

Міністерство освіти і науки України  
Чернігівський промислово-економічний коледж  
Київського національного університету технологій та дизайну

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Заступник директора з НР  
\_\_\_\_\_ Л. М. РОСЛАВЕЦЬ  
\_\_\_\_\_ 2017 р.

Методичне забезпечення лабораторних занять  
з дисципліни Матеріалознавство для студентів II курсу  
спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

Уклав

А.М. САВЧУК

Розглянуто на засіданні  
циклової комісії спеціальних механічних  
та загально-технічних дисциплін

Протокол № 1 від 31 08 2017 року

Голова циклової комісії

С.О. АНДРІЄНКО

## Інструкція для виконання лабораторної роботи №1

Тема: **Спостереження за кристалізацією розчину солі**

### 1 Мета роботи

- 1.1 Вивчити будову біологічного мікроскопа та принцип його дії.
- 1.2 Вивчити процес кристалізації солі.
- 1.3 Вивчити будову краплі розчину солі, що застигає та дати відповідні пояснення.

### 2 Матеріально-технічне та навчально-методичне забезпечення:

- 2.1 Біологічні мікроскопи
- 2.2 Гарячий розчин солі NaCl

### 3 Теоретичні відомості

#### 3.1 Біологічний мікроскоп

Оптична схема біологічного мікроскопа відповідає наступному принципу (рис.. 3.1): промені **1** від природного або штучного джерела світла відбиваючись від дзеркала **2**, проходять крізь краплю розчину солі **3**, яка розташована на плоскому склі **4**. Потім, через об'єktiv **5** і через окуляр **6** потрапляють в око наглядача.

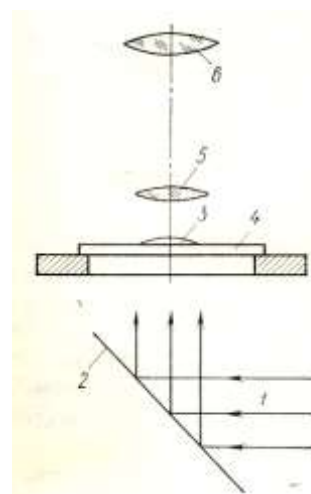


Рисунок 3.1 - Оптична схема біологічного мікроскопа

Конструкція біологічного мікроскопа (рис. 3.2) складається з плити **1** мікроскопа, що з'єднана з колонкою **3** шарніром **2**, це дозволяє нахилити верхню частину мікроскопу для більш зручного спостереження. Тубус **7**, в верхню частину якого вставляють окуляр **6**, а в нижню частину угвинчений об'єktiv **8**, має змогу пересуватися вгору та вниз обертанням гвинта **4**. Для точної наводки на фокус служить мікрометричний гвинт **4**. На предметний столик **9** розміщують пласке скло **10** з краплею розчину солі. Дзеркало розташоване у нижній частині мікроскопа.

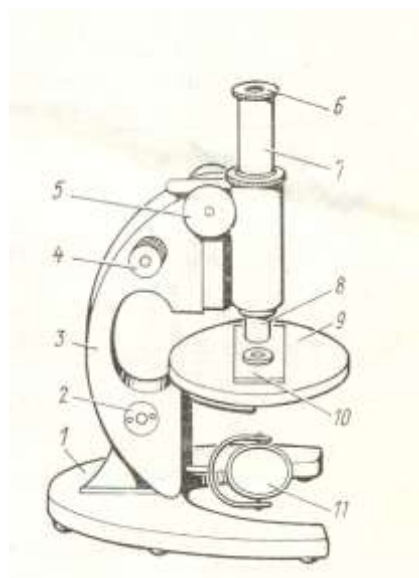


Рисунок - 3.2 Біологічний мікроскоп

## 2.2 Приготування розчину солі

Для отримання пересиченого розчину однієї з солей  $Pi(NO_3)_2$ ,  $K_2Cr_2O_7$ ,  $NH_4Cl$ ,  $NaCl$  розчиняють в воді при температурі  $70-80\text{ }^\circ\text{C}$ . При виконанні роботи використовують гарячий розчин солі.

## 3.3 Процес кристалізації солі

При кристалізації краплі розчину солі спостережуються такі ж самі процеси, що відбуваються при твердненні металевого злитку. Можна виділити три структурні зони (мал. 3.3): зона **1** складається з тонкого шару мілких дендритів, що утворюються у країв краплі. Зона **2** характеризується утворенням крупних видовжених дендритів. Зона **3** складається з дендритів, що мають різну орієнтування.

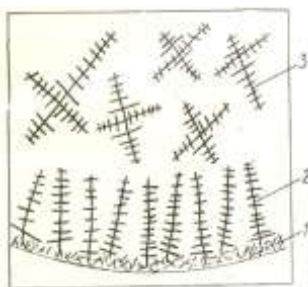


Рисунок - 3.3 Будова краплі розчину солі, що твердіє

## 4 Хід роботи:

4.1 Вивчити будову біологічного мікроскопа

4.2 Приготувати розчин солі згідно з інструкції.

4.3 Спостереження за процесом кристалізації розчину солі на біологічному мікроскопі провести згідно з інструкцією ([1] с. 4-6)

## 5 Висновки

### 6 Контрольні питання:

6.1 Яка різниця в будові кристалічних та неметалічних тіл?

6.2 Дендритна будова кристалів.

6.3 Чим пояснити різницю в розмірах кристалів зовнішніх та внутрішніх шарів деталі?

6.4 Види просторових кристалічних решіток.

6.5 Що таке алотропія металів?

6.6 Яка структура міцніша: дрібнозернисті чи великозернисті? Чому?

6.7 Роль металографічних досліджень, їх сутність.

## Література:

1 Самохоцкий А.И., Кунявский М.Н., Лабораторные работы по металловедению и термической обработке металлов. Учеб. пособие для машиностроительных техникумов. – М.: Машиностроение, 1981

2 Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П., Материаловедение: Учебник для ВТУЗов. – М.: Машиностроение, 1990

## **Інструкція для виконання лабораторної роботи №2**

**Тема: Вивчення методів визначення твердості способами Брінелля та Роквелла**

### **1 Мета роботи**

1.1 Вивчити будову і роботу твердомірів типу ТШ та ТК

1.2 Придбати навички у визначенні твердості металів та твердомірах типів ТШ (прибор Брінелля) та типу ТК (прибор Роквелла).

### **2 Матеріально-технічне та навчально-методичне забезпечення:**

2.1 Твердомір шариковий ТШ (прибор Брінелля);

2.2 Твердомір ТК (прибор Роквелла);

2.3 Лупа для вимірювання відбитків;

2.4 Комплект підготованих зразків чорних та кольорових металів

### **3 Теоретичні відомості**

3.1 Твердість є однією з основних механічних властивостей любого конструкційного матеріалу. Твердістю називається опір матеріалів проникненню в нього іншого тіла, яке не отримує остаточної деформації. Існують наступні методи випробування твердості: метод вдавлювання і метод пружної віддачі.

При випробуванні твердості методом вдавлювання застосовують прибор Брінелля (твердомір ТШ), Роквелла (прибор ТК), Віккерса, а також прибор для визначення мікротвердості. Прибор Брінелля застосовують для визначення твердості відпалених сталених виробів, а також виробів із кольорових металів та сплавів. Прибор Роквелла – більш універсальний – для визначення твердості загартованих сталевих виробів. Вибір твердоміру залежить від розмірів деталі, твердості металу і інших факторів.

3.2 Визначення твердості металів методом Брінелля.

Метод Брінелля використовують лише для пластичних матеріалів (залізо, відпалена сталь, графітізовані чавуни, кольорові метали і сплави) Зразок матеріалу повинен мати паралельні поверхні (ту, що випробовується і опорну), без окалини, іржи або інших нерівностей. При необхідності, вказані

поверхні зачищають наждачним папером, шліфувальним кругом або напилком. При цьому зразок не повинен нагріватися вище за 150 °С.

За таблицею 1 обирають діаметр шарика  $D$ , навантаження  $P$ , час витримки  $t$ .

Шарик, що обраний за таблицею, закріплюють у тримачі **1** (рис. 1) і встановлюють необхідне навантаження на приборі. Навантаження утворюється вагою важільної системи **13**, підвіски **11**, змінними вантажами **12**. В залежності від форми випробуваного зразка підбирають опорний столик **6**. Твердість плоских зразків виміряють на плоскому столі, циліндричних – на призматичному. Після цього відповідним пересуванням рухомої чашки **8** по відношенню до шкали, що розташована на станині прибору, встановлюють час витримки зразка під навантаженням. Чашку **8** у потрібному положенні закріплюють гвинтом **9**.

Зразок матеріалу **5** встановлюють на столике **6** так, щоб центр відбитку розташовувався від краю зразка на відстані не менш як 2,5 діаметру, а від центра сусіднього відбитку – не менш ніж 2 діаметри відбитку. Потім підводять зразок до шарика, для чого обертають маховик **10** до упору зразка в обмежувачі **4**, або до стиску пружиною **20**. При цьому при між конусною частиною втулки шпинделя **21** і гніздом станини прибор утворює зазор, що виключає тертя втулки о станину в процесі вдавлювання шарика в зразок. Натисканням кнопки **7** включається електродвигун **17**, який через черв'ячний редуктор **18**, кривошипний вал **16** і шатун **15** відводить вниз ролик **14**. Внаслідок цього дія навантаження  $P$  через систему важелів **13**, шпиндель **21** надається шариковому наконечнику **22**. Цей момент фіксується загорянням лампочки **1**. Після відповідної витримки зразку під дією навантаження  $P$  обертання мотора автоматичне переключається назад: ролик **14** пересувається догори, повертаючи важіль **13** в попереднє положення, мотор автоматично виключається і лампочка **1** гасне.

Для визначення НВ за діаметрами відбитків слід користуватися спеціальною таблицею (табл.2). Максимальна твердість матеріалів НВ 450. Випробування більш твердих металів покличе деформацію шарика, твердість якого складає НВ 650.

Випробування на твердість одного і того ж зразку виконується два жди. При повторному випробуванні центр відбитку (рис.2) повинен розташовуватись від центру попереднього відбитку на відстані не менш двох діаметрів шарика.

