжучої кромки різця.
5. Поясніть вплив кута загострення на силу різання і міцність ріжучої кромки різця.
6. Які кути вимірюють у допоміжній січній площині?
7. Як впливає передній кут на процес різання?
8. Які інструментальні матеріали застосовують для виготовлення токарних різців?
9. Чому вуглецеві інструментальні сталі рідко застосовують для виготовлення токарних різців?

ОГЛЯД І АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОБРОБКИ НА МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТАХ В УМОВАХ РЕАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

Мета роботи. Оглянути відеоролики про методи обробки в умовах реального виробництва на верстатах: токарних, свердлильних, розточувальних, фрезерувальних, стругальних, довбальних та шліфувальних. Проаналізувати використання цих методів обробки у машинобудуванні.

Обладнання. Широкоформатний телевізор для демонстрації відеороликів. Відеоролики про методи обробки в умовах реального виробництва на верстатах: токарних, свердлильних, розточувальних, фрезерувальних, стругальних, довбальних та шліфувальних. .

Порядок виконання роботи та завдання

1. Оглянути відеоролики про методи обробки в умовах реального виробництва на верстатах: токарних, свердлильних, розточувальних, фрезерувальних, стругальних, довбальних та шліфувальних.
2. Ознайомитися з класифікацією та нумерацією металорізальних верстатів за методичними вказівками.
3. Для кожного з розглянутих (за п. 1) видів обробки привести схеми з поясненням рухів інструменту та заготовки. Вказати до яких груп відносяться верстати для цих видів обробки. Проаналізувати, які геометричні поверхні і якими інструментами можна обробляти на розглянутих верстатах в умовах виробництва.
4. Привести приклади нумерації верстатів з розшифровкою.

26.1. Класифікація і нумерація металорізальних верстатів та схеми обробки

Металорізальний верстат — це технологічна машина, призначена для формоутворення деталей обробкою різанням.

Металорізальні верстати класифікують за технологічним способом обробки, ступенем універсальності, точністю.

Залежно від *технологічного способу обробки* металорізальні верстати прийнято поділяти на дев'ять груп.

До *першої групи* належать **токарні верстати**. На токарному верстаті заготовку 1 (рис. 26.1) обробляють різцем 2, рідше свердлом, зенкером, розверткою, мітчиком, плашкою тощо.

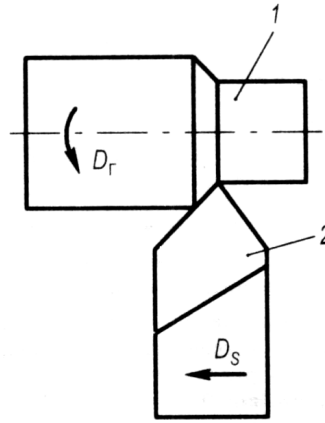


Рисунок 26.1 - Схема обробки на токарному верстаті:
 1 - заготовка; 2 - різець; D_r - головний рух різання; D_s - рух подачі

Характерною особливістю верстата є обертання заготовки довкола своєї осі (головний рух різання D_r) та переміщення інструмента (рух подачі D_s) паралельно до осі обертання заготовки під час обробки циліндричної поверхні, перпендикулярно до осі обертання заготовки під час обробки плоскої поверхні або під кутом до осі обертання заготовки під час обробки конічної поверхні. Якщо рухи поздовжньої та поперечної подач виконувати одночасно, то можна отримати фасонну поверхню.

Верстати другої групи (свердлильні та розточувальні) призначені переважно для обробки отворів. Тут інструментами служать свердла, зенкери, розвертки, мітчики, рідше різці. Під час свердління інструмент 2 (рис. 30.2) одночасно виконує головний рух різання D_r і рух подачі D_s , а заготовка 1 закріплена нерухомо.

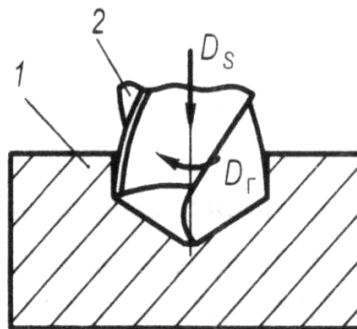


Рисунок 26.2 - Схема обробки на свердлильному верстаті: 1 - заготовка;
 2 - свердло; D_r - головний рух різання; D_s - рух подачі

Третя група представлена **шліфувальними, полірувальними та викінчувальними верстатами**. Різальними інструментами є шліфувальні круги, абразивні бруски та нанесені на круг абразивні порошки. Схеми обробки - різноманітні. У випадку зовнішнього круглого шліфування інструмент 2 (рис. 26.3) виконує головний рух різання D_r і рух поперечної подачі D_{sp} , а заготовка 1 - складний рух подачі (поздовжню $D_{spд}$ і колову $D_{ск}$).

