

ВИВЧЕННЯ МІКРОСТРУКТУР ВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ У РІВНОВАЖНОМУ СТАНІ

Мета роботи: вивчити мікроструктури технічного заліза, вуглецевих сталей в рівноважному стані

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Сталі – сплави заліза з вуглецем, що містять 2,14%С. Від концентрації вуглецю в сталі залежить її структура, властивості та призначення.

Класифікація сталей за структурою в стані рівноваги

Діаграма стану $Fe - Fe_3C$ дозволяє визначити структуру сталі в стані рівноваги, тобто після дуже повільного охолодження. На практиці структури, що близькі до рівноваги, досягаються при відпалюванні з повільним охолодженням разом із печю. В залежності від вмісту вуглецю сталі за структурою в рівноваговому (відпаленому) стані поділяються на наступні групи:

Технічне залізо - $\leq 0,02\%C$. Структура - ферит або ферит з цементитом (третинним);

Доевтектоїдні сталі – $0,02\% < C < 0,8\%$ (С – вміст вуглецю в процентах. Структура – ферит (світлого кольору) та перлит (темного). З підвищенням вмісту вуглецю частка перлитної складової зростає;

Евтектоїдна сталь - $0,8 \%C$. Структура – перліт, при невеликих збільшеннях мікроскопа – це темного кольору складова частина структури. При збільшенні до 500 крат і більше виявляється двофазна будова перлиту (Ф + П);

Заевтектоїдні сталі - $0,8\% < C < 2,14 \%$. Структура – перлит і цементит (вторинний), що утворюється при повільному охолодженні по межах зеоен у вигляді цементитної сітки.

Чисте залізо - метал сріблясто-білого кольору. Чисте залізо, що може бути отримано в даний час, містить 99,999 %, технічне 99,8 – 99,9 %. Температура плавлення заліза 1539 °С.

Залізо має дві поліморфні модифікації α і γ . Модифікація α -заліза існує при температурах нижче 910 °С і вище 1392 °С, рис. 3.1. В інтервалі температур 1392 – 1539 °С α -залізо нерідко позначають як δ -залізо.

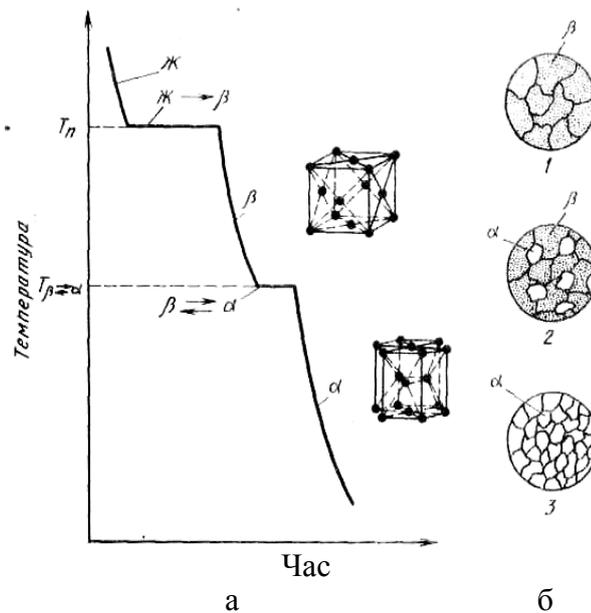


Рисунок 3.1 - Крива охолодження чистого заліза

Вуглець є неметалічним елементом II періоду IV групи періодичної системи, щільністю $2,5 \text{ г/см}^3$, температурою топлення $3500 \text{ }^\circ\text{C}$. Вуглець поліморфен, у звичайних умовах він знаходиться у вигляді модифікації графіту, але може існувати й у вигляді метастабільної модифікації алмаза.

Вуглець розчинний у залізі в рідкому і твердому станах, а також може бути у вигляді хімічної сполуки - цементиту, у високовуглецевих сплавах у вигляді графіту.

У системі Fe-C розрізняють наступні фази: рідкий сплав, тверді розчини – ферит і аустеніт, а також цементит і графіт.

Незначне збільшення вмісту вуглецю, навіть до сотих часток відсотка, унаслідок його незначної розчинності α -залізі (до $0,006 \%$ при $20 \text{ }^\circ\text{C}$) викликає утворення другої фази – цементиту. При вмісті вуглецю приблизно до $0,025 \%$ він присутній в структурі у вигляді невеликої кількості третинного цементиту, що виділяється з ферита при охолодженні внаслідок зменшення розчинності вуглецю. Третинний цементит розташовується головним чином по границях зерен ферита, що знижує пластичність і в'язкість сталі.

Залізо з вмістом домішок $0,01 \dots 0,1 \%$ має наступні властивості: твердість по Бринелю $70 \dots 80 \text{ НВ}$; міцність на розрив $\sigma = 200 \dots 250 \text{ МПа}$; відносне подовження $\delta = 50 \dots 55 \%$; ударна в'язкість $KC^{+20} = 220 \dots 250 \text{ кДж/м}^2$.

На діаграмі стану «залізо-вуглець» позначені структури, що утворюються при зміні температури в умовах, близьких до рівноважних, тобто при дуже повільному охолодженні або нагріванні. До складу цих структур входять наступні фази.