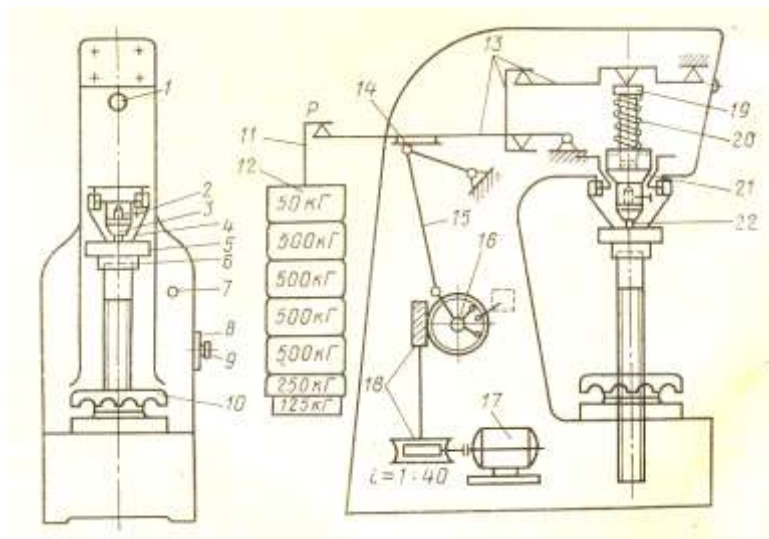


Рис. 1 Схема устройства твердомера ТШ (прибор Бринелля)

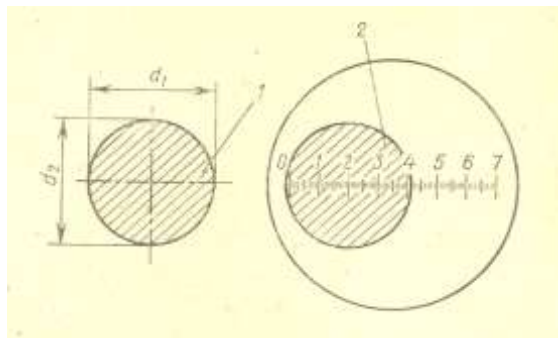


Рис 2- Вимірювання відбитку

1 – отриманий відбиток на поверхні зразку;

2 – положення відбитку у полі зору лупи при вимірюванні діаметрів  $d_1$  та  $d_2$

### Вибір діаметру шарика і навантаження.

Шарики різного діаметру ( $D=10; 5$  та  $2,5$  мм) застосовують в залежності від товщини матеріалу, що випробується, таким чином, щоб він був менший або рівний товщині зразку, або його поперечному розміру для високих та вузьких деталей. Навантаження визначають за формулою  $P=AD^2$  ( $D$  в мм,  $P$  в кг). Коефіцієнт навантаження  $A$  обирають з трьох стандартних значень (30; 10; 2,5) в залежності від очікуваної твердості вимірюваного зразку.

Для чорних металів (залізо, сталь, чавун) використовують коефіцієнти 30 або 10, для кольорових металів (мідь, алюміній, нікель, свинець) 10 або 2,5. Для чистих і легкоплавких матеріалів за звичай обирають менше значення  $A$ , а для сплавів – більше.

Таблиця 1

Матеріал	Границі вимірювання у одиницях твердості за Брінеллем	Мінімальна товщина випробуван. матеріалу	Співвіднош. між навантаж. Р і діам. шарика D	Діаметр шарика, D, мм	Навантаження Р, Н	Витримка під навантаженням, с
Чорні метали	1400-4500	6 – 3	$P=300 D^2$	10,0	30000	10
		4 – 2		5,0	7500	
		$\leq 2$		2,5	1875	
	$\leq 1400$	$\geq 6$	$P=100 D^2$	10,0	10000	10
	6 - 3	5,0		2500		
		$\leq 3$	2,5	625		
Кольорові метали	$\geq 1300$	6 – 3	$P=300 D^2$	10,0	30000	30
		4 – 2		5,0	7500	
		$\leq 2$		2,5	1875	
	350-1300	9 – 3	$P=100 D^2$	10,0	10000	30
6 – 3		5,0		2500		
$\leq 3$		2,5		625		
80-350	$\geq 6$	$P=25 D^2$	10,0	2500	60	
	6 - 3		5,0	625		
	$\leq 3$		2,5	156		

Відношення навантаження  $F$ ,  $H$  до поверхні отриманого відбитку (шарового сегменту)  $A$ ,  $\text{мм}^2$ , дає число твердості, що позначається  $HB$ :

$HB = F/A$ , де  $A$  - поверхня шарового сегменту  $A = \pi Dh$ , де  $D$  – діаметр індентора,  $\text{мм}$ ;

$h$  – глибина відбитку. Глибина відбитку виражається через розміри діаметрів відбитків, що заміряють за допомогою лупи. Остаточна формула для визначення твердості за Брінеллем має вигляд:

$$HB = 2 F / \pi D (D - \sqrt{D^2 - d}).$$

Залежність числа твердості за Брінеллем від діаметру відбитку і навантаженні наведені у табл.2.

3.3. Визначення твердості за Роквеллом. Випробування на твердість за Роквеллом виконують втисненням в деталь алмазного конусу з кутом  $120^\circ$ , або

сталевого загартованого шарика, діаметром 1,588 мм. Шарик і конус втискають у зразок під дією двох навантажень, які прикладають послідовно: попереднє навантаження  $P_0$  і основне  $P_1$ . (рис. 3). Число твердості за Роквеллом виражається в умовних одиницях, в залежності від шкали.

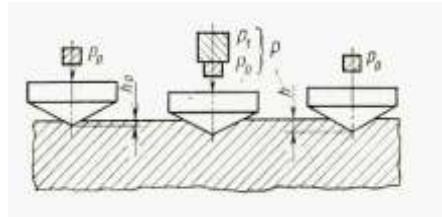


Рис. 3 Схема визначення твердості. Занурення алмазного конусу (за Роквеллом)

Випробування по Роквеллу має широке застосування, т.я можливо проведення випробувань для м'яких, твердих і тонких матеріалів. Відбитки від конусу або шарика досить малі, тому випробування можуть проводитись на готових виробах. Значення твердості за Роквеллом можуть бути переведеними у одиниці твердості за Брінеллем (МПА)

Таблиця 2 - Визначення твердості за Брінеллем.

Діаметр отпечатка $d_{100}$ , или $2d_{30}$ , или $4d_{2,5}$ , мм	Число твердості <i>НВ</i> при нарузке <i>P</i> , Н			Діаметр отпечатка $d_{100}$ , или $2d_{30}$ , или $4d_{2,5}$ , мм	Число твердості <i>НВ</i> при нарузке <i>P</i> , Н		
	300D*	100D*	25D*		300D*	100D*	25D*
2,90	4440	—	—	4,50	1790	595	149
2,95	4290	—	—	4,55	1740	581	145
3,00	4150	—	346	4,60	1700	568	142
3,05	4010	—	334	4,65	1670	555	139
3,10	3880	1290	323	4,70	1630	543	136
3,15	3750	1250	313	4,75	1590	530	133
3,20	3630	1210	303	4,80	1560	519	130
3,25	3520	1170	293	4,85	1520	507	127
3,30	3410	1140	284	4,90	1490	496	124
3,35	3310	1100	276	4,95	1460	486	122
3,40	3210	1070	267	5,00	1430	475	119
3,45	3110	1040	259	5,05	1400	465	116
3,50	3020	1010	252	5,10	1370	455	114
3,55	2930	977	245	5,15	1340	446	112
3,60	2850	950	237	5,20	1310	437	109
3,65	2770	923	231	5,25	1280	428	107
3,70	2690	897	224	5,30	1260	419	105
3,75	2620	872	218	5,35	1230	410	103
3,80	2550	849	212	5,40	1210	402	101
3,85	2480	826	207	5,45	1180	394	98,6
3,90	2410	804	201	5,50	1160	386	96,6
3,95	2350	783	196	5,55	1140	379	94,6
4,00	2290	763	191	5,60	1110	371	92,7
4,05	2230	743	186	5,65	1090	364	91,0
4,10	2170	724	181	5,70	1070	357	89,3
4,15	2120	706	176	5,75	1050	350	87,6
4,20	2070	688	172	5,80	1030	343	85,9
4,25	2010	671	168	5,85	1010	337	84,3
4,30	1970	655	164	5,90	992	331	82,6
4,35	1920	639	160	5,95	973	324	81,1
4,40	1870	624	156	6,00	955	318	79,6
4,45	1830	609	152				



### **Примітка:**

Розмірність твердості наведена в МПА. Діаметри відбитків дані для шариків діаметру 10 мм. Для визначення за таблицею твердості при випробуванні шариком 5 мм – діаметр відбитку множать на 2, а при випробуванні шариком 2,5 мм – на 4.

### **4. Хід роботи**

4.1 За вказаною в п. 3.2 послідовністю провести випробування зразків чорних і кольорових матеріалів за методом Брінелля. Дані випробувань звести до таблиці.

### **5 Висновки**

### **6 Контрольні питання**

6.1 Для яких за очікуваній твердості матеріалів використовують випробування за Брінеллем? Роквеллом

6.2 Що характеризує твердість матеріалів?

### **Література:**

Попович В.В., Попович В.В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: Підручник. - Львів:Світ, 2006, с.103-107

## **Інструкція для виконання лабораторної роботи №3**

Тема: **Діаграма стану залізо - вуглець**

### **1 Мета:**

1.1 Вивчити діаграму стану залізо – вуглець

1.2 Ознайомитись з побудовою кривих охолодження окремих сплавів системи залізо – вуглець.

2 Матеріально-технічне та навчально-методичне забезпечення

2.1 Діаграма стану залізо-цементит

2.2 Приклади кривих охолодження сплавів систем типу залізо-вуглець

### **3 Теоретичні відомості**

#### **3.1 Компоненти і фази в сплавах заліза з вуглецем**

Залізо - метал сіруватого кольору. Температура плавлення - 1539 °С. Залізо має дві поліморфні модифікації  $\alpha$ ,  $\gamma$  і  $\delta$ . Модифікація  $\alpha$  існує при температурах нижче за 911 °С. Кристалічна решітка  $\alpha$  –заліза - об'ємно центрований куб (ОЦК) з періодом ґрат 0,28606 нм. Щільність  $\alpha$  –заліза 7,68 Мг/м<sup>3</sup>. Друга модифікація  $\gamma$  -залізо (Fe  $\gamma$ ;) існує при температурі 911 - 1392 °С. Кристалічна решітка - гранецентрована кубічна (ГЦК) з періодом 0,3645

нм. У інтервалі 1392 - 1539 °С існує  $\delta$ -залізо з кристалічною решіткою об'ємно центрованого куба (ОЦК) з періодом грат 0,293 нм.

Вуглець - неметалічний елемент II періоду IV групи періодичної системи, атомний номер 6, щільність 2,5 Мг/м<sup>3</sup>, температура плавлення 3500 °С, атомний радіус 0,077 нм. У звичайних умовах вуглець знаходиться у вигляді модифікації графіту, але може існувати у вигляді алмазу.

У системі залізо - вуглець розрізняють наступні фази: рідкий розплав, тверді розчини –  $\alpha$ -феррит,  $\delta$ -феррит і аустеніт, а також цементит і графіт.

Ферит (Ф) - твердий розчин вуглецю і інших домішок в ОЦК-залізі. Атом вуглецю розташовується в гратках фериту в центрі грані куба, де поміщається сфера радіусом 0,031 нм, а також в дефектах кристалічної решітки. Гранична розчинність вуглецю в  $\alpha$ -ферриті 0,02% при температурі 727 °С і менше 0,01% при кімнатній температурі, розчинність в  $\delta$ -ферриті - 0,1 %. Під мікроскопом ферит виявляється у вигляді однорідних поліедрічних (багатогранних) зерен. Твердість і міцність фериту невисокі ( $\sigma_{\text{в}}=250$  Мпа, НВ =800 Мпа).

