

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

### ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВІ СПЛАВИ. МІКРОСКОПІЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВІДПАЛЕНИХ ВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ

**Мета роботи** – вивчити структурні перетворення в залізовуглецевих сплавах в залежності від їх хімічного складу та температури, а також вплив складу та структури на властивості сталей; освоїти принципи маркування сталей та основи їх вибору для деталей та інструментів.

#### 5.1. Загальні відомості

Серед металевих матеріалів у машинобудуванні найбільш широко використовуються сплави заліза з вуглецем - сталі та чавуни (на 90% від загальної кількості матеріалів). Визначити структури цих сплавів у стані рівноваги, температури фазових перетворень, вибрати температуру термічної обробки дозволяють метастабільна діаграма стану “залізо-цементит” ( $Fe-Fe_3C$ ) та стабільна діаграма стану “залізо-вуглець” ( $Fe-C$ ).

##### 5.1.1. Компоненти, фази та структурні складові залізовуглецевих сплавів

**Компоненти** - хімічні елементи залізо і вуглець, що утворюють сплави даної системи.

**Залізо** - метал з температурою плавлення 1539 °С (крива охолодження чистого заліза показана на рис. 4.1). Атомний радіус 0,127 нм. Залізо поліморфне. Нижче 911 °С має ОЦК ґратку з параметром 0,286 нм при 20 °С, в інтервалі 1392...1539 °С – 0,293 нм. Заповнення об'єму ґратки атомами на 68 %. Низькотемпературна модифікація позначається  $Fe_\alpha$ , високотемпературна –  $Fe_\delta$ . В інтервалі температур 911...1392 °С існує  $Fe_\gamma$  з ГЦК ґраткою, параметри якої 0,3645 нм, заповнення об'єму ґратки атомами на 74 %. Між атомами заліза існує металевий тип зв'язку. Нижче 768 °С  $Fe_\alpha$  феромагнітне,  $Fe_\gamma$  -парамагнітне. Чисте залізо – метал сріблястого кольору, порівняно м'який і пластичний, з густиною  $\rho = 7,86 \text{ г/см}^3$ . Міцність заліза складає  $\sigma_B = 250 \text{ МПа}$ , твердість НВ 60...80, пластичність  $\delta = 45 \%$ .

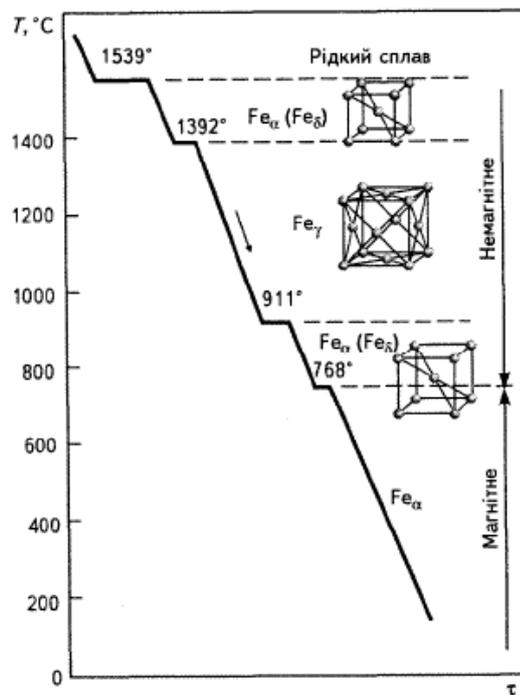


Рис. 5.1. Крива охолодження чистого заліза

Залізо характеризується низькими рівнями міцності, твердості та високою пластичністю ( $\sigma_B = 150...200$  МПа; НВ 60...70;  $\delta = 50...60$  %).

**Вуглець** – неметал з температурою плавлення 3600°C, атомним радіусом – 0,077 нм. Має дві модифікації: стабільну – у вигляді графіту та метастабільну – у вигляді алмазу. У звичайних умовах він знаходиться у вигляді модифікації графіту. Вуглець розчиняється в залізі у рідкому і твердому станах, а також може знаходитися у вигляді хімічної сполуки Fe<sub>3</sub>C – **цементиту**, а у високовуглецевих сплавах і у вигляді **графіту**.

**В Fe-C сплавах розрізняють фази: рідкий розчин (Р), ферит (Ф), аустеніт (А), цементит (Ц) і графіт (Г).**

**Крім зазначених фаз в сплавах системи Fe-C присутні ще дві структурні складові: ледебурит (Л) і перлит (П).**

**Ферит** - твердий розчин втілення атомів вуглецю в ОЦК гратці заліза. Розрізняють низькотемпературний  $\alpha$ -ферит з граничною розчинністю вуглецю 0,02% при 727 °C та високотемпературний  $\delta$ -ферит (0,1 % C при 1499 °C). Низька розчинність вуглецю у фериті обумовлена малим радіусом порожнин в ОЦК гратці (0,037 нм). Механічні властивості фериту:  $\sigma_B=200...250$  МПа;  $\delta=40...50$  %; НВ 80...90.

**Аустеніт** - твердий розчин втілення атомів вуглецю в ГЦК гратці), радіус міжатомних порожнин дорівнює 0,052 нм. Цим обумовлена підвищена, порівняно із феритом, розчинність вуглецю в аустеніті - 2,14 % при 1147 °C. Аустеніт має наступні механічні властивості:  $\delta = 50...60$  %; НВ 160...200. Фаза в'язка, парамагнітна.

Тверді розчини втілення, крім вуглецю, можуть утворювати азот і водень (атомні радіуси 0,072нм та 0,0056 нм, відповідно), частково бор, а тверді розчини заміщення – кремній, марганець, хром, нікель, молібден, вольфрам і інші метали.