У результаті отримують циліндричну поверхню. Окрім циліндричних, на верстатах третьої групи обробляють конічні, плоскі та фасонні поверхні.

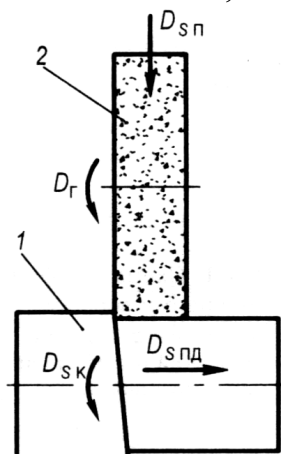


Рисунок 26.3 - Схема зовнішнього круглого шліфування: 1 - заготовка; 2 - шліфувальний круг; D_r - головний рух різання; $D_{спд}$ - рух поздовжньої подачі заготовки; $D_{ск}$ - рух колової подачі заготовки; $D_{сп}$ - рух поперечної подачі круга

До четвертої групи ввійшли **комбіновані верстати** та **верстати електрофізичної і електрохімічної обробки**. Комбіновані верстати призначені для декількох різних технологічних способів обробки (стругання та шліфування, фрезерування й шліфування тощо). У електрофізичних та електрохімічних способах обробки для відокремлювання від заготовки частинок матеріалу використовують електричний струм або фізичні явища, зумовлені електричним струмом (тепловий ефект лазерного променя чи тепловий ефект у зоні утворення іскри). Перелічені ефекти спричиняють локальне розплавлення й навіть випаровування металу.

П'ята група об'єднує **зубо-** та **різеобробні верстати**. Інструментами служать модульні фрези, довбачі, зубонарізні гребінки та спеціальні різці. Під час обробки циліндричного прямозубого колеса 1 (рис. 28.4) головним рухом

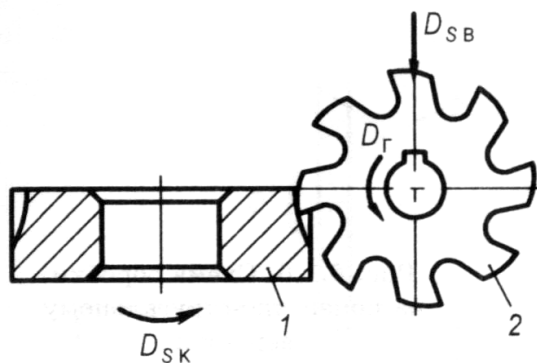


Рисунок 26.4 - Схема обробки циліндричного зубчастого колеса методом обкатки: 1 - заготовка; 2 - черв'ячна модульна фреза; D_r - головний рух різання; $D_{св}$, $D_{ск}$ - рух вертикальної та відповідно колової подачі

різання D_r є обертання черв'ячної фрези 2 навколо своєї осі. Водночас фреза виконує рух вертикальної подачі D_s в паралельно до осі обертання заготовки, а заготовка — колову подачу $D_{s\kappa}$. Тут частоти обертання фрези й заготовки взаємно узгоджені. Внаслідок такої обробки отримують евольвентний профіль зубців.

Фрезерні верстати належать до шостої групи. В них різальними інструментами є різні типи фрез. Головний рух різання D_r — обертання фрези 2 (рис. 26.5), а рух подачі D_s — переміщення заготовки 1. У цьому випадку обробляють плоску поверхню.

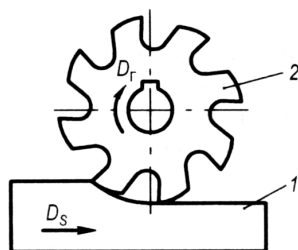


Рисунок 26.5 - Схема фрезерування: 1 - заготовка; 2 - фреза; D_r - головний рух різання; D_s - рух подачі

Стругальні, довбальні та протягувальні верстати належать до сьомої групи. Різальними інструментами служать різці або протяжки. У випадку стругання різець 2 (рис. 26.6) здійснює прямолінійний зворотно-поступальний рух. Рухаючись вперед, різець виконує головний рух різання D_r і відокремлює від заготовки стружку. Зворотний рух різця є неробочим. Під час зміни напрямку зворотного руху на робочий відбувається періодичне поперечне переміщення заготовки 1 - подача D_s . В момент різання і зворотного ходу руху подачі немає.