Аустеніт (А) - твердий розчин вуглецю і інших домішок у  $\gamma$ -залізі. Гранична розчинність вуглецю у  $\gamma$ -залізі - 2,14 % при температурі 1147°С і 0,8% при 727 °С . Атом вуглецю розташовується в центрі куба, в якому може розміститися сфера радіусом 0,051 нм, і в дефектних областях кристала.

Цементит (Ц) - хімічна сполука заліза з вуглецем - карбід заліза Fe<sub>3</sub>C, що містить 6,67% С. Цементит має складні ромбічні грати з щільною упаковкою атомів. Температура плавлення цементиту точно не визначена (біля 1260°С). До характерних особливостей цементиту відносяться висока твердість (НВ 8000 Мпа) і дуже мала пластичність ( $\delta$  близько 0%).

Графіт (Гр) має гексагональну шарувату кристалічну решітку. Міжатомні відстані в шарах невеликі (0,142 нм), відстань між площинами - 0,340 нм. Графіт м'який, має низькою міцністю.

### **3.2 Діаграма стану залізо-вуглець**

Наявність двох високо вуглецевих фаз (графіту і цементиту) призводить до появи двох діаграм стану: метастабільною - залізо-цементит і стабільною - залізогографіт. Вільна енергія цементита завжди більша, ніж вільна енергія графіту. Кристалічні структури цементиту і аустеніту близькі, тоді як кристалічні структури аустеніту і графіту істотно різні. По складу аустеніт і цементит ближче один до одного і складу рідкої фази, чим аустеніт і графіт (аустеніт містить до 2,14 %С, цементит - 6,67 %С, рідка фаза - від 2,14 до 6,67 %С, графіт - 100 %С. Тому утворення цементиту з рідини або з аустеніту відбувається легше, робота утворення зародка, як і необхідні дифузійні

зміни, менше у разі кристалізації цементиту, чим при кристалізації графіту, не дивлячись на менший виграш вільної енергії.

Діаграма стану залізо-цементит приведена на мал. 1.

Лінії діаграми: ABCBD (лінія ліквідус - місце крапок почала кристалізації) і ANJECF (лінія солідус - місце точок кінця кристалізації) характеризують початок і кінець первинної кристалізації, яка проходить при твердінні рідкої фази. Лінії ES і PQ показують граничну розчинність вуглецю відповідно в аустеніті і фериті. При пониженні температури розчинність зменшується і надлишок вуглецю виділяється у вигляді цементиту. Цементит, що виділяється з рідкого сплаву, прийнято називати первинним, з аустеніту - вторинним, з фериту - третинним.

Три горизонтальні лінії HJE, ECF і PSK вказують на протікання трьох перетворень при постійній температурі. При 1499 °С (горизонталь HJB) відбувається перітектична реакція  $L_B + \Phi_H \rightarrow A_J$ . В результаті реакції утворюється аустеніт.

При 1147 °С (горизонталь ECF) протікає евтектична реакція  $L_c \rightarrow A_E + \text{Ц}$  (рідина, склад якої відповідає крапці З, перетворюється на евтектичну суміш аустеніту, склад якого відповідає точці Е, і цементиту, яку називають ледебуритом).

При 727 °С (горизонталь Psk) протікає евтектоїдна реакція  $A \rightarrow \Phi_r + \text{Ц}$  (на відміну від евтектики, що утворюється з рідини, евтектоїд виникає з твердих фаз). Продукт перетворення - евтектоїдна суміш фериту і цементиту, звана перлітом. Перліт частіше має пластинчасту будову, тобто складається з пластинок фериту і цементиту, що чергуються. Після спеціальної термічної обробки перліт може мати зернисту будову.

Однофазні області діаграми Fe – Fe<sub>3</sub>C: рідкий розплав (L) - вище за лінію ABCD, ферит (Ф) - області ANH і GPQ, аустеніт (A) – область JESGN.

Двофазні області діаграми: ANB - в рівновазі знаходиться рідкий розплав і кристали

$\delta$  - фериту, NHJ - в рівновазі кристали  $\delta$  - фериту і аустеніту, JECB - в рівновазі рідкий розплав і кристали аустеніту, CDF - в рівновазі рідкий розплав і кристали цементиту, SECFK - в рівновазі кристали аустеніту і цементиту, GSP - в рівновазі кристали аустеніту і  $\alpha$ -ферита, QPSKL - в рівновазі кристали  $\alpha$  - фериту і цементита.

Сплави заліза з вуглецем, що містять до 0,02% С, називають технічним залізом.

Сплави заліза з вуглецем при змісті вуглецю від 0,02 до 2,14% носять назву сталей (від 0,02 до 0,8% - доевтектоїдні сталі, від 0,8 до 2,14 % - заевтектоїдні сталі).

Сплави заліза з вуглецем, що містять від 2,14 до 6,67 % С називаються чавунами

(від 2,14 до 4,3 % С - доєвтектичні, від 4,3 до 6,67 %С - заєвтектичні чавуни).

#### **4 Хід роботи:**

4.1 Уважно розглянути діаграму Fe - Fe<sub>3</sub>C (у масштабі) і перенести її собі у звіт (ксерокопію)

#### **5 Висновки**

#### **6 Контрольні питання:**

6.1 Загальна характеристика діаграми Fe - Fe<sub>3</sub> C..

6.2 Назвіть області діаграми (однофазні і двофазні).

6.3 Назвіть фази в діаграмі і охарактеризуйте кожен з них.

#### **Література**

1 Лахтин Ю.М., Леонтьева Б.П. Материаловедение.- М.: Машиностроение, 1990.- с.45-65

2 Самохоцкий А.И., Кунявский М.Н., Лабораторные работы по металловедению и термической обработке металлов. Учеб. пособие для машиностроительных техникумов. – М.: Машиностроение, 1981

### **Інструкція для виконання лабораторної роботи № 4**

#### **Тема: Нормалізація, гартування і відпускання вуглецевих сталей**

##### **1 Мета роботи**

1.1 Вивчити вплив термічної обробки на механічні властивості сталей.

1.2 Придбання навиків проведення операцій термічної обробки: нормалізації, гартування і відпускання вуглецевих сталей.

##### **2 Матеріально-технічне та навчально-методичне забезпечення**

2.1 Діаграма стану системи залізо-цементит

2.2 Криві залежності механічних характеристик сплавів в відносно температур охолодження при відпусканні

##### **3 Теоретичні відомості:**

3.1 Види та призначення термообробки

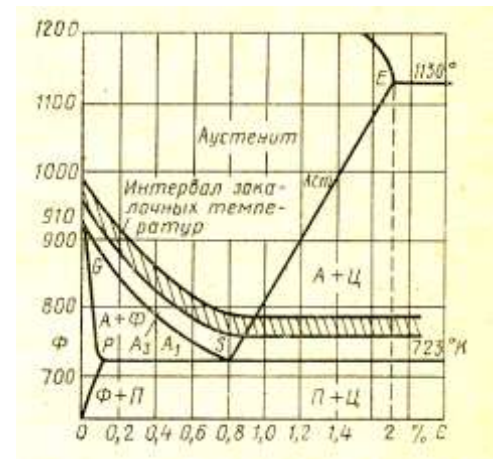
Термічна обробка полягає в нагріві деталі до певних температур, витримці при цій температурі і охолодженні з тією або іншою швидкістю. При цьому відбувається зміна структури, а отже, механічні і технологічні властивості оброблюваної деталі.

При нагріванні і охолодженні в залізобуглецевих сплавах відбуваються перетворення при певних температурах званих критичними точками. При нагріванні їх прийнято умовно позначати  $A_{C1}$ ,  $A_{C3}$ ,  $A_{cm}$ ; при охолодженні -

$Ar_1$ ,  $Ar_3$ ,  $Arm$  (Мал. 1). Перетворення в сталях при нагріванні носять характер кристалізації, тобто при цьому відбувається утворення центрів зародків і послідовне їх зростання. Початкова структура всіх сталей є сумішшю двох фаз фериту і цементиту.

При повільному нагріванні до температури  $A_{c1}$  ( $723^{\circ}C$ ) ніяких перетворень в сталі не відбувається.

Досягши критичної точки  $A_{c3}$  перліт переходить в аустеніт. При подальшому нагріві в доевтектоїдних сталях відбувається поступове розчинення фериту в аустеніті. При подальшому нагріві в доевтектоїдних сталях відбувається поступове розчинення фериту в аустеніті. При температурі вище за лінію GSE сталі матимуть однорідну структуру аустеніт.



При повільному охолодженні евтектоїдної сталі аустеніт перетворюється на перліт (суміш фериту і цементіта). Перетворення аустеніту в перліт відбувається дифузійно; вуглець, виділяючись з аустеніту, утворює зародки цементових включень, число яких і послідовне зростання залежать від ступеня переохолодження.

Регулюючи ступінь охолодження аустеніту, можна отримати наступні продукти його розпаду:

перліт – грубозернисту суміш фериту і цементиту;

троостит – дрібнозернисту (високо дисперсну) суміш (Рис.1) фериту і цементиту. При великих ступенях переохолодження аустеніту дифузійний перерозподіл вуглецю практично припиняється і утворення цементиту стає неможливим. Утворюється структура мартенсит, яка є перенасиченим твердим розчином вуглецю в  $Fe\alpha$ .

Найменша швидкість охолодження, при якій аустеніт перетворюється на мартенсит, називається критичною швидкістю гарту. Мартенсит має голчасту будову і високу твердість

(НВ 500...650). Мартенситне перетворення відбувається в інтервалі температур  $M_n$ - $M_k$  (де  $M_n$  - початок мартенситних перетворень;  $M_k$  - кінець мартенситних перетворень), які визначаються вмістом вуглецю в сталі.

Види термічної обробки сталі.

- 1) відпал першого роду або рекристалізація;
- 2) відпал другого роду;
- 3) нормалізація;

- 4) гартування;
- 5) відпускання.

Відпал першого роду (відпал рекристалізації) - нагріваючи деталі до температури нижче за фазові перетворення, витримка при цій температурі і повільне охолодження. Такий вид відпалу застосовують для зняття внутрішньої напруги у деталей, отриманих методом холодної деформації (холодне плющення, холодне штампування, волочіння і ін.), а також для знищення нагартування (наклепу) металу. Температура відпалу рекристалізації будь-якого металу повинна бути вище за температуру рекристалізації даного металу. Температура відпалу рекристалізації для різних металів і сплавів різна. Наприклад, для сталі температура відпалу рекристалізації на 150-2500 З вище за температуру рекристалізації, зазвичай 680-700<sup>0</sup> С. Рекристалізація полягає в тому, що, починаючи з деякої температури при нагріванні, відбувається інтенсивне переміщення атомів в металі, що спричиняє за собою зміну форми і величини деформованих кристалічних зерен. При цьому відбуваються перетворення, подібні до тих, що відбуваються при первинній кристалізації і вторинній перекристалізації (зароджуються нові центри кристалів і одночасно відбувається їх зростання). Замість витягнутих, розплющених зерен утворюються дрібні, сфероїдальні зерна; металу повертаються початкові властивості, тобто знижена твердість, підвищується пластичність.