**Цементит** - хімічна сполука  $Fe_3C$ , що містить 6,67 % С. Гратка - складна ромбічна, характеризується металевим зв'язком між атомами заліза та ковалентним – між залізом і вуглецем. Тому цементит має високу твердість (HV<sup>3</sup> 800), крихкість і практично нульову пластичність.

**Цементит** - метастабільна фаза і у високовуглецевих сплавах (>2,14 % С) при дуже повільному охолодженні замість нього може утворюватися графіт.

**Графіт** - стабільна модифікація вуглецю, має складну гексагональну кристалічну ґратку. Відстань між атомами в одному шарі складає 0,1415 нм, між шарами - значно більше - 0,34 нм. У першому випадку зв'язок реалізується за рахунок ковалентних сил, у другому – за рахунок слабких Ван-дер-ваальсовських. Густина графіту 2,26 г/см<sup>3</sup>. Твердість 3...5 НВ, значна крихкість, пластичність практично відсутня.

**Ферит, аустеніт, цементит можуть існувати у сплавах в структурно-вільному стані або входити до складу ледебуриту чи перлиту.**

**Ледебурит** - евтектична фазова суміш цементиту та аустеніту в інтервалі температур 1147...727°C, перлиту і цементиту – при температурах нижче 727 °С. Середній вміст вуглецю в ледебуриті 4,3 %. Ледебурит утворюється в залізовуглецевих сплавах, що містять більше 2,14 % С. Ледебурит містить 64 % цементиту, тому він твердий (HV $\geq$ 600) та крихкий.

**Перлит** - евтектоїдна фазова суміш фериту і цементиту, що містить 0,8 % С. Властивості перлиту залежать від дисперсності ферито-цементитної суміші та форми цементиту. Грубопластинчастий перлит має властивості:  $\sigma_B = 500...600$  МПа;  $\delta = 8...15$  %; НВ 160...250. Більш дисперсний перліт має більшу міцність та меншу пластичність.

### 5.1.2. Метастабільна діаграма Fe-Fe<sub>3</sub>C

Складність діаграми  $Fe-Fe_3C$  (рис. 5.2) зумовлена тим, що у залізовуглецевих сплавах, окрім первинної кристалізації (рідина→тверда фаза) відбуваються процеси вторинної кристалізації в твердому стані, які пов'язані з поліморфними перетвореннями заліза та зменшенням розчинності вуглецю у фериті та аустеніті.

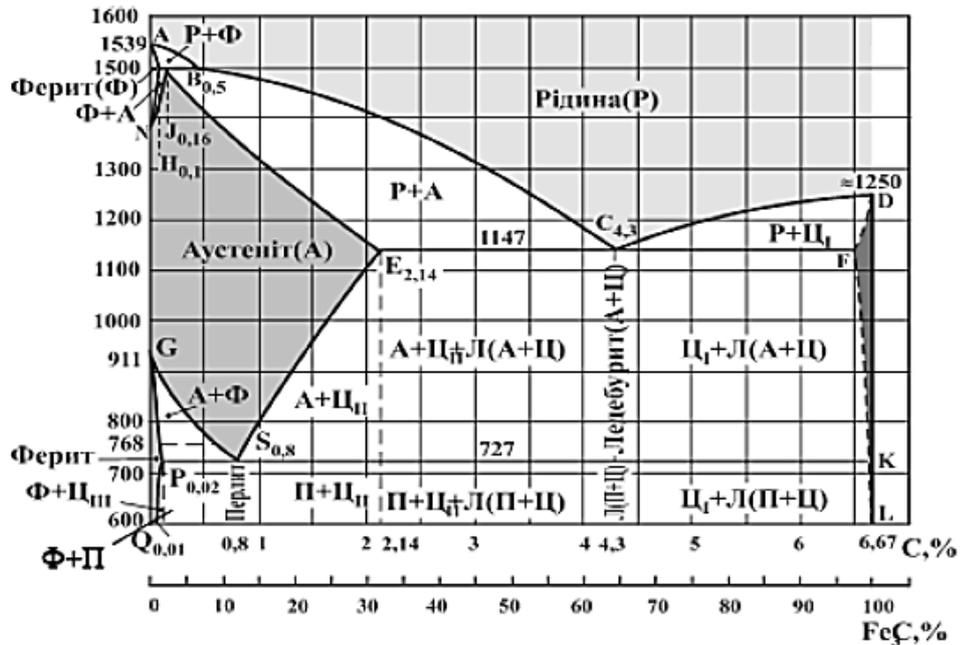
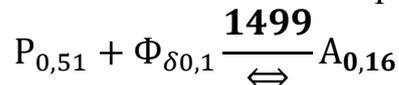


Рис.5.2. Метастабільна діаграма стану  $Fe-Fe_3C$

**Точки та лінії діаграми.** Точки на діаграмі визначаються температурою та концентрацією вуглецю. Точка **A** (1539 °C, 0% C) -температура кристалізації (плавлення) заліза, точка **D** (1250 °C, 6,67 % C) - цементиту. Точки **N** (1392 °C, 0% C) та **G** (911 °C, 0 % C) – температури поліморфного перетворення в залізі. Інші точки діаграми будуть охарактеризовані при розгляді фазових та структурних перетворень у різних сплавах.

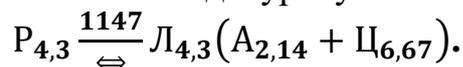
**Лінії діаграми** - це геометричне місце точок, що характеризують хімічний склад фаз, які знаходяться у рівновазі, температури початку та кінця фазових перетворень. З теорії кристалізації відомо, що перехід від рідкого стану в твердий відбувається не при температурі рівноваги  $T_0$  для цих фаз, а при деякому переохолодженні  $\Delta T$ . Тому далі при розгляді перетворень, що проходять в реальних умовах буде матися на увазі, що вони відбуваються при деякому переохолодженні (перегріванні) відносно температур рівноваги.