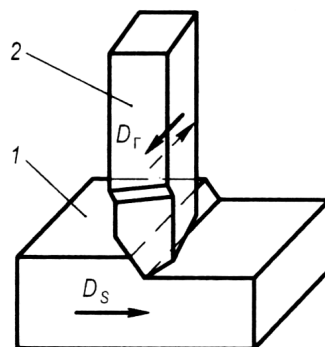


Рисунок 26.6 - Схема обробки на поперечно-стругальному верстаті:
1 - заготовка; 2 - різець; D_r - головний рух різання; D_s - рух подачі

Розрізні верстати восьмої групи призначені для розрізування металу на частини за допомогою тонких шліфувальних кругів, стрічкових або дискових пил тощо. На рис. 26.7 зображено схему розрізування шліфувальним кругом 2 сортової вальцівки на заготовки 1 довжиною l .

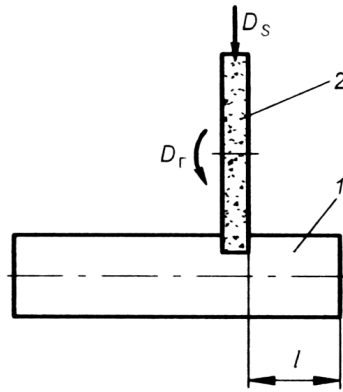


Рисунок 26.7 - Схема розрізування: 1 - заготовка; 2 - шліфувальний круг; D_r - головний рух різання; D_s - рух подачі

Дев'ята група об'єднує різні за технологічними можливостями верстати. У свою чергу, кожна група металорізальних верстатів складається із різних типів (до дев'яти). Типи об'єднані спільними технологічними ознаками та конструктивними особливостями. Тип може складатись з кількох моделей. У кожній моделі втілено певне конструктивне виконання верстата конкретної групи й типорозміру.

Розглянута класифікація дає змогу присвоювати кожному верстатові, що випускається серійно, індекс моделі у вигляді трьох або чотирьох цифр, а також літер. Перша цифра визначає номер групи верстата, друга — номер типу, третя або третя і четверта цифри разом — основний розмір верстата (висота центрів, розміри стола) або основний розмір заготовки (максимальний діаметр прутка або максимальний діаметр оброблюваної заготовки) чи розмір інструмента (наприклад, умовний діаметр свердла). Зокрема, індекс **2A135** означає, що: 2 - верстат свердлильної групи; 1 - тип верстата (вертикально-свердлильний); 35 - найбільший умовний діаметр свердління (мм); літера А свідчить про модернізацію базової моделі 2135. У моделях верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК) в кінці індексу записують букву Ф з цифрою: Ф1 - верстати з цифровою індикацією і попереднім набором координат; Ф2 - з позиційною системою керування, де переміщення по двох осях відбувається незалежно; Ф3 - з контурною системою. Наприклад, індекс **16K20Ф3** означає, що: 1 - верстат токарної групи; 6 - тип (токарний або лобовий); 20 - висота центрів (200 мм); Ф3 - верстат, оснащений контурною системою керування, в якому взаємопов'язані переміщення супорта уздовж і впоперек осі обертання шпинделя.

За **ступенем універсальності** верстати поділяють на універсальні, спеціалізовані та спеціальні.

На *універсальних верстатах* загального призначення обробляють вироби різних назв і типорозмірів у певному діапазоні геометричних параметрів. У цих верстатах широкий діапазон величин головного руху різання і рухів подач, вони забезпечені механізмами швидких переміщень

столів, супортів, бабок. До універсальних верстатів належать токарно-гвинторізні, вертикально-свердлильні, горизонтально-фрезерні тощо. Їх застосовують переважно в одиничному й дрібносерійному виробництвах.

Спеціалізовані верстати призначені для обробки конструктивно подібних виробів різних типорозмірів у певному діапазоні геометричних параметрів. До таких верстатів належать багато-різцеві токарні, токарні для обробки колінчастих валів та ін. Для них характерне швидке переналагоджування на обробку виробів інших розмірів. Ці верстати застосовують у середньо- і великосерійному виробництвах.

Спеціальні верстати служать для обробки одного виробу або для виконання одної операції, наприклад розточування блока циліндрів в умовах великосерійного й масового виробництв. Вони конструктивно прості, мають найвищу продуктивність, автоматизовані.