Відпал другого роду (відпал з фазовими перетвореннями) - нагріваючи деталі до температури декілька вище критичною, витримка при цій температурі і повільне охолодження разом з піччю. Мета відпалу - вирівняти хімічний склад деталі, отримати дрібнозернисту рівноважну структуру, зняти внутрішню напругу, підвищити пластичність і знизити твердість, поліпшити умови обробки різанням. Відпал другого роду підрозділяється на повний, неповний, ізотермічний, ступінчастий і дифузійний. Повний відпал проводять шляхом нагріву сталі на 30...50<sup>0</sup> С, вище за критичну температуру Ас<sub>3</sub>, витримки при цій температурі і повільному охолодженні. Повному відпалу піддаються гаряче деформовані сталі (поковки, штампування, прокат, а також злитки і фасонні відливання з вуглецевої і легованої сталі). Неповний відпал проводять шляхом нагріву деталі до температури вище за критичну крапку Ас<sub>1</sub> на 30 ..50<sup>0</sup> С, витримки при цій температурі і подальшого повільного охолодження. Неповний відпал необхідний для перекристалізації перліту, зняття внутрішньої напруги, поліпшення оброблюваної різанням. Застосовується для заєвтектоїдних сталей.

Нормалізація відрізняється від відпалу підвищеною швидкістю охолодження (на стійкому або рухомому повітрі). Процес нормалізації полягає в нагріві стали вищими за критичні температури  $A_{с3}$ ,  $A_{ст}$  на  $30 \dots 50^0 \text{ C}$ , витримці при цій температурі і охолодженні на повітрі. Нормалізацією досягають подрібнення і однорідності структури, усунення внутрішньої напруги і знищення сітки вторинного цементиту в заевтектоїдних сталях. Нормалізації піддають фасонні відливання, поковки, штампування і прокатні матеріали.

Нормалізація є проміжним процесом термічної обробки між відпалом і гарттом. Залежно від хімічного складу стали нормалізацію застосовують іноді замість відпалу або гартування.

Гартування - це процес, який полягає в нагріві стали вищими за критичні температури  $A_{с3}$ ,  $A_{с1}$  на  $30 \dots 50^0 \text{ C}$ , витримці при цій температурі і подальшому швидкому охолодженню у воді, маслі або інших охолоджуючих середовищах. Основна мета гарту - отримання високої твердості і міцності. Різке збільшення твердості і міцності в процесі гарту відбувається за рахунок зміни структури в процесі нагріву і охолодження, за рахунок утворення не рівноважних твердих структур - мартенситу, трооститу і сорбіту.

3.2 Вплив температур при гартуванні на структуру і властивості сталей.  
Види гартувань

Температура нагріву під гартування залежить від хімічного складу стали. Доевтектоїдну вуглецеву сталь нагрівають вище за критичну температуру  $A_{с3}$  на  $30 \dots 50^0 \text{ C}$ , а заевтектоїдну і евтектоїдну сталі нагрівають вище  $A_{с1}$  на  $30 \dots 50^0 \text{ C}$ . Температура під гартування доевтектоїдної сталі змінюється із зміною вмісту в сталі вуглецю, температура нагріву заевтектоїдних сталей постійна і рівна  $770 \dots 780^0 \text{ C}$ . Нагрівання деталей повинен бути повільним, щоб не виникли напруга і тріщини. Час нагріву залежить від хімічного складу стали, від форми розмірів деталі. Час витримки повинен бути достатнім, щоб увесь процес перетворення феррито-цементитої суміші в аустеніт повністю завершився. Тривалість витримки зазвичай 25% загального часу нагріву. Швидкість охолодження повинна бути такою, щоб забезпечити отримання потрібної структури - мартенситу, трооститу або сорбіту, тобто забезпечити необхідні механічні властивості оброблюваної деталі.

Для успішного проведення термічної обробки правильний вибір гартівного середовища має велике значення. Гартування середньо вуглецевих сталей проводять у воді при температурі  $18^0 \text{ C}$ , а більшості решти сталей в

маслі. Об'ємне гартування залежно від способу охолодження розділяється на наступні види: гартування в одному охолоджувачі вуглецевих сталей (охолодження у воді) і легованих сталей (охолодження в маслі) полягає в тому, що нагріту до температури гартування деталь занурюють в гартівне середовище і тримають до її повного охолодження. Недолік цього способу - виникнення великої термічної напруги із-за різкої різниці температур нагрітого металу і охолоджуючого середовища.

Ступінчасте гартування проводиться шляхом швидкого охолодження послідовно в двох різних охолоджуючих середовищах. Першим охолоджуючим середовищем служать розплавлені солі або масло з температурою на  $20 \dots 30^{\circ} \text{C}$ - вище за точку початку мартенситного перетворення  $M_H$  для даної сталі. У гарячому середовищі деталям дають короткочасну витримку, мета якої - вирівнювання температур по перетину деталі. Структура металу - аустеніт. Другим охолоджуючим середовищем є повітря; при цьому аустеніт переходить в мартенсит. Гідність такого методу гарту - зменшення термічної напруги, а отже, неможливість появи тріщин, повідці і викривлення, а також хороше поєднання високій в'язкості з міцністю. Ступінчастий гарт застосовують для дрібних деталей з вуглецевої сталі з перетином 8-10 мм і для деталей з леговою сталі з перетином до 30 мм..

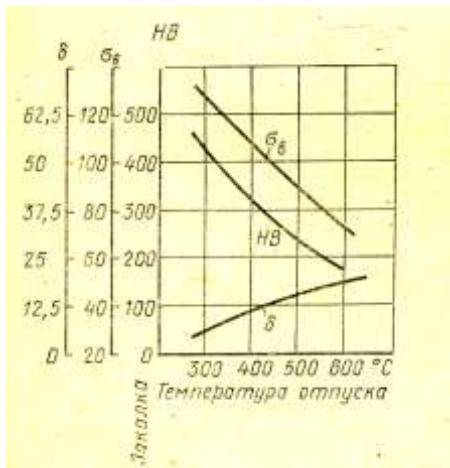
Ізотермічне гартування, так само як і ступінчасте гартування, проводиться в двох охолоджуючих середовищах. Температура гарячого середовища (соляні, селітрові і лужні ванни) залежить від хімічного складу сталі. Час витримки повинен бути достатнім для повного перетворення аустеніту на голчатий троостит. Остаточне охолодження до кімнатної температури проводиться на повітрі. Ізотермічне гартування широко застосовують для деталей з високолегованих сталей. Після ізотермічного гартування сталь набуває високих властивостей міцності. При охолодженні в процесі гартування в сталі виникає термічна і структурна внутрішня напруга. Термічна напруга виникає в результаті нерівномірного охолодження, а структурні - при перетворенні аустеніту на мартенсит, що супроводжується значним збільшенням об'єму. В результаті створення такої напруги при гартуванні може виникнути брак - викривлення, тріщини і зміна об'єму.

Поверхнєве гартування застосовується для додання відповідальним деталям (валам, зубчатим колесам і ін.), що працюють на тертя і одночасно піддаються дії ударних навантажень, твердості поверхнього шару, високого опору зношуванню і в'язкості серцевини, що забезпечує опір удару. Залежно від способу нагріву деталей поверхнєве гартування розділяється на



індукційне (струмами високої частоти), контактне, газо полум'яне, гартування в електроліті. Індукційне гартування засноване на тому, що електричний струм високої частоти, проходячи по провідникові індуктору, створює навколо нього електричне поле. На поверхні деталі, поміщеної в цьому полі, індуються вихрові струми, викликаючи нагрів деталі до високих температур. Це забезпечує можливість протікання фазових перетворень, тобто перетворення феррито-цементитної суміші в аустеніт. Після охолодження поверхня деталі має структуру мартенситу.

Відпускання - це завершуюча операція термічної обробки, що формує структуру, а отже, і властивості сталі. Призначення відпускання - зняти внутрішню напругу, що виникла в процесі гартування, і отримати необхідну структуру. Процес відпускання полягає в нагріванні сталі до температури ближче  $A_{c1, 3}$ , витримці при цій температурі і охолодженні.



Залежно від температури нагріву загартованої деталі розрізняють три види відпускання: низьке, середнє і високе. Низьке відпускання проводиться при температурах 150 ... 250 °C з метою зменшення гартівного напруження (рис. 2) при збереженні мартенситної структури.

Твердість деталі після низької відпустки майже не змінюється. Низька відпустка застосовується для вуглецевих і легованих сталей, для яких необхідні висока твердість і зносостійкість. Середня відпустка проводиться при температурах нагріву 350 ... 500° C і застосовується для пружинних і ресорних сталей, а також для сталей, штампів, що йдуть на виготовлення. Висока відпустка проводиться при температурах нагріву 500 ... 650° C і застосовується для конструкційних сталей. Окрім температури нагріву при відпустці вельми важливий час витримки, швидкість же охолодження в більшості випадків значення не має (рис.2)

#### 4 Хід роботи

4.1 Призначити режими обробки нормалізації, гартування і відпускання для вказаних марок вуглецевих сталей (Див. Додаток 1)

4.2 Охарактеризувати структури, які отримують задані марки сталі після кожного виду термічної обробки, з вказівкою їх на діаграмі сплавів залізо - цементит.

## 5 Висновки

### 6 Контрольні питання

- 6.1 Призначення термічної обробки матеріалів
- 6.2 Які перетворення в структурі сталі відбуваються при нагріванні за критичну точку ?
- 6.3 Які перетворення в структурі сталі відбуваються при повільному охолодженні сталі?
- 6.4 Дати характеристику структурі мартенсит.
- 6.5 Який вид термічної обробки сталі застосовують для деталей, що отримують методом холодної деформації?
- 6.6 Яка різниця між відпалом першого та другого роду?
- 6.7 Позитивні перетворення в структурі сталі, що досягають завдяки нормалізації.
- 6.8 Основна мета загартування. Види охолоджуючих середовищ при загартуванні
- 6.9 Призначення відпускання. Фактори, які впливають на процес відпускання.

### Література

- 1 Технологія металів і конструкційні матеріали: Учебник для машиностроительных техникумов/Б.А. Кузьмин, Ю.Е. Абраменко, М.А. Кудрявцев и др..-2-е изд.-М.: Машиностроение, 1989.- с.92-123
- 2 Руководство по проведению лабораторных работ по технологии металлов и конструкционным материалам (для средних специальных учебных заведений)/Б.И. Грассе.-М.: Высш. Шк., 1984. с.21-26

## Інструкція для виконання лабораторної роботи № 5

### Тема: Вивчення мікроструктур легованих сталей

#### 1 Мета роботи

1.1 Вивчити мікроструктури конструкційних легованих (інструментальних) сталей після різних видів термічної обробки .

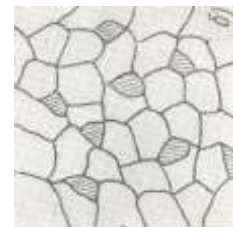
1.2 Встановити зв'язок між структурами і термічною обробкою.