**Первинна кристалізація.** За лінією ліквідусу АВСД починається кристалізація з рідкої фази:  $\delta$ -фериту  $\Phi_\delta$  (АВ), аустеніту А (ВС) та цементиту первинного  $\Psi_I$  (СД). Лінія АН - температурна межа двофазної зони “рідина+ $\Phi_\delta$ ”, нижче цієї лінії - однофазна зона  $\Phi_\delta$ . **НJB** – лінія перитектичного перетворення:



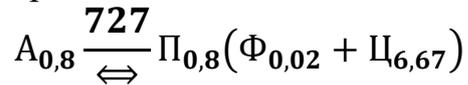
При переохолодженні нижче 1499 °C внаслідок взаємодії рідини складу В (0,51 % C) з кристалами  $\delta$ -фериту складу точки Н (0,1 % C) утворюється аустеніт складу точки **J** (0,16 % C) ( $P \rightarrow A$  і  $\Phi \rightarrow A$  – поліморфне перетворення).

Лінія **JE** - температурна межа двофазної зони P+A, кінець кристалізації аустеніту; нижче цієї лінії - однофазна зона аустеніту. **ESF** - лінія евтектичної рівноваги з утворенням нижче 1147° ледебуриту:



**Вторинна кристалізація.** Лінія **NH** та **NJ** - температури початку та кінця поліморфного перетворення  $\delta$ -фериту в аустеніт у сплавах до 0,16% С. У сплавах із 0,16...0,51 %С це перетворення відбувається при постійній температурі 1499°С. Лінії **GS** та **GP** - температури початку та кінця поліморфного перетворення  $A \leftrightarrow \Phi$ , яке відбувається в інтервалі температур при безперервному охолодженні в сплавах із вмістом вуглецю до 0,8 %.

**PSK** - лінія евтектоїдного перетворення  $A \rightarrow \Pi$  при постійній температурі в сплавах із 0,02...6,67 % С за реакцією:



При переохолодженні нижче 727 °С з аустеніту евтектоїдної концентрації (0,8 %С) утворюється перлит – фазова суміш  $\Phi$  і  $\text{Ц}$ .

Лінії **ES** та **PQ** - лінії граничної розчинності вуглецю в аустеніті та фериті, відповідно. У зв'язку зі зменшенням (збільшенням) вмісту вуглецю в цих фазах при охолодженні (нагріванні) лінії **ES** та **PQ** відповідають початку утворення (кінцю розчинення) цементиту вторинного в аустеніті та третинного - у фериті.

### 5.1.3. Перетворення в сплавах при охолодженні та нагріванні

Перетворення при охолодженні розглянемо на прикладі сплаву  $X_1$  із 0,45 % вуглецю (рис. 5.3, а). При охолодженні від температури  $t_0$  до  $t_1$  сплав знаходиться у рідкому стані. При  $t_1$  починається кристалізація  $\delta$ -фериту. При охолодженні в інтервалі  $t_1 \dots t_2$  склад рідкої фази змінюється за лінією АВ, а  $\delta$ -фериту - за лінією АН, внаслідок чого при  $t_2$  фази мають склад, необхідний для здійснення перитектичної реакції: вмісту вуглецю в рідкій фазі відповідає точка В, в  $\delta$ -фериті – точка Н. При  $t_2$  - неваріантна рівновага, тому що в реакції приймають участь три фази:  $P_B$ ,  $\Phi_H$ ,  $A_J$ . У сплаві після перетворення є надлишок рідкої фази, з якої в інтервалі  $t_2 \dots t_3$  утворюються кристали аустеніту. В інтервалі температур  $t_3 \dots t_4$  існує одна фаза - аустеніт.

При  $t_4$  починається  $\gamma \rightarrow \alpha$  перетворення, тому в інтервалі  $t_4 \dots t_5$  сплав двофазний. Склад фериту змінюється при цьому по лінії **GP**, аустеніту - **GS**, тобто при  $t_5$  склад аустеніту відповідає евтектоїдному і при цій температурі утворюється перлит. В інтервалі  $t_5 \dots t_6$  сплав двофазний, його структура перлітно-феритна. Внаслідок зменшення розчинності вуглецю в фериті в інтервалі  $t_5 \dots t_6$  виділяється цементит третинний по лінії **PQ**.

Крива охолодження (див. рис. 5.3, б) побудована на підставі розрахунків ступенів свободи з використанням правила фаз.