Ферит (Ф) – твердий розчин вуглецю в α -залізі з об'ємноцентрованою ґраткою (ОЦК). Максимальна розчинність вуглецю у фериті $0,006\%$ при температурі 20°C і $0,025\%$ – при температурі 20°C . Ферит має дуже низькі міцність і твердість, але дуже пластичний.

Цементит (Ц) – хімічна сполука заліза з вуглецем. У такому з'єднанні вміст вуглецю 6,67%. Цементит має дуже високу твердість, але дуже тендітний. Цементит має складні ромбічні грати з щільним упакуванням атомів. Цементит є метастабільною фазою. В умовах рівноваги в сплавах з високим вмістом вуглецю утворюється графіт.

Аустеніт (А) – твердий розчин вуглецю в γ -залізі з граніцентованою граткою (ГЦК). Максимальна розчинність вуглецю в аустеніті складає 2,14%. Твердість і міцність аустеніту приблизно в три рази вище, ніж фериту. Так само, як і ферит, він має високу пластичність.

Перліт (П) – однорідна механічна суміш кристалів фериту і цементиту, у якій кристали цементиту рівномірно розподілені в масі фериту. Така структура називається *евтектоїдом*. Вміст вуглецю в евтектоїді складає 0,8 % . Перліт має підвищену твердість і міцність, але пластичність його значно нижче, ніж фериту й аустеніту.

Вуглецеві сталі в залежності від вмісту вуглецю і мікроструктури поділяються на три групи: доевтектоїдні ($0,02 \% < C < 0,8 \%$), евтектоїдні - структура перліт (П) і заевтектоїдні ($0,8\% < C < 2,14$). По призначенню доевтектоїдні сталі – структура: перліт + ферит (П + Ф); евтектоїдні сталі ($C = 0,8 \%$) - структура перліт, відносяться до конструкційних, заевтектоїдні – до інструментальних.

Мікроструктура доевтектоїдних сталей складається з фериту і перліту. Чим більше в сталі перліту, тим вище її твердість і міцність. У фериті при звичайній температурі вміст вуглецю не більш 0,006 %. Тому весь інший вуглець, що входить до складу доевтектоїдної сталі, утримується у виді хімічної сполуки – цементиту, що входить до складу перліту. З підвищенням вмісту вуглецю збільшується частка об'єму, яку займає перліт і, як наслідок – зростає твердість і міцність сталі. На рис. 3.2 показані мікроструктури доевтектоїдної сталі з різним вмістом вуглецю. Мікроструктура – евтектоїдної сталі складається тільки з перліту. Існує два різновиди перліту – пластинчатий і зернистий.

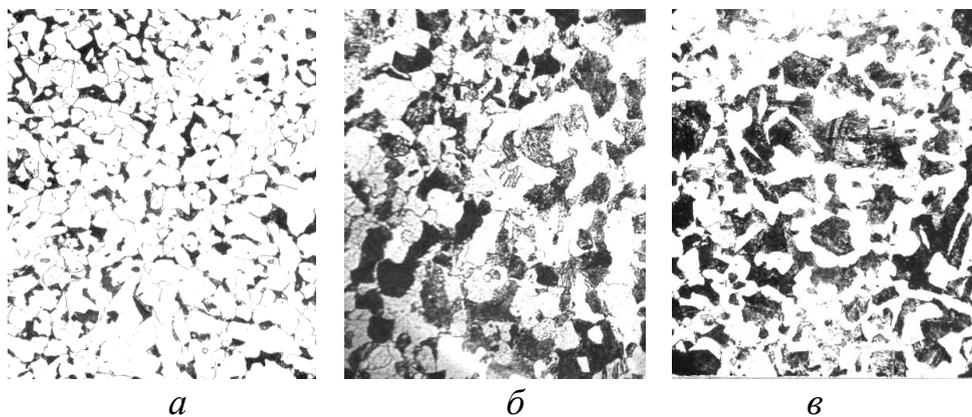


Рисунок 3.2 - Мікроструктури вуглецевої доевтектоїдної сталі з різним вмістом вуглецю: *a* – 0,2 %; *б* – 0,3 %; *в* – 0,4%

У пластинчатому перліті цементит присутній у вигляді тонких пластин, розподілених шарами в масі фериту, і виконує роль твердого каркасу, що сприяє підвищенню міцності і твердості сталі. У зернистому перліті цементит знаходиться у вигляді дрібних зерен, рівномірно розподілених у масі фериту. Зерниста форма цементиту в меншій мірі сприяє зміцненню, і тому сталь з такою структурою має меншу твердість і краще обробляється різанням. З урахуванням цього сталь після прокатки піддається відпалу для перетворення пластинчатого перліту в зернистий.

Мікроструктури евтектоїдної сталі з пластинчатим перлітом показані на рис. 3.3.

Пластини твердого цементиту шарами залягають у масі пластинчатого фериту – це сприяє підвищенню міцності і твердості перлітної структури.