2 Матеріально-технічне та навчально-методичне забезпечення

2.1 Схеми мікроструктур інструментальних сталей

#### 3 Теоретичні відомості

3.1 Мікроструктура низько- і середньо вуглецевих легованих сталей (які цементують). (Рис.1)



Низьковуглецеві низьколеговані конструкційні 09Г 2, 10Г2С1, 15Г, 20Х, 18ХГТ, 20Х2Н4А сталі використовують і для відповідальних зварювальних конструкцій, а також деталей машин, що зміцнюються цементацією. Низьковуглецеві сталі у відпаленому стані мають структуру ферит + перліт (див. рис. 1)

Середньо вуглецеві леговані, наприклад 40Х, 40ХГ, 40ХГР, 30ХГСА, 45ХН, 40ХНМА. Застосовують після нормалізації, покращення і поверхневої загартування для різних деталей. У порівнянні з низько вуглецевими сталями, середньо вуглецеві мають більш високу міцність при більш низькій пластичності ( $\sigma_B = 500 \div 610$  МПа,  $\sigma_{0,2} = 300 \div 360$  МПа,  $\delta = 21 \div 16\%$ ). Після відпалу добре оброблюються різанням.

Мікроструктура легованої середньо вуглецевої сталі 30ХГСА (0,28-0,34 % С; 0,8-1,1% Мп, 0,8-1,1 % Сr, 0,9-1,2% Si) після відпалу: ферит + перліт (рис.2) і після покращення – загартування і високого відпускання – сорбіт (рис.3.)



Рисунок 2 - Сталь 30ХГСА  
Відпал – ферит + перліт

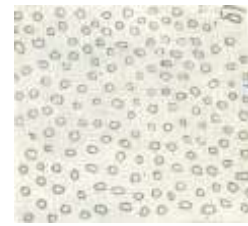


Рисунок3 - Сталь 30ХГСА  
Загартування і високе відпускання - сорбіт

### 3.2 Мікроструктура ресорно-пружинних сталей

Для пружин і ресор застосовують вуглецеві сталі 65, 75, 85 з підвищеним вмістом марганцю (0,5 – 0,8 %) і значно частіше леговані сталі, наприклад 65Г, 60С2, 50ХГ, 50ХФА, 60С2ХФА, 60С2Н2А. Для отримання найбільш високого значення границі пружності пружини і ресори піддають загартуванню з температурою 800-850<sup>0</sup>С (в залежності від марки сталі) для отримання структури троостит.

Сталь 60С2 в стані постачання (рис. 4) і має структуру ферит+перліт, і після загартування – троостит.



Рисунок 4 - Мікроструктура  
Сталь 60С2:



- а) стан постачання – ферит + перліт;
- б) загартування і середнє відпускання – троостит.

### 3.3 Призначення інструментальних сталей

Інструментальними називають вуглецеві і леговані сталі, які мають високу твердість

(HRC 60-65), міцність і зносостійкість і застосовуються для виготовлення різноманітного інструменту. За звичай, ще заевтектоїдні чи ледебуритні сталі, структура яких після загартування і низького відпускання – мартенсит і надмірні карбіди.

Однієї із головних характеристик інструментальних сталей є теплостійкість (червоноламкість), тобто здатність зберігати високу твердість при нагріванні.

Всі інструментальні сталі підрозділяються на три групи:

- такі, що не мають теплостійкість (вуглецеві і леговані сталі, які містять 3-4% легуючих елементів);
- напівтеплостійкі до 400-500<sup>0</sup>С (які містять 0,6-0,7 %С і 4-18 % Cr;
- теплостійкі до 550-650<sup>0</sup>С (високолеговані сталі, які містять Cr, W, V, Mo, Co, ледебуритного класу), що називають швидко ріжучими.

Другою важливою характеристикою інструментальних сталей є прожарюваність. Високолеговані теплостійкі і напівтеплостійкі сталі мають високу прожарюваність.

### 3.4 Мікроструктура заевтектоїдних інструментальних сталей

Заевтектоїдні вуглецеві сталі від У9 до У13 і леговані, наприклад Х, ХВГ, 9ХС і ін., після відпалу мають структуру зернистого перліту (рис. 5), а після загартування в воді (вуглецевих сталей) і в маслі (легованих) – мартенсит + карбіди (Рис..6). Такі сталі застосовують для інструментів не великого розміру.

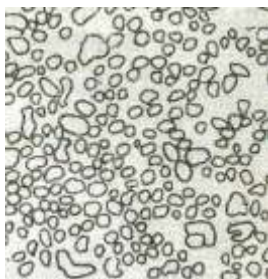


Рисунок 5 - Сталь У10  
Мікроструктура відпалу –  
зернистий перліт



Рисунок 6 - Сталь У10 Мікроструктура  
після загартування і низького  
відпускання – мартенсит + цементит

Такі сталі застосовують для ріжучого інструменту (фрези, зенкери, свердла, бритви, гострий хірургічний інструмент). Ці сталі можна використовувати в якості ріжучого інструмента тільки для різання матеріалів з малою швидкістю, так як їх висока твердість сильно знижується при нагріванні понад 190-200<sup>0</sup>С.

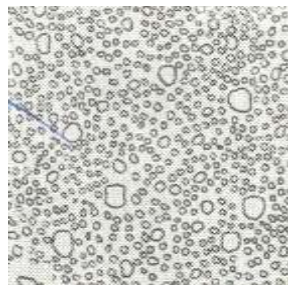
### 3.5 Мікроструктура швидко ріжучої сталі

Такі сталі мають високу теплостійкість, тобто здатність зберігати мартенситну структуру і високу твердість, міцність і зносостійкість при підвищених температурах, які виникають в ріжучій кромці при різанні з великою швидкістю. Ці сталі дозволяють значно підвищити швидкість різання (у 2-4 рази) і стійкість інструменту (у 10-30 разів) у порівнянні зі сталями, які не є теплостійкі. Основним легуючим елементом швидко ріжучої сталі, який забезпечує їх теплостійкість є вольфрам і його хімічний аналог – молибден. Сильно підвищує теплостійкість і твердість після термічної обробки кобальт і ванадій.

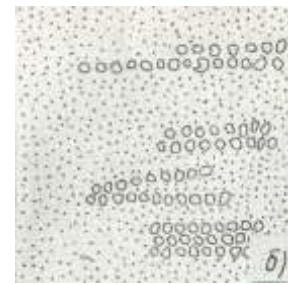
Найбільш характерними і поширеними легованими інструментальними сталями є швидко ріжучі сталі Р18, Р6М5 і ін. В литому стані структура швидко ріжучої сталі складається з ледебуритної евтектики і продуктів розпаду аустеніту (рис. 7,а).



а)



б)



в)

Рисунок 7- Сталь Р18. Мікроструктура: а) лиття; б) кування і відпал; в) карбідна неоднорідність.

Така структура характеризується крихкістю. Для руйнування ледебуритної евтектики литу швидко ріжучу сталі піддають обробці тиском (прокатці, куванню) і відпалу. Кування змінює будову швидко ріжучої сталі, так як евтектика розбивається на окремі відокремлені карбіди.

Мікроструктура кованої і відпаленої швидко ріжучої сталі складається з великих первинних карбідів, більш дрібних вторинних карбідів і сорбитоподібного перліту (рис.7, б)

В прокатаній або погано прокованій швидко ріжучій сталі карбіди розташовуються нерівномірно, у вигляді скупчень смуг (карбідна неоднорідність) (рис.7,в)

Мікроструктура швидко ріжучої сталі, яка загартована при оптимальній температурі, складається з мартенситу, карбідів, залишкового аустеніту. (Рис.. 8)

Мікроструктура швидко ріжучої сталі, яка загартована при температурах, нижчих за оптимальну (неп огрівання), характеризується більш дрібними зернами аустеніту, але більшою кількістю нерозчинних карбідів. (рис.9)



Рисунок 8 - Сталь Р18 Загартування  
Загартування  
(нормальне нагрівання)

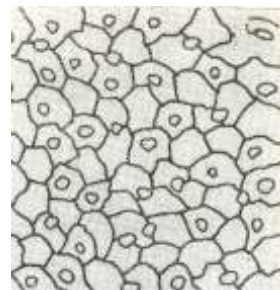
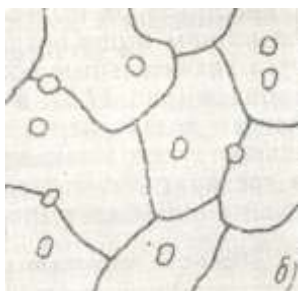


Рисунок 9 - Сталь Р18  
(недогрівання)

Мікроструктура швидко ріжучої загартованої при температурі вищій за оптимальну (перегрівання), характеризується значним ростом зерна, утворення сітки карбідів

(Рис.10,а), а іноді навіть і оплавленням і появою ледебуритної евтектики (Рис.10,б).



а)



б)



Рис.10. Сталь Р18 Мікроструктура після загартування: а) перегрівання;  
б) перепалювання; в) загартування і триразове відпускання.

Мікроструктура швидко ріжучої загартованою сталі після триразового відпускання при температурі 550-570<sup>0</sup>С складається з мартенситу і карбідів (Рис.10,в).

#### 4 Хід роботи:

4.1 Вивчити і замалювати мікроструктури інструментальних сталей в залежності від виду термічної обробки . Мікроструктури замальовувати в колах з діаметром 50мм, або у вигляді квадрата з розміром 50 x 50 мм. головне, на що треба звернути увагу при замальовані мікроструктур – характерні особливості, які постаратися передати на малюнку.

4.2 Протокол аналізу мікроструктур легованих сталей оформити у вигляді таблиці.

№ п/п	Найменування і марка сплаву	Хімічний склад сплаву, %	Мікроструктура		Властивості, застосування
			Малюнок	Найменування	

#### 5 Висновки

##### 6 Контрольні питання:

6.1 Призначення інструментальних сталей.

6.2 Класифікація інструментальних сталей.

6.3 Вплив легуючих елементів на властивості і застосування інструментальних сталей.

6.4 Розшифрувати марки сталі У8, У13А, ХВСГ, Р18К5Ф2, Р2АМ9К5.

6.5 Основний легуючий елемент швидко ріжучих сталей.

6.6 Структура швидко ріжучих сталей після термообробки.

6.7 Навіщо швидко ріжучі сталі для загартування нагрівають до високих температур, а після загартування робиться багаторазове відпускання?

##### Література

1 Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение: Учебник для высших технических учебных заведений.- 3-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1990, с.349-358.

2 Самохоцкий А. И., Кунявский М.Н. Лабораторные работы по металловедению и термической обработке металлов. Учеб. пособие для машиностроительных техникумов. – 3-е изд. – М.: Машиностроение, 1981., с 115-120.

## Інструкція для виконання лабораторної роботи № 6

### Тема: Вивчення мікроструктур сплавів кольорових металів

#### 1 Мета:

1.1 Вивчити мікроструктури алюмінієвих і мідних сплавів у литому, деформованому і термічно обробленому станах.