Верстатобудівні заводи випускають верстати **п'яти класів точності**: нормальної (Н), підвищеної (П), високої (В), особливо високої (А) і прецизійної (С). До верстатів *нормальної точності* належить більшість універсальних верстатів. Основні деталі верстатів *підвищеної точності* виготовлені з вищими вимогами порівняно з верстатами нормальної точності. У верстатах *високої точності* порівняно з базовою моделлю окремі деталі мають спеціальну конструкцію. Основні вузли й деталі верстатів *особливо високої точності* виготовлені точніше, ніж у верстатів високої точності. *Прецизійні* верстати характеризуються найвищою точністю. Клас точності верстата, крім нормального, проставляють в кінці індексу його моделі. Наприклад, модель 16K20В — токарно-гвинторізний верстат високої (В) точності.

Протягом останніх десятиліть запроваджені у виробництво *багатоцільові верстати* ("Обробні центри"), які не вписуються у наведену вище класифікацію металорізальних верстатів за технологічним способом обробки. Багатоцільові верстати здатні виконувати багато різноманітних технологічних способів обробки.

Характерною особливістю багатоцільового верстата є наявність у його конструкції пристрою числового програмного керування, одного або декількох робочих органів, магазину інструментів і механізму для автоматичної заміни інструментів. На цих верстатах можна обробляти багато поверхонь і є можливість переміщень окремих його частин по різних координатах. Ці верстати універсальні й не орієнтовані на обробку лише певної групи деталей. Ефективність роботи - в автоматизації допоміжних рухів. Обробні центри доцільно використовувати в одиничному й дрібносерійному виробництвах.

ЛІТЕРАТУРА

1. Болховитинов Н.Ф., Болховитинова Е.Н. Атлас макро- и микроструктур металлов и сплавов. – М.: Машгиз, 1959. – 88 с.
2. Болховитинов Н.Ф. Металловедение и термическая обработка. – М.: Машиностроение, 1965. – 503 с.
3. ГОСТ 9012-59. Металлы: метод измерения твёрдости по Бринеллю. – М.: Стандартиформ, 2007. – 40 с.
4. ГОСТ 9013-59. Металлы: метод измерения твёрдости по Роквеллу. Шкалы А, В и С. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2001. – 8 с.
5. Динамические твердомеры ТДМ-1 и ТДМ-2 // Неразрушающий контроль, №2, 2003. – С. 37-40.
6. ДСТУ 2839-94. Сплави алюмінієві ливарні. Технічні умови. – К.: Держстандарт України, 1995. – 49 с.
7. Жадан В.Т., Гринберг Б.Г., Никонов В.Я. Технология металлов и других конструкционных материалов. – М.: Высшая школа, 1970. – 704 с.
8. Лабораторный практикум по металлографии и физическим свойствам металлов и сплавов / Б.И. Кример, Е.В. Панченко, Л.А.Шишко, В.Н.Николаева, Ю.С. Авраамов; Под ред. Б.Г. Лившица. – М.: Металлургия, 1966. – 248 с.
9. Костин П.П. Физико-механические испытания металлов, сплавов и неметаллических материалов. – М.: Машиностроение, 1990. – 256 с.
10. Гуляев А.П. Металловедение. – М.: Металлургия, 1978. – 648 с.
11. Гринберг Б.Г., Иващенко Т.М. Лабораторный практикум по металловедению и термической обработке. – М.: Высшая школа, 1968. – 320 с.
12. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. М.: Машиностроение, 1990.
13. Масленников Ф.И. Лабораторный практикум по металловедению. - М.: Машгиз, 1961. – 268 с.
14. Металознавство: Підручник / О.М. Бялик, В.С. Черненко, В.М. Писаренко, Ю.Н. Москаленко. – 2-ге вид., перероб. і доп. – К.: ІВЦ «Видавництво «Політехніка»», 2002. – 384 с.
15. Моргулис Ю.Б. Двигатели внутреннего сгорания: Теория, конструкция и расчёт. – М.: Машиностроение, 1972. – 336 с.
16. Паисов И.В. Пособие к лабораторным занятиям по металловедению и термической обработке стали и сплавов. – М.: Металлургия, 1968. – 196 с.
17. Попович В.В., Попович В.В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: Підручник. – Львів: Світ, 2006. – 624 с.
18. Рудик Д.Ф. Технологія металів та інших конструкційних матеріалів. Лабораторний практикум. - Київ: Вища школа, 1975. – 160 с.
19. Самохоцкий А.И., Кунявский М.Н. Лабораторные работы по металловедению. - М.: Машиностроение, 1971. 184 с.