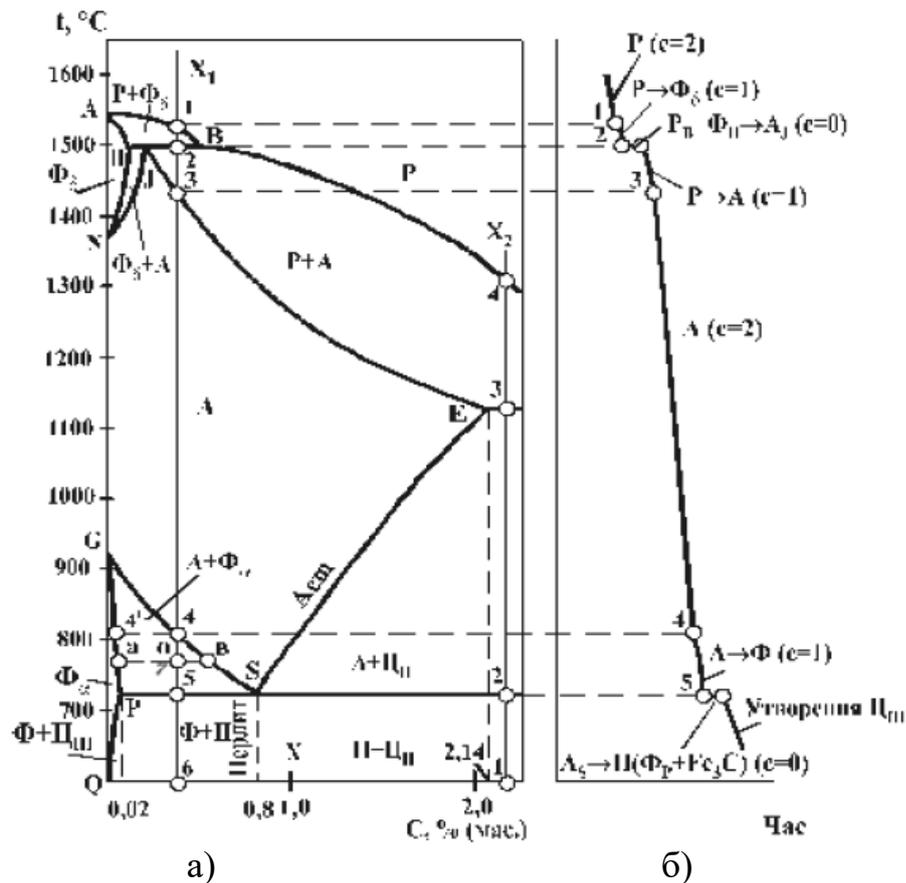


Рис.5.3. Сталева частина діаграми  $Fe-Fe_3C$  (а) та крива охолодження сплаву  $X_1$  (б)

Концентрацію вуглецю в фазах при заданій температурі визначають за допомогою температурної лінії (коноди), паралельної осі концентрацій та проведеної у зоні існування фаз. Визначимо, наприклад, в сплаві  $X_1$  при  $t_7=750^\circ C$  хімічний склад фериту та аустеніту (див. рис. 5.2,а). Для цього проведемо паралельно осі концентрацій пряму лінію (коноду) до її перетину з лініями  $GS$  та  $GP$ , що обмежують зону діаграми, в якій знаходиться сплав. Проекції точок перетину визначають концентрацію вуглецю: точка  $a$  (0,015%С) - у фериті, точка  $b$  (0,6%С) – в аустеніті.

Кількісне співвідношення фаз визначимо за допомогою правила відрізків. Довжину відрізків встановимо за їх проекціями на вісь концентрацій. Так, наприклад, в сталі У10 (1,0 %С) при  $600^\circ C$  у рівновазі знаходяться ферит і цементит. Їх масова частка визначається як

$$Q_\Phi = \frac{x_L}{Q_L} \cdot Q_C \quad \text{та} \quad Q_\Psi = \frac{Q_x}{Q_L} \cdot 100\%,$$

де  $Q_C$  – загальна маса сплаву.

Звідки, нехтуючи кількістю вуглецю в фериті (0,02 %), маємо:

$$Q_\Phi = \frac{6,67-1,0}{6,67} = 0,85(85\%); \quad Q_\Psi = \frac{1,0}{6,67} = 0,15(15\%).$$

Обчислена кількість  $\Psi$  складається із структурно вільного  $\Psi_{II}$  та цементиту перліту, ферит знаходиться у перліті.

Перетворення при нагріванні розглянемо на прикладі сплаву  $X_2$  із 2,2%С (див. рис. 5.2, а).

При кімнатній температурі структура сплаву складається із перліту, ледебуриту та цементиту вторинного. З підвищенням температури до  $727^\circ\text{C}$  зростає концентрація вуглецю у фериті до 0,02%С внаслідок розчинення  $\text{C}_{\text{II}}$ . При деякому перегріванні відносно лінії **PSK** структурно вільний перліт і перліт ледебуриту перетворюються в аустеніт. В інтервалі температур  $727\dots 1147^\circ\text{C}$  концентрація вуглецю в аустеніті збільшується від 0,8 до 2,14% за рахунок розчинення  $\text{C}_{\text{II}}$ .

При деякому перегріванні сплаву  $X_2$  вище  $1147^\circ\text{C}$  евтектична складова структури (ледебурит) -  $\text{L}(\text{A}_{2,14}+\text{C}_{6,67})\rightarrow\text{P}_{4,3}$ . Це перетворення відбувається при постійній температурі, тому що в рівновазі знаходяться три фази: аустеніт, цементит, рідкий розчин. В інтервалі температур  $t_3\dots t_4$  між лініями **PSK** та **BC** кристали аустеніту поступово розплавляються. Вище  $t_4$  сплав знаходиться повністю в рідкому стані.

#### 5.1.4. Вуглецеві сталі

**Сталі** - сплави заліза з вуглецем, що містять до 2,14 %С. Від концентрації вуглецю в сталі залежать її структура, властивості та призначення.

Вуглецеві сталі класифікують за кількома ознаками: за рівноважною структурою, за хімічним складом, за ступенем розкислення, за якістю та за призначенням.

**Класифікація сталей за структурою в стані рівноваги.** Діаграма стану  $\text{Fe-Fe}_3\text{C}$  дозволяє визначити структуру сталі в стані рівноваги, тобто після дуже повільного охолодження. На практиці структури, що близькі до рівноваги, досягаються при відпалу з повільним охолодженням разом із піччю. В залежності від вмісту вуглецю сталі за структурою в рівноважному (відпаленому) стані поділяються на наступні групи:

**технічне залізо** -  $\geq 0,02$  %С. Структура - ферит або ферит з цементитом (третинним);

**доевтектоїдні сталі** -  $0,02\% < \text{C} < 0,8\%$  (С – вміст вуглецю в процентах). Структура - ферит (світлого кольору) та перліт (темного). З підвищенням вмісту вуглецю частка перлітної складової зростає;

**евтектоїдна сталь** - 0,8 % С. Структура – перліт, при невеликих збільшеннях мікроскопа - це темного кольору структура. При збільшенні 500 крат і більше виявляється двофазна пластинчаста будова перліту ( $\text{Ф}+\text{Ц}$ );

**заевтектоїдні сталі** –  $0,8\% < \text{C} \leq 2,14\%$ . Структура - перліт і цементит (вторинний), що утворюється при повільному охолодженні по межах зерен у вигляді цементитної сітки.