1.2 Встановити зв'язок між структурами і діаграмами стану цих сплавів.

#### 2 Матеріально-технічне та навчально-методичне забезпечення:

2.1 Схеми мікроструктур міді та її сплавів в залежності від стану термообробки

#### 3 Теоретичні відомості

##### 3.1 Мікроструктура міді

Мідь добре опирається корозії в звичайних атмосферних умовах, в прісній і морській воді і інших агресивних середовищах, але має не велику стійкість у сіркових газах і аміаку.

Мідь легко оброблюється тиском, але погано різанням і має не великі ливарні властивості. Мідь погано зварюється, але добре з'єднується пайкою. Її застосовують у вигляді листів, прутків, труб і проволочи.

Мікроструктура деформованої і відпаленої міді – зерниста, в наявності двійники. В структурі недостатньо добре розкисленої міді є закис міді  $\text{Cu}_2\text{O}$ , який утворює з міддю евтектику  $\text{Cu-Cu}_2\text{O}$ , яка розташовується на границях зерен міді і має краплисту будову, це надає їй крихкості

##### 3.2 Мікроструктура латуней

Латунями називають подвійні або багатоконпонентні сплави на основі міді, в яких легуючим елементом є цинк. Практичне застосування знаходять однофазні латуні з вмістом цинку до 39% ( $\alpha$ -латуні) і двофазні латуні з вмістом цинку від 39 до 45% ( $\alpha+\beta$  - латуні) Мікроструктура литої  $\alpha$ -латуні з вмістом 30% цинку (Рис.1) має дендритну будову. Світлі ділянки – дендрити, багаті на мідь, які перши твердіють із рідкого стану; темні ділянки – між дендритні простори, які збагачені цинком.

Мікроструктура деформованої і відпаленої  $\alpha$ -латуні має зернисту будову і характерні смуги двійників. (рис.2). Внаслідок різної орієнтації зерен, вони протравлюються з різною інтенсивністю, тому мають різний колір.

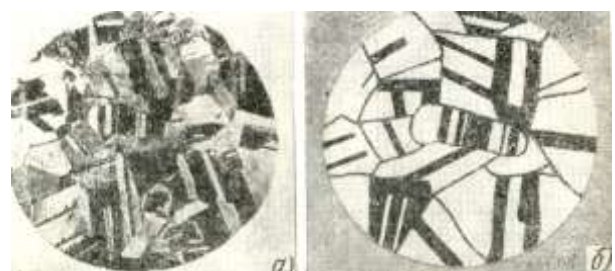
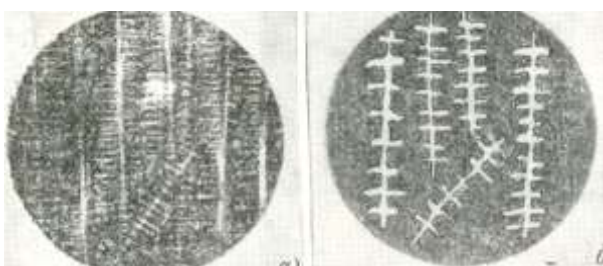




Рис.1. Лита  $\alpha$ -латунь з 30%Zn (Л70)  
латунь

а) мікроструктура (X250);  
б) схема мікроструктури.

Рис.2. Деформована і відпалена  $\alpha$ -

латунь  
а) мікроструктура (X100);  
б) схема мікроструктури.

Двофазні латуні легують Al, Fe, Ni, Sn, Mn, Pt.

Легуючі елементи збільшують міцність (твердість), але зменшують пластичність латуні.

Мікроструктура  $\alpha+\beta$ - латуней. Межа між однофазною  $\alpha$ -латуні і двофазною  $\alpha+\beta$ -латуні відповідає 39% цинку. Мікроструктура 40% Zn (Л63)

$\alpha+\beta$  – латуні з вмістом 40% цинку в литому стані надана на рис.3.

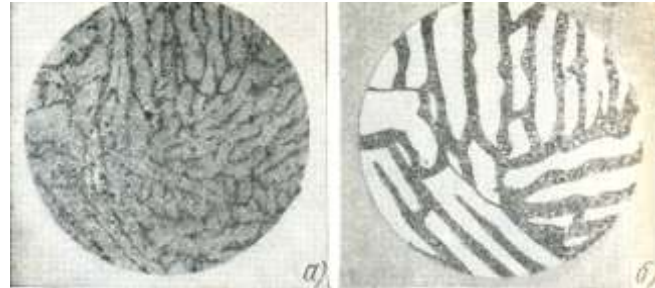


Рис.3. Лита  $\alpha+\beta$ - латунь з

а) мікроструктура (X15);  
б) схема мікроструктури.

### 3.3 Мікроструктура бронз

Мікроструктура олов'яної бронзи. При вмісті 6-7% Sn мікроструктура ливарної бронзи складається з неоднорідного твердого  $\alpha$ -розчину; будова – дендритна. Мікроструктура такої бронзи після відпалу представляє однорідні по складу зерна твердого  $\alpha$ -розчину (рис.4)

При вмісті Sn більше 6-7% але менше 14%, наприклад при 10% Sn, для рівноважних умов повинна бути структура твердого  $\alpha$ -розчину, а для звичайних умов відливання така бронза вже буде мати двофазну структуру – неоднорідний твердий  $\alpha$ -розчин і евтектоїд  $\alpha+\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$ . Мікроструктура такої бронзи (з вмістом 10% Sn) в литому стані наведена на рис5. На світлому фоні хімічної сполуки  $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$  є краплі включень твердого  $\alpha$ -розчину.



Рис..4 Деформована і відпалена олов'яна бронза з 6% Sn;  
а) мікроструктура (X250);

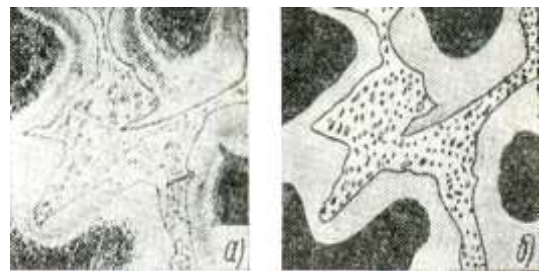


рис.5 Лита олов'яна бронза з 10% Sn а) мікроструктура (X1000)  
б) схема мікроструктури.

б) схема мікроструктури.

Мікроструктура алюмінієвої бронзи При вмісті до 9,8% Al утворюється  $\alpha$ -фаза (однорідна фаза).

Мікроструктура такої бронзи (наприклад, Бр.А5) з вмістом 5% Al після деформації і відпалу складається з зерен однорідного твердого розчину алюмінію в міді (рис.6.)



Рис.6. Алюмінієва бронза БрА5 після деформації і відпалу

При вмісті 10% Al і більше утворюється  $\alpha$ -фаза і евтектоїд  $\alpha+\gamma'$  (двофазна бронза). На рис.7 наведена мікроструктура такої бронзи в ливарному стані: білі ділянки -  $\alpha$ -фаза, темні -  $\alpha+\gamma'$ . Двофазні алюмінієві бронзи можуть піддавати загартуванню і відпусканню. Якщо таку бронзу нагріти до області існування  $\beta$ -фази і потім охолодити у воді, то утворюється голчаста структура, подібна на мартенсит. Мікроструктура загартованої алюмінієвої бронзи наведена на рис.8.

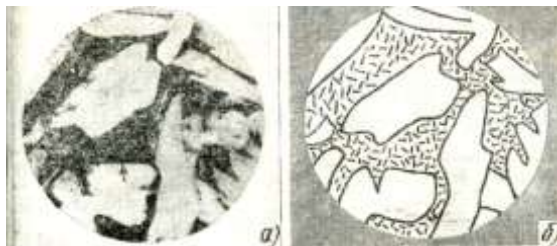


Рис.7. Лита алюмінієва бронза БрАЖН10-4-4  
а) мікроструктура (X50);  
б) схема мікроструктури

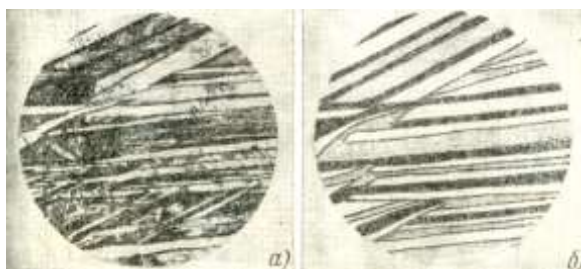


Рис..8 Загартована алюмінієва бронза БрАЖН10-4-4; а) мікроструктура (X50);  
б) схема мікроструктури.

Мікроструктура свинцьованої бронзи. Свинець практично не розчиняється в міді в рідкому стані, тому при твердінні

такої суміші рідких фаз отримуємо також механічна суміш твердих фаз міді і свинцю. На рис.9. дана схема мікроструктури свинцьованої бронзи з вмістом свинцю 30% (Б.С30): основний білий фон – мідь, темні включення – свинець.



Рис.9. Свинцьована бронза БрС30 (схема мікроструктури)

Мікроструктура берилієвої бронзи. В структурі ливарної берилієвої бронзи (рис.10) у між дендритних просторах  $\alpha$ -твердого розчину є включення евтектоїду [ $\alpha+\gamma$  (CuBe)]. Практично важливим є те, що розчинність берилію в міді зменшується з 2,7% при 866<sup>0</sup>С до 0,2% при 300<sup>0</sup>С. При загартуванні в воді з 800<sup>0</sup>С фіксується несталий стан  $\alpha$ -фази, а при наступному старінні при 300-350<sup>0</sup>Сіз пересиченого твердого розчину виділяються включення  $\gamma$ -фази (CuBe), які розташовуються по межах і всередині зерен  $\alpha$ -фази (рис.11)

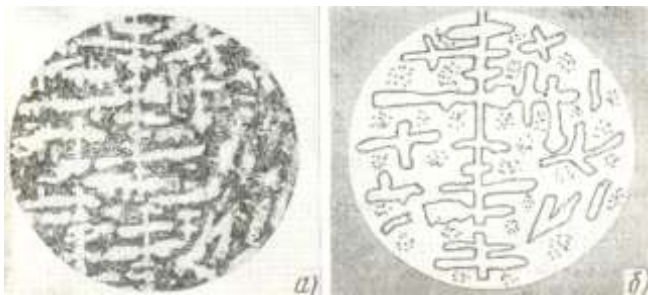


Рис.10. Лита берилієва бронза БрБ2

а) мікроструктура (Х150);  
б) схема мікроструктури

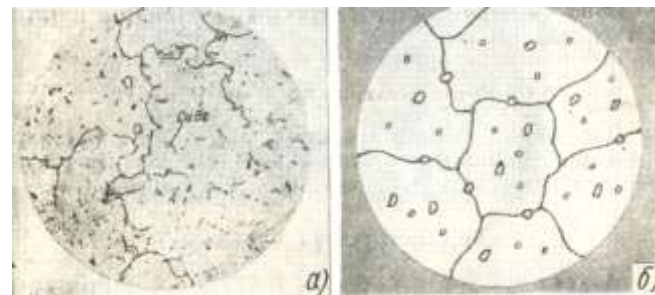


Рис.11. Берилієва бронза БрБ2 після загартування і старіння;