20. Сологуб Н.А., Ильин Б.Н., Ипатов К.А. Лабораторные работы по технологии металлов. – М.-К.: Машгиз, 1961. – 296 с.
21. Справочник по практическому металловедению / В.Л. Пилюшенко, Б.Б.Винокур, С.Е. Кондратюк и др. – К.: Техника, 1984. – 135 с.
22. Технология конструкционных материалов: Лабораторные работы / И.П. Волчок, В.М. Плескач, П.А. Аверченко, и др.; Под ред. И.П. Волчка. – К.: Выща шк., 1990. – 152 с.
23. Технологія конструкційних матеріалів: Підручник / М.А. Сологуб, І.О. Рожнецький, О.І. Некоз та ін.; За ред. М.А. Сологуба. – 2-ге вид., перероб. і допов. – К.: Вища шк., 2002. – 374 с.
24. Филинов С.А., Фиргер И.В. Справочник термиста. – Л.: Машиностроение, 1975. – 352 с.
25. Черток Б.Е. Лабораторные работы по технологии металлов и конструкционным материалам.- М.: Машиностроение, 1969. – 204 с.
26. ГОСТ 3443-87. Отливки чугуна с различной формой графита. Методы определения структуры. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 13 с., приложение 3 листа.
27. ГОСТ 8233-56. Сталь. Эталоны микроструктуры. – М.: ИПК издательство стандартов, 2003. – 6 с., приложение 6 с.
28. ГОСТ 5639-82. Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна. – М.: ИПК издательство стандартов, 2003. – 16 с., приложение 4 с.
29. ДСТУ 3926-99 Чавун з вермикулярним графітом для виливків. Марки. – К.: Держстандарт України, 2000. – 5 с.
30. Принципиальная схема сварочного инвертора. – Режим доступа: <http://met-all.org/oborudovanie/svarochnye/principialnaya-shema-svarochnogo-invertora.html>

ЗМІСТ

Передмова	3
Лабораторна робота №1. Визначення твердості металів за методом Брінелля	4
Лабораторна робота №2. Визначення твердості металів за методом Роквелла	13
Лабораторна робота №3. Визначення ударної в'язкості металів	23
Лабораторна робота № 4. Макроскопічний аналіз металів і сплавів	30
Лабораторна робота № 5. Мікроскопічний метод дослідження металів і сплавів	39
Лабораторна робота № 6. Вимірювання мікроскопічних елементів будови металів окулярними і об'єктивними мікрометрами	46
Лабораторна робота №7. Визначення критичних точок та побудова діаграми стану подвійних сплавів	50
Лабораторна робота №8. Аналіз сплавів за діаграмою стану залізо – цементит	56
Лабораторна робота №9. Аналіз мікроструктури заліза і вуглецевих сталей у рівноважному стані	61
Лабораторна робота № 10. Аналіз мікроструктури чавунів	70
Лабораторна робота № 11. Дослідження впливу гартування на твердість сталі	85
Лабораторна робота № 12. Дослідження впливу відпускання на твердість сталі	93
Лабораторна робота №13. Визначення прогартуваності сталі	97
Лабораторна робота №14. Мікроаналіз сталі після термічної та хіміко-термічної обробки	105
Лабораторна робота №15. Мікроаналіз легованих конструкційних сталей	112
Лабораторна робота №16. Мікроаналіз легованих сталей з особливими властивостями	118
Лабораторна робота №17. Мікроаналіз інструментальних сталей	124
Лабораторна робота №18. Мікроаналіз міді та її сплавів	129
Лабораторна робота №19. Мікроаналіз легких кольорових сплавів	136
Лабораторна робота №20. Мікроаналіз антифрикційних сплавів	141
Лабораторна робота №21. Виготовлення разової піщано-глиняної форми способом ручного формування	146

Лабораторна робота №22. Огляд і аналіз технологій обробки металів тиском в умовах реального виробництва	154
Лабораторна робота №23. Аналіз обладнання та розробка технології ручного дугового зварювання	160
Лабораторна робота №24. Огляд і аналіз технології контактного зварювання	167
Лабораторна робота №25. Аналіз геометрії, конструкції і застосування токарних різців	175
Лабораторна робота №26. Огляд і аналіз методів обробки на металорізальних верстатах в умовах реального виробництва	183
Література	189