Заевтектоїдна сталь (рис. 3.4) складається з перліту і цементиту, має високу твердість і міцність, але в той же час і підвищену крихкість. З підвищенням вмісту вуглецю в заевтектоїдної сталі збільшується частка об'єму, яку займає цементит. Сталі, які застосовують в практиці, містять не більш 1,35 % вуглецю, тому площа, яку займає цементит, по мікроструктурі не може бути більш 10%, що легко перевірити, користуючись правилом відрізків.

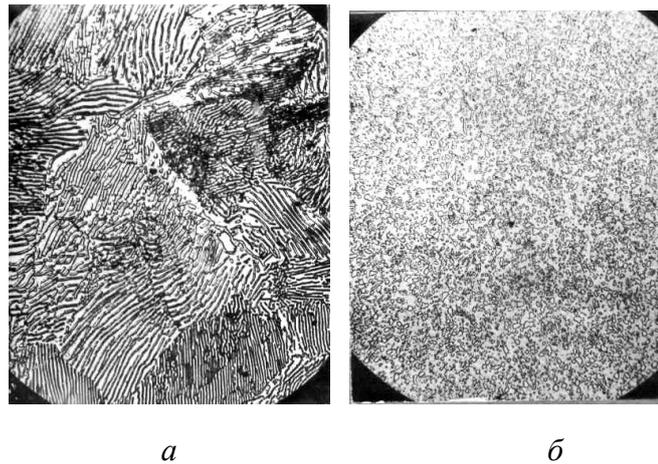


Рисунок 3.3 - Евтектоїдна сталь 0,8% С: а – пластинчатий перліт; б – зернистий перліт

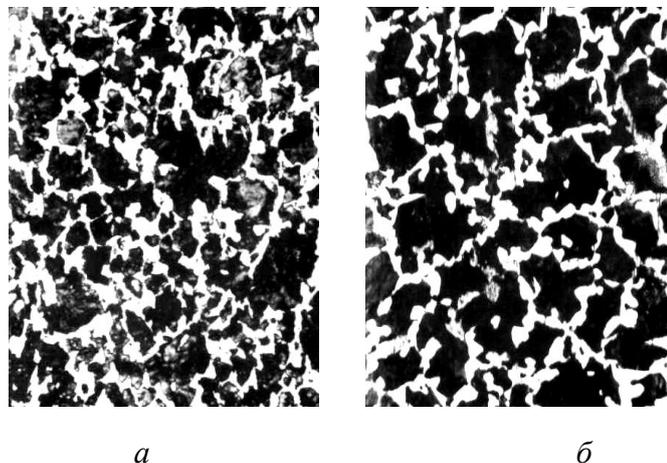


Рисунок 3.4 - Заевтектоїдна сталь: а – 1,1% С; б – 1,3% С

Визначення марки сталі по мікроструктурі

Метод мікроструктурного аналізу при деяких навичках дозволяє визначити вміст вуглецю в сталі з точністю до 0,1%, що дає можливість установити марку досліджуваної сталі. Таке визначення засноване на наступному.

По мікрошліфу візуально (на око) визначають у процентному відношенні площі, які займають окремі структурні складові: у доєвтектоїдній сталі – ферит і перліт, у заєвтектоїдній – перліт і цементит. Наприклад, припустимо, що по візуальній оцінці в досліджуваному мікрошліфі доєвтектоїдній сталі площа, яку займає перліт, складає 40 %, а площа, яку займає ферит – 60 %. З діаграми стану «залізо – вуглець» видно, що при вмісті в сталі 0,8 % вуглецю структура складається тільки з перліту і площа, яку займає перліт на мікрошліфі, складає 100 %.

Позначимо X – процентний вміст вуглецю, що приходить на перлітну частину структури, а Y – на феритну. Тоді можна скласти наступні пропорції;

1. Якщо в 100 % перліту Π – утримується 0,8 % C (див. діаграму).

То в 40 % площі, яку займає перліт утримується X % C .

2. 100 % Φ – 0,006 % C

60 % Φ – X % C

Звідси визначаємо невідомі: $X = (0,8 \times 40) / 100 = 0,32$ %;

$Y = (0,006 \times 60) / 100 = 0,0036$ %

Загальний вміст вуглецю дорівнює сумарному його вмісту у фериті і перліті, %: $C_{\text{заг}} = X + Y = 0,32 + 0,0036 = 0,3236 \approx 0,32$ %

Вміст вуглецю у фериті настільки малий, що з урахуванням можливої пошибки при оцінці розміру площі по мікрошліфу цією величиною можна зневажити. Тому вміст вуглецю в доєвтектоїдній сталі можна визначити тільки з урахуванням площі, яку займає перліт:

$$\% C = (0,8 \% \times \Pi) / 100$$

У заєвтектоїдній сталі вміст вуглецю по мікроструктурі визначається аналогічно. Спочатку по мікроструктурі визначаються площі, яку займають перліт і цементит. Вміст вуглецю в перлітній складовій розраховується по приведеній раніше формулі, а в цементитній – з урахуванням того що, якщо вся площа мікрошліфа буде зайнята цементитом, то цьому буде відповідати вміст вуглецю 6,67 %, на підставі чого складаємо пропорцію:

$$