а) мікроструктура (Х250);  
б) схема кроструктури

3.4. Мікроструктура силуміну. Силумінами називають сплави алюмінію з силіцієм, з вмістом 6-13% Si. При вмісті 11,6% Si утворюється евтектика із кристалів  $\alpha$ -твердого розчину силіцію в алюмінію і кристалів силіцію –  $\alpha + Si$ . Силумін з вмістом силіцію, близьким до евтектичного складу (сплав АЛ2 з 10-13% Si) переважно складається з евтектики і невеликої

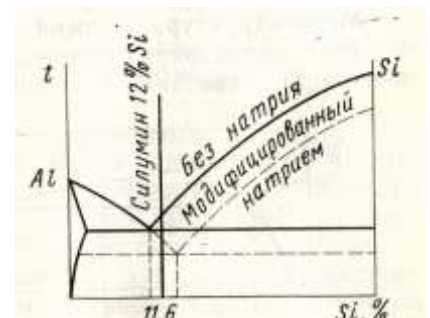


Рис.12. Діаграма стану Al - Si

кількості надлишкових кристалів  $\alpha$  і Si.. Якщо в рідкий розплав перед його кристалізацією ввести не велику кількість (0,01-0,1%) натрію, це призведе до подрібнення включень силіцію і значному покращенню механічних властивостей силуміну. Такий штучний процес регулювання розмірів і форми називається модифікуванням. При модифікуванні силуміну натрієм знижується температура кристалізації силіцію і евтектики, точка евтектики здвигається вправо і заевтектичний сплав стає до евтектичним (рис12.) Штрихова лінія показує зміщення ліній структури після модифікування.

На рис.13. дана мікроструктура силуміну з 12% Si після його модифікації натрієм. Структура цього сплаву до модифікації була заевтектичною, а після модифікування – до евтектичною. Структура складається з первинних дендритів твердого розчину силіцію в алюмінію  $\alpha$  (білі) і евтектики  $\alpha + Si$  тонкої будови.

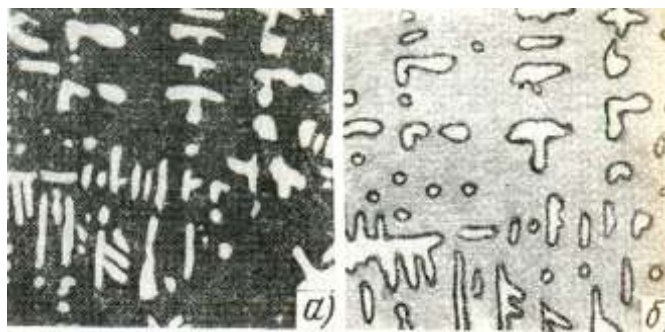


Рис.13. Алюмінієвий сплав АЛ2, лиття модифіковане;  
а) мікроструктура (Х200); б) схема мікроструктури

Силуміни широко застосовують для виготовлення литих деталей приборів і мало і середньо навантажених деталей, тонкостінних відливок складної форми.

### 3.5 Мікроструктура алюмінієвих сплавів

Найбільш поширеними є сплави Al-Cu, Al-Si, Al-Mg, Al-Cu-Mg, Al-Cu-Mg-Si, Al-Mg-Si, Al-Zn-Mg-Cu. Сплави алюмінію мають добру технологічність на усіх стадіях переробки, малу щільність, високу корозійну стійкість, достатню міцність, пластичність і в'язкість, тому широко застосовуються в авіації, суднобудуванні, авіабудуванні, будівництві і інших галузях промисловості.

Алюмінієво-мідний сплав з 4% Cu, має наступні мікроструктури:

- 1) після відпалу – зерна твердого  $\alpha$ -розчину міді в алюмінію (0,1% Cu) і крапельні включення хімічної сполуки  $CuAl_2$  (рис.14, а)

- 2) після загартування у воді з  $530^{\circ}\text{C}$  – зерна твердого  $\alpha$ -розчину (пересиченого) міді (4% Cu) в алюмінію (рис.14, б); при нагріванні включення  $\text{CuAl}_2$  розчиняються в алюмінію і швидким охолодженням фіксується пересичений розчин твердий  $\alpha$ -розчин;
- 3) після загартування і штучного старіння при  $250^{\circ}\text{C}$  – твердий  $\alpha$ -розчин міді в алюмінію і крапельні дрібнодисперсні включення хімічної сполуки  $\text{CuAl}_2$  (рис.14, в); такі включення виділилися із твердого  $\alpha$ -розчину в процесі штучного старіння.



Рис.14. Схеми мікроструктур алюмінієво-мідних сплавів з 4% Cu

### 3.6 Мікроструктура дуралюмінію.

Дуралюмін характеризується таким середнім складом: 4% Cu, приблизно 0,5% Mg, Mn, Si, Fe, залишок – алюміній. Наявність цих елементів призводить до утворення ряду фаз, які розчиняються при нагріванні, наприклад  $\text{CuAl}_2$ ,  $\text{Mg}_2\text{Si}$ ,  $\text{Al}_2\text{CuMg}$  (так звана фаза S) і не розчинний, наприклад,  $\text{FeAl}_3$ ,  $\text{Cu}_2\text{FeAl}$  (фаза N),  $(\text{Mn,Fe})\text{Al}_6$ . Дуралюмін застосовуються в авіа будівництві, автомобілебудівництві. Високоміцні старіючі сплави В95, В96 мають границю міцності біля 650 Мпа.

Мікроструктура дуралюмінію після відпалу при  $360^{\circ}\text{C}$  (рис.15, а) складається з твердого  $\alpha$ -розчину і включень розчинних (темних) і не розчинних (білих) фаз (залізистих і марганцевистих) .

Мікроструктура дуралюмінію після загартування і воді від  $510^{\circ}\text{C}$  (рис.15, б) складається з зерен пересиченого твердого  $\alpha$ -розчину і включень (білі), які не розчиняються в алюмінію при нагріванні фаз.

Мікроструктура дуралюмінію після загартування і штучного старіння при  $250^{\circ}\text{C}$  - твердий  $\alpha$ -розчин, крапельні дрібнодисперсні вкочення розчинних фаз, які виділилися із твердого  $\alpha$ -розчину в процесі штучного старіння і включення (білі) не розчинних фаз (рис.15, в)

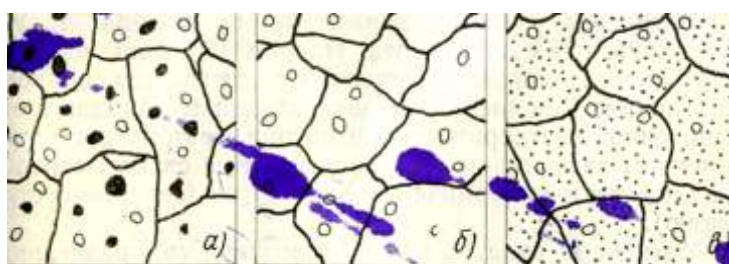


Рис.15. Схеми мікроструктур дуралюміну Д1

#### 4 Хід роботи:

4.1 Вивчити і замальовати мікроструктури сплавів міді і алюмінію. Мікроструктури замальовувати в колах з діаметром 50мм, або у вигляді квадрата з розміром 50 x 50 мм. головне, на що треба звернути увагу при замальованні мікроструктур – характерні особливості, які постаратися передати на малюнку.

4.2 Протокол мікроаналізу сплавів кольорових металів оформити у вигляді таблиці.

№ п/п	Найменування і марка сплаву	Технічна обробка	Мікроструктура		Властивості, застосування
			Малюнок	Найменування	

#### 5 Висновки

#### 6 Контрольні питання

6.1 Чим відрізняються латуні від бронзи.

6.2 Як впливає цинк на механічні властивості латуні.

6.3 Що таке багатокомпонентні латуні? Вплив легуючих елементів на властивості латуней?

6.4 Вплив олова на механічні властивості і структуру бронзи.

6.5 Вказати, чому бронзи застосовують як антифрикційний матеріал.

6.6 Розшифрувати такі марки сплавів кольорових матеріалів: ЛАЖ60-1-1; ЛС59-1; ЛЦ40С; ЛЦ40МцЗЖ; БрОФ6,5-0,4; БрОЗЦ12С5; БрАЖН10-4-4; БрС30; БрБ2.

#### Література

1 Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение: Учебник для высших технических учебных заведений.- 3-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1990, с.406-417

2 Самохоцкий А. И., Кунявский М.Н. Лабораторные работы по металловедению и термической обработке металлов. Учеб. пособие для машиностроительных техникумов. – 3-е изд. – М.: Машиностроение, 1981., с132-142

## Інструкція для виконання лабораторної роботи №7

### Тема: Мікроаналіз сталей і сплавів з особливими властивостями

#### 1 Мета роботи:

1.1 Вивчити мікроструктури сталей перлітного, аустенітного, мартенситного, феритного аустенітно-мартенситного, мартенситно-феритного класів і сплавів на основі нікелю.

1.2 Вивчити характерні особливості будови сталей і сплавів з особливими властивостями.

1.3 Вивчити мікроструктури бабітів (олов'яного і свинцевого).

#### 2 Матеріально-технічне та навчально-методичне забезпечення

2.1 Схеми мікроструктур сталей і сплавів з особливими властивостями

#### 3 Теоретичні відомості

##### 3.1 Класифікація і властивості сталей і сплавів

До сталей і сплавів з особливими властивостями відносяться корозійностійкі, жароміцні, магнітні і інші сталі; сплави на нікелевій основі; антифрикційні сплави.

Корозійностійкі сталі призначені для експлуатації в середовищі різного ступеню агресивності. Жароміцні сталі здатні протистояти механічним навантаженням при високих температурах (400-850<sup>0</sup>С). Жаростійкі сталі і сплави здатні чинити опір окисленню і окалиноутворенню при високих температурах (700-1250<sup>0</sup>С). Магнітні сплави відрізняються легкістю намагнічуванням або магніто твердістю (постійна намагнічуваність).

За своєю структурою сталі розділяються на слідуєчі класи: перлітний; мартенситний; аустенітний; феритний; аустенітно-мартенситний; мартенситно-феритний; аустенітно-феритний.