Зі збільшенням в сталі вмісту вуглецю зростає кількість цементиту, що має велику твердість і крихкість, а тому його частинки є перепорою на шляху ковзання дислокацій. Унаслідок цього зростають міцність і твердість сталі, знижуються показники ударної в'язкості і пластичності. Зниження міцності заевтектоїдних сталей зумовлено наявністю крихкої сітки структурно вільного

цементиту. Твердість сталі монотонно зростає із збільшенням вмісту вуглецю. На рис. 5.4. представлений характер зміни мікроструктури сталей в залежності від вмісту вуглецю.

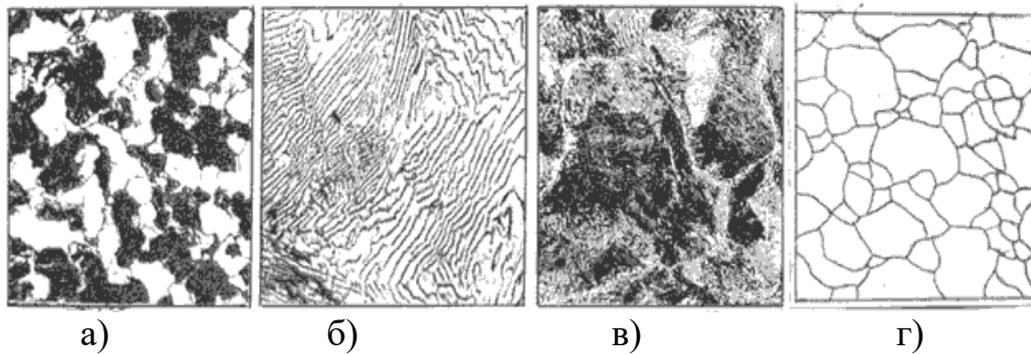


Рис. 5.4. Мікроструктури доевтектоїдної (а), евтектоїдної (б), заевтектоїдної (в) сталей і технічно чистого заліза (г)

Вуглець впливає також на фізичні властивості сталі: зі збільшенням вмісту вуглецю в сталі знижується її густина, теплопровідність, залишкова індукція, магнітна проникність, росте електричний опір і коерцитивна сила.

Постійними домішками в сталі є кремній ( $\leq 0,37\%$ ), марганець ( $\leq 0,8\%$ ), сірка ( $\leq 0,05\%$ ), фосфор ( $\leq 0,04\%$ ). Марганець і кремній вводять у сталь для розкислення при її виплавланні. Кремній сильно підвищує границю текучості  $\sigma_T$  і знижує пластичність сталі. Тому в сталях, які призначені для холодного штампування і глибокої витяжки концентрацію кремнію обмежують на рівні  $0,17\%$ , а інколи навіть до  $0,07\%$ .

Марганець помітно підвищує міцність сталі, практично не знижуючи пластичність і прогартовуваність, зменшує червоноламкість, що викликається впливом сірки.

Сірка є шкідливою домішкою в сталі. Вона потрапляє в сталь з руди чи палива. Із залізом сірка утворює хімічну сполуку  $FeS$ , яка практично не розчиняється в фериті, а створює легкоплавку евтектику з температурою плавлення  $988^\circ C$ . Ця евтектика переважно розташовується по межах зерен. Під час гарячого деформування (прокатування, кування) з температурою процесу  $1000 \dots 1200^\circ C$  евтектика розплавляється, порушується зв'язок між зернами металу, внаслідок чого в місцях розташування евтектики виникають надриви і тріщини. Це явище носить назву «червоноламкість». При наявності марганцю в сталі замість  $FeS$  утворюється сульфід марганцю  $MnS$  з температурою плавлення  $1620^\circ C$ , завдяки чому усувається явище червоноламкості. Сірчисті включення знижують ударну в'язкість ( $KCU$ ) і пластичність ( $\delta, \Psi$ ), а також границю витривалості ( $\sigma_R$ ). Сірка крім того, погіршує зварюваність і корозійну стійкість. Тому вміст сірки обмежують: у сталях звичайної якості – до  $0,05\%$ , якісних – до  $0,04\%$ , високоякісних – до  $0,025\%$ .

Фосфор є також шкідливою домішкою. Він розчиняється у фериті і при цьому сильно спотворює кристалічну ґратку заліза, внаслідок чого підвищуються границі міцності та текучості, але знижується пластичність і в'язкість сталі. Фосфор підвищує поріг холодноламкості, тобто температуру переходу сталі в

крихкий стан. Шкідливий вплив фосфору посилюється внаслідок великої схильності його до ліквіації. Тому кількість фосфору в сталях також обмежують: у сталях звичайної якості – до 0,04%, в якісних – до 0,035%, а в високоякісних – до 0,025%.

**За ступенем розкислення сталі поділяють** на киплячі ( $\leq 0,07\% \text{Si}$ ), напівспокійні ( $0,07 < \text{Si} < 0,17$ ) та спокійні ( $0,17 < \text{Si} < 0,37$ ). Киплячу сталь позначають літерами «кп» наприкінці марки сталі, наприклад: Ст3кп, 05кп; напівспокійну сталь – літерами «нс», наприклад: Ст3нс, 08нс; спокійну сталь у більшості випадків літерами не позначають за виключенням сталей звичайної якості, які позначають літерами «сп», наприклад Ст3сп.

**Якість сталі** визначається в першу чергу кількістю шкідливих домішок – фосфору і сірки. Тому в основу класифікації за якістю покладено вміст в сталі P і S. За цією ознакою вуглецеві сталі поділяють на сталі звичайної якості ( $S \leq 0,05\%$ ,  $P \leq 0,04\%$ ); якісні ( $S \leq 0,04\%$ ,  $P \leq 0,035 \dots 0,04\%$ ) та високоякісні ( $S \leq 0,02\%$ ,  $P \leq 0,03\%$ ).

### **Класифікація сталей за призначенням. Маркування сталей.**

У залежності від вмісту вуглецю сталі поділяються на **конструкційні** ( $0,02 \dots 0,8\% \text{C}$ ) та **інструментальні** ( $0,7 \dots 1,3\% \text{C}$ ). Умовною межею між ними вважають вміст вуглецю 0,7 %. В дійсності сталі з  $(0,7 \dots 0,8)\% \text{C}$  можуть бути як інструментальними, так і конструкційними (наприклад, ресорно-пружинна).

Конструкційні сталі повинні поєднувати достатню міцність і в'язкість. Таким вимогам відповідають доєвтектоїдні сталі.

Конструкційні сталі в свою чергу за технологічною ознакою поділяються на ливарні та сталі, що деформуються. Сталі, що деформуються, всвою чергу поділяються, в залежності від вмісту шкідливих домішок, на звичайної якості, якісні та автоматні.

**Сталі звичайної якості**, відповідно до ГОСТ 380-94, ДСТУ 2651:2005/ГОСТ380-2005 маркують літерами «Ст» і цифрами, які вказують номер марки, а наприкінці марки ставлять, в залежності від ступеня розкислення, літери «кп», «нс» або «сп». Ці сталі мають підвищений вміст сірки та фосфору. Цифри від 0 до 6 в маркуванні сталей – це умовний номер марки сталі. З збільшенням номера марки зростає міцність і знижується пластичність сталі. По гарантії при поставці існує три групи сталей: А, Б і В. В ці групи входять наступні марки сталей:

А – Ст.0, Ст.1, Ст.2, Ст.3, Ст.4, Ст.5, Ст.,6;

Б – БСт.0, БСт.1, БСт.2, БСт.3, БСт.4, БСт.5, БСт.6;

В – ВСт.2, ВСт.3, ВСт.4, ВСт.5.

Для сталей групи А при поставці гарантуються механічні властивості, в позначенні індекс групи А не вказують. Для сталей групи Б гарантується хімічний склад. Для сталей групи В при поставці гарантуються і механічні властивості і хімічний склад.

Маркуються Ст.2кп, БСт.3кп, ВСт.3нс, ВСт.4сп.

Із сталей цієї групи виготовляють гарячекатаний прокат (балки, прутки, швелери, листи, труби), застосовують для будівельних конструкцій та мало відповідальних деталей машин.

**Вуглецеві сталі якісні**, відповідно до ГОСТ 1050-88, маркують двозначним числом, що вказує на середній вміст вуглецю в сотих долях відсотка. Ступінь розкислення позначається літерами «кп», «нс», які ставлять після числа. В спокійних сталях літери «сп» не ставлять. Наприклад, 05кп, 08кп, 10, 15, ...35, 40, ...85.

Сталі марок 05, 08, 10 після відпалювання добре штампуються в холодному стані. Низьковуглецеві сталі марок 15, 20, 25 належать до тих, що цементуються. Середньо вуглецеві сталі 30, 35, 40, 45 і 50 належать до сталей, що поліпшуються. З таких сталей виготовляють вали, шатуни, шестерні та інші деталі. Високо вуглецеві сталі марок 60, 65, 70, 75, 80 і 85 використовують для пружин, ресор, тросів. Із сталі 60 виготовляють суцільнокатані колеса, валки прокатних станів.

**Автоматні сталі** (ДСТУ3833-98/ГОСТ 1414-75) мають підвищену оброблюваність різанням, що забезпечується підвищеним вмістом сірки (до 0,25%) і фосфору (до 0,15%). Маркують літерою «А» і числом, яке вказує на середній вміст вуглецю в сотих долях відсотка: А12, А20, А30 і А35. Оброблюваність різанням поліпшується також введенням у вуглецеву сталь свинцю, або селену в кількості 0,15...0,30%. При маркуванні таких сталей після літери «А» ставлять літеру «С», або «Е» в кінці маркування: АС14, АС40, А35Е, А40Е.

Автоматні сталі мають понижені механічні властивості, тому їх використовують тільки для мало навантажених деталей.

**Ливарні сталі** (ГОСТ 977-88) маркують числом, що вказує на вміст в сотих долях відсотка, та літерою «Л» в кінці марки, наприклад 15Л, 20Л, 25Л тощо. Ливарні сталі використовують для деталей арматури, великих шестерень, валків та інших деталей.

**Інструментальні вуглецеві сталі** за якістю поділяються на якісні та високоякісні. Відповідно до ГОСТ 1435-74 якісні інструментальні сталі маркують літерою «У» і числом, що вказує на середній вміст вуглецю в десятих долях відсотка: У7, У8, У9, ..., У13. У марках високоякісних інструментальних сталей в кінці марки ставлять літеру «А», наприклад, У7А, У8А, ..., У13А.

Інструментальні сталі з відносно низьким вмістом вуглецю (У7, У8) мають високу в'язкість і використовуються для виготовлення зубил, молотків, кернерів, викруток, штампів тощо. Заевтектоїдні сталі (У9, У13) застосовують для інструментів, що потребують високої твердості та не дуже високої в'язкості: мітчиків, свердел, напилків, ножівок, вимірювальних інструментів. Недоліками вуглецевих інструментальних сталей є їх незначна прогартовуваність і низька теплостійкість (до 200 °С).

Деякі групи сталей, їх маркування та призначення наведено в табл. 5.1-5.4.

Таблиця 5.1 – Сталі вуглецеві конструкційні звичайної якості (ГОСТ 380-94, ДСТУ 2651:2005/ГОСТ380-2005)

Марка сталі	Вміст елементів, %					Призначення
	C	Mn	Si	≤P	≤S	
1	2	3	4	5	6	7
Ст0	≤0,23			0,07	0,06	Конструкції невідповідального призначення: загородження, прокладки, шайби тощо. Добра зварюваність.
Ст1кп	0,06 0,12	0,25 0,5	0,05	0,04	0,05	Для деталей, що вимагають високої в'язкості: анкерні болти, арматура тощо. Добра зварюваність.
Ст3сп	0,14 0,22	0,4 0,15	0,15 0,3	0,04	0,05	Балки, ферми, корпуси посудин, що працюють під тиском; деталі, що цементують: шестерні, вісі тощо. Добра зварюваність
Ст5Гсп	0,22 0,3	0,8 1,2	0,15	0,04	0,05	Для деталей, що витримують невеликі напруги: вали, вісі, серги, ресори тощо.
Ст6сп	0,38 0,49	0,5 0,8	0,15 0,8	0,04	0,05	Деталі підвищеної міцності: вісі, вали, тяги, пальці траків, шпинделі тощо.

**Примітка:** Цифри при маркуванні не відображають вміст вуглецю в сталі, однак зі зростанням цифри підвищується концентрація вуглецю в сталі, отже твердість і міцність. Літери в кінці марки означають спосіб розкислення сталі: спокійна (сп), напівспокійна (пс) та кипляча (кп). Вміст сірки ≤ 0,05 % S, фосфору ≤ 0,04 %. В марці Ст5Гпс підвищений вміст марганцю (0,8...1,2%) позначено буквою Г.

Таблиця 5.2 – Сталі вуглецеві конструкційні якісні (ГОСТ 1050-88)

Група сталі	Маркування	Призначення
1	2	3
Низьковуглецеві (0,05.....0,08)	05, 08	Мають малу міцність та високу пластичність, використовуються без термічної обробки для холодного штампування, холодного вичавлювання: кузови автомобілів, корпуси приладів, прокладки, трубки тощо.
Маловуглецеві (0,10...0,30 %C)	10, 15, 20,25	Для деталей, що піддають цементації (ціануванню) та працюють на зношування без великих навантажень: втулки, осі кулачкових валиків, кільця

		ланцюгів тощо.
Середньовуглецеві (0,30...0,50% С)	30, 35, 40, 45, 50	Після нормалізації, поліпшення чи поверхневого гартування для деталей, що зазнають згинання, обертання, зношування, ударного навантаження: колінчасті та розподільні вали, плунжери, шестерні та вали редукторів тощо.
З вмістом вуглецю (0,55-0,80%)	55, 60, 65, 70, 75, 80	Після гартування та середньотемпературного відпускання мають високі пружні властивості та використовуються для виготовлення невеликого розміру у перерізі пружин, ресор тощо.

**Примітка:** Вміст сірки  $\leq 0,04$  %, фосфору  $\leq 0,035$  %. Маркуються двома цифрами, що вказують на середній вміст вуглецю в сотих частках процента.

Таблиця 5.3 – Автоматні сталі (ДСТУ3833-98)

Група сталі	Маркування	Призначення
Вуглецева, що містить сірку	A10, A12, A20, A30, A35	Деталі складної конфігурації з вимогами високої точності розмірів та низької шорсткості поверхні: шестерні, валики, заслінки, клапани, кільця, пальці, ходові гвинти металорізальних верстатів, деталі кріплення тощо
Вуглецева, що містить свинець	AC14, AC40	Те саме
Вуглецева, що містить сірку та селен	A35E, A45E	Те саме

**Примітка:** 1) Зниження зношування інструментів, отримання ламкої стружки та низької шорсткості поверхні досягається за рахунок підвищення вмісту сірки (до 0,3 %), фосфору (до 0,15%) та введення свинцю (до 0,3 %) та селену (до 0,1 %). 2) Літера "А" означає автоматна, цифри - середній вміст вуглецю в сотих частках процента, С та Е - додаток свинцю та селену, відповідно.

Таблиця 5.4 – Сталі вуглецеві інструментальні (ГОСТ 1435-99)

Група	Маркування	Призначення
1	У7, У7А, У8, У8А	Інструменти для слюсарно-монтажних робіт та обробки дерева: сокири, пили, фрези, молотки тощо
2	У9, У9А, У10, У10А	Для обробки метала: штампи для холодного штампування, фрези, зенкери, відкрутки, калібри
3	У12, У12А, У13, У13А	Інструменти, що не піддаються ударним навантаженням: напильники, шабери, інструмент для гравірування

**Примітка:** У маркуванні “У” позначає інструментальну вуглецеву сталь, цифри вказують на середній вміст вуглецю в десятих частках процента. Літера “А” в кінці марки означає, що сталь – високоякісна і має знижений вміст сірки та фосфору ( $\leq 0,018\% S, \leq 0,025\% P$ ).

## 5.2. Завдання на підготовку до лабораторної роботи

Накреслити діаграму  $Fe-Fe_3C$  (формат А4). У всіх зонах діаграми вказати структуру, а в квадратних дужках - фази. Коротко описати фази (Ф, А, Ц) та структурні складові (П, Л) залізовуглецевих сплавів; перитектичну, евтектичну та евтектоїдну реакції; маркування та призначення сталей.

## 5.3. Контрольні запитання для самоперевірки і контролю підготовленості до лабораторної роботи

1. Що визначають точки G та N на діаграмі стану  $Fe - C$  ?
2. Як впливає вуглець на температуру поліморфного перетворення заліза?
3. Що визначають точки  $A_4, A_3, A_2, A_1$  для чистого заліза та його сплавів з вуглецем?
4. Які фази притаманні залізовуглецевим сплавам?
5. На метастабільній ( $Fe-Fe_3C$ ) діаграмі позначити точки, концентрації, температури, структури та фази. Пояснити лінії рівноваги на діаграмі.
6. Які поліморфні перетворення відбуваються в залізі ? Вказати температури.
7. Що таке ферит, аустеніт, цементит, перлит і ледебурит? Вказати їх тип кристалічної ґратки.
8. Описати лінії діаграми  $Fe-Fe_3C$  та сутність перитектичного, евтектичного та евтектоїдного перетворень.
9. Як визначити в заданому сплаві при вказаній температурі масову кількість фаз та їх хімічний склад ?
10. Які перетворення проходять при охолодженні з рідкого стану до кімнатної температури в доевтектоїдному (заевтектоїдному, доевтектичному, евтектичному або заевтектичному) сплаві ?

11. Який цементит називають первинним, вторинним, третинним?
12. Що таке сталь, яким чином вуглець впливає на структуру та властивості сталей в рівноважному стані ?
13. В якому вигляді перебуває вуглець в сталях? Що являє собою цементит?
14. Як впливають кремній і марганець на властивості сталей?
15. Як впливають фосфор і сірка на властивості сталей?
16. Що називають червоноламкістю і холодноламкістю? Які хімічні елементи впливають на ці властивості сталі?
17. На які групи поділяється сталь звичайної якості?
18. Що означають в маркуванні сталі букви кп, пс, сп?
19. Як маркуються якісні вуглецеві сталі: конструкційні і інструментальні?
20. Вміст вуглецю в інструментальних сталях. Як змінюються властивості цих сталей із збільшенням вуглецю в них?
21. Яким чином класифікують вуглецеві сталі в залежності від структури в стані рівноваги ?
22. Класифікація вуглецевих сталей за призначенням. Маркування вуглецевих конструкційних та інструментальних сталей.
23. Із яких сталей можна виготовити: ферму мостового крану, валик, полотно ножівки, пуансон, стамеску, шестерню, пружину тощо ? Назвати марку сталі.

#### **5.4. Матеріали, інструменти, прилади та обладнання**

Робота виконується на зразках технічно чистого заліза, відпалених вуглецевих сталей 10, 45, У8. Для визначення твердості використовується прилад ТК-2, для дослідження структури - оптичні мікроскопи МІМ-5 та МІМ-7.

#### **5.5. Вказівки з техніки безпеки**

Робота виконується відповідно до загальної інструкції з техніки безпеки (додаток А).

#### **5.6. Порядок проведення лабораторної роботи**

1. Провести мікроскопічне дослідження шліфів. Порівнянням мікроструктури зразків із фотографіями структур різних залізобуглецевих сплавів, що наведені в альбомах, визначити вміст вуглецю та марку вуглецевої сталі.

2. Схематично зобразити структури переглянутих сплавів, визначити структурні складові та, користуючись довідковими даними, написати біля кожної структури хімічний склад сплаву, твердість у відпаленому стані, застосування.

3. На 4...5 зразках сталі з різним вмістом вуглецю визначити твердість на приладі ТК-2 (шкала В, навантаження 980 Н). Перекласти значення твердості HRB в HB.

4. За експериментальними даними побудувати для сталей графік залежності “твердість - вміст вуглецю”. Пояснити графік.

5. Для визначеної викладачем деталі (інструменту) вибрати марку вуглецевої сталі. Визначити хімічний склад, структуру та призначення інших, вказаних викладачем, вуглецевих сталей.

6. Для вказаного сплаву при заданій температурі визначити вміст вуглецю в фазах та масову кількість кожної фази. Побудувати та пояснити криву охолодження.

### **5.7. Зміст звіту**

Завдання пункту 4.2, рис. 4.1; схеми мікроструктур досліджених зразків сталей, графік залежності “твердість – вміст вуглецю”; висновки і пояснення; відповідь на питання п.п. 4.6.5 та 4.6.6.

### **5.8. Рекомендована література**

1. Бялік О.М. Металознавство: підручник / О.М. Бялік, В.С. Черненко, В.М. Писаренко, Ю.Н. Москаленко. – К: ІВЦ «Потітехніка», 2001. – с. 200-217.
2. Матеріалознавство: [підручник] / С.С. Дяченко, І.В. Дощечкіна, А.О. Мовлян, Е.І. Плешаков. – Харків:Видавництво ХНАДУ, 2007. – с. 125-144.
3. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов. / Лахтин Ю.М.– М.: Металлургия, 1984. – с. 159-166, 180-200.
4. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение / Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. – М.: Машиностроение, 1990. – с. 121-136, 250-257, 308, 309.
6. Материаловедение /Под ред. В.Н. Арзамасова. – М.: Машиностроение, 1986. – с. 55-61, 139-148, 201-202.

### **Корисне відео:**

<https://www.youtube.com/watch?v=MGTvoJdCZKQ>

<https://www.youtube.com/watch?v=0UzrhT2ABFA>

<https://www.youtube.com/watch?v=W6DhkFOJB84>

<https://www.youtube.com/watch?v=yJOX8aR0uvo>

**Звіт з лабораторної роботи для перевірки та оцінювання до дати наступного заняття надіслати на електронну пошту викладача [tmkts\\_nno@ztu.edu.ua](mailto:tmkts_nno@ztu.edu.ua)**

**Лабораторна робота підлягає обов’язковому захисту!**