##### 3.2 Сталі перлітного класу

Використовують для виготовлення деталей і вузлів енергетичний установок, які працюють тривалий час (10 000 – 200 000 годин) при температурах не вище за 400-580<sup>0</sup>С, але порівняльно мало навантажені. Це сталі 15ХМ, 12Х1МФ, 15Х1М1Ф, 12Х2МФСР. Після нормалізації отримується структура ферит + бейніт (рис..1)

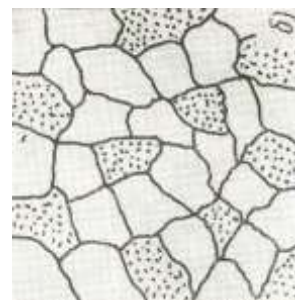


Рис..1 Сталь  
12Х1МФ  
Нормалізація (мікроструктура)

### 3.3 Сталі мартенситного класу

Використовують для деталей і вузлів газових турбін і паросилових установок (лопатки, деталі кріплення, труби і т.п.) Такі сталі додатково леговані W, Mo, V, Nb, B і окрім високого значення тривалої міцності мають високу жароміцність. В залежності від вмісту хрому вони відносяться до мартенситного (до 10- 11% Cr) або до мартенситно-феритного класу (11-13% Cr). Сталі мартенситного класу (15X11МФ, 40X9C2) жароміцні при температурі 500-600<sup>0</sup>С і корозійностійкі (20X13, 30X13) Після загартування в маслі (або охолодження на повітрі) від 1000-1050<sup>0</sup>С мають структуру мартенсит (рис. 2)



Рисунок 2 - Сталь 20X13  
Загартування (мікроструктура)

### 3. 4 Сталі аустенітного класу

Такі сталі пластичні і добре зварюються, але у порівнянні з перлітними і мартенситними мають труднощі при обробці різанням. Такі сталі містять більше хрому, нікелю і марганцю. Для отримання високої жароміцності їх додатково легують Mo, W, V, Nb і B. Такі сталі застосовують для деталей, які працюють при температурах 600-750<sup>0</sup>С. Сталі цього класу (45X14H14B2M, 40X15H7Г7Ф2МС) є жароміцними при температурах 600-750<sup>0</sup>С і корозійностійкі (12X18P9, 10X14Г14H3). Типова термічна обробка сталей аустенітного класу включає нагрівання до 1050-1100<sup>0</sup>С з наступним охолодженням на повітрі або в воді з отриманням структури аустеніту (мал. 3), потім відпускання при температурі 750<sup>0</sup>С, в результаті якого із аустеніту виділяються карбіди, які розташовуються по границям зерен аустеніту (рис. 4)





Рис. 3 Сталь 45X14H14B2M  
Загартування (мікроструктура)  
(мікроструктура)

Рис. 4 Сталь 45X14H14B2M  
Загартування і відпускання

### 3.5 Сталі феритного класу

Такі сталі є корозійно стійкими на повітрі, морській воді, деяких слабких розчинах кислот, солей і лугів (12X17, 08X17Г, 15X28); висококремністі (3-4% Si) є трансформаторними (Э 3, Э4) – такі сталі не мають  $\gamma \leftrightarrow \alpha$  перетворень при нагрівання (охолодженні) і мають структуру велико зернистого фериту або фериту з невеликою кількістю карбідів хрому (рис. 5)



Рис. 5 Сталь 12X17

### 3.6 Сталі аустенітно-мартенситного класу

Такі сталі є значно вищими корозійно стійкими, ніж сталі аустенітного класу. Такі сталі (наприклад, 09X15P8Ю) піддають складній термічній обробці: 1) загартуванню з  $1000^{\circ}\text{C}$  (структура аустеніт з невеликою кількістю мартенситу); 2) обробка холодом при  $-70^{\circ}\text{C}$  (частина аустеніту перетворюється на мартенсит, що викликає зміцнення); 3) відпускання при  $500^{\circ}\text{C}$ . Структура після термічної обробки складається з мартенситу і аустеніту. (рис. 6)



Рис. 6 Сталь 09X15H9Ю  
Мікроструктура після складної  
термічної обробки

### 3.7 Сталі мартенситно-феритного класу

Вони є корозійностійкі (наприклад, сталь 12X13, 20X13) і жароміцні (наприклад, сталь 15X12ВНМФ). Після загартування в маслі або на повітрі з високих температур сталі мають структуру мартенсит + ферит

Такі сталі використовують для виготовлення деталей з підвищеною пластичністю, які зазнають ударні навантаження (клапани гідравлічних пресів), а також для виробів, що зазнають дію слабо агресивних середовищ (атмосферні опади, водні розчини солей органічних кислот)



(рис.. 7).

3.8 Сплави на основі нікелю – жароміцні, їх називають німоніками. Застосовують для виготовлення робочих лопаток, турбінних дисків, кілець, деталей кріплення з тривалим терміном експлуатації, деталі газових турбін, які працюють при температурі до 850<sup>0</sup>С. Типовим представником таких сплавів є німіні ХН77ТЮ ( $\leq 0,06\%$  С; 19-22% Сr;

2,3-2,7% Тi; 0,55-0,95% Аl; - залишок – нікель. Після загартування від 1050-1150<sup>0</sup>С сплав має структуру твердого  $\gamma$ -розчину. Після загартування і відпускання при 600-850<sup>0</sup>С відбувається виділення із твердого  $\gamma$ -розчину (на основі нікелю)  $\gamma'$ -фази, яка збагачена алюмінієм і титаном (рис. 8)

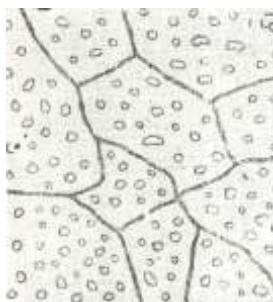


Рис..8 Сплав на основі нікелю  
– німонік ХН77ТЮ  
Мікроструктура після загартування  
і відпускання

### 3.9 Вимоги до антифрикційних сплавів

Антифрикційні сплави, які мають властивість забезпечувати низький коефіцієнт тертя ковзання, а отже низькі утрати на тертя, застосовують для заливання вкладень для підшипників ковзання. Такі сплави повинні мати

достатню твердість, але не занадто високу, або не визвати сильне зношування валу; у порівнянні легко деформуватися під впливом місцевих напруг, тобто бути пластичними; утримувати змащувальний матеріал на поверхні; мати малий коефіцієнт тертя між валом і (вальницею) підшипником.

Крім того, температура плавлення цих сплавів не повинна бути великою і сплави повинні мати добру теплопровідність і стійкість до корозію. Для забезпечення таких властивостей, структура сплавів повинна бути гетерогенною – складатися з м'якої і пластичної основи і включення більш твердих частин. При обертанні вал опирається на тверді частинці, які забезпечують зносостійкість, а основна маса, а основна маса зношується скоріше, випрацьовується до вала і утворює сітку мікроскопічних каналів, по яким циркулює змащувальний матеріал і прибираються продукти зношування.

Найбільш поширеними антифрикційними сплавами є сплави на олов'яній та свинцевій основі (бабіти), сплави на цинковій і алюмінієвій основі, а також мідньо-свинцеві сплави.

### 3.10 Мікроструктура олов'яних бабітів

Основними бабітами на основі олова є бабіти Б83 (83%; 11% Sb і 6% Cu) і Б88 – багатоконпонентні сплави, але основою їх є система Sn- Sb. М'яка основа сплаву –

$\alpha$ -твердий розчин сурми в олові, а тверді кристали -  $\beta'$ -фаза; ця фаза являє собою твердий розчин на основі хімічної сполуки SnSb.

Мікроструктура бабіту Б83 дана на мал.1. Структура складається з твердого  $\alpha$ -розчину сурми в олові – основний темний фон, з'єднання SnSb ( $\beta'$ -фази) – світлі великі кристали і з'єднання  $Cu_3Sn$  – світлі дрібні кристали.

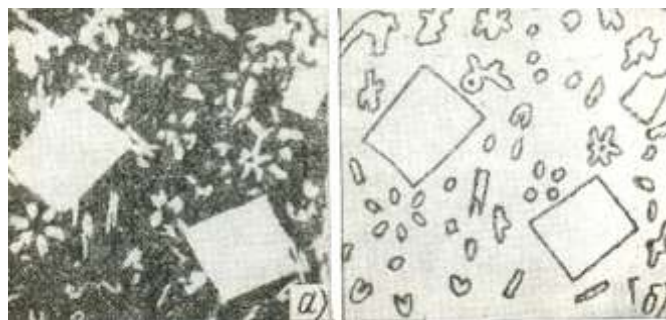


Рис.9 Олов'яний бабіт Б83  
а) мікроструктура (X100);  
б) схема мікроструктури

### 3.11 Мікроструктура свинцевих бабітів

Найбільш широке застосування у промисловості отримали сплави свинцю з сурмою з невеликими добавками міді (БС) і свинцю з кадмієм (БК).

Мікроструктура бабіту БК 1% Са; 0,9% Na - залишок – свинець) наведена на мал.2. На темному фоні  $\alpha$ -твердого розчину натрію і кальцію в свинцю (м'яка основа сплаву) є дендрити хімічної сполуки  $Pt_3Ca$  (тверда складова сплаву)

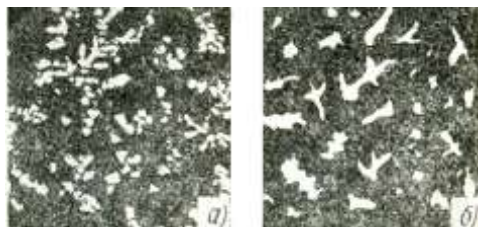


рис..10 Кальцієвий бабіт БК

а) мікроструктура (X100); б) схема мікроструктури

Свинцеві бабіти застосовують для менш навантажених вольниць, в автомобільних моторах). Антифрикційні і механічні властивості бабітів підвищуються при введенні в їх склад нікелю, кадмію, миш'яку.

## 4 Хід роботи:

4.1 Вивчити і замальовати мікроструктури сталей і сплавів зі спеціальними властивостями. Мікроструктури замальовувати в колах з діаметром 50мм, або у вигляді квадрата з розміром 50 x 50 мм. головне, на що треба звернути увагу при замальованні мікроструктур – характерні особливості, які постаратися передати на малюнку.

4.2 Протокол мікроаналізу сталей і сплавів з особливими властивостями оформити у вигляді таблиці.

№ п/п	Найменування і марка сталі (сплаву)	Термічна обробка	Мікроструктура		Властивості, застосування
			Малюнок	Найменування	

## **5 Висновки**

### **6 Контрольні питання**

6.1 Призначення сталей і сплавів зі спеціальними властивостями.

6.2 Класифікація сталей і сплавів зі спеціальними властивостями на класи за структурою.

6.3 Вплив легуючих елементів на властивості і застосування сталей і сплавів зі спеціальними властивостями.

6.4 Розшифрувати марки сталі ХН77ТЮР, 12Х1МФ, 12Х2МФСР, 18Х12ВМБФР, 08Х15Н24В4ТР, 45Х14Н14В2М.

6.5 Основний легуючий елемент трансформаторних сталей, німоніків.

6.6 Що визначає структуру сталей мартенситного і мартенситно-феритного класів?

6.7 Навести послідовність складної термічної обробки сталей аустенітно-мартенситного класу.

### **Література**

1 Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение: Учебник для высших технических учебных заведений.- 3-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1990, с.300-312.

2 Самохоцкий А. И., Кунявский М.Н. Лабораторные работы по металловедению и термической обработке металлов. Учеб. пособие для машиностроительных техникумов. – 3-е изд. – М.: Машиностроение, 1981., с 120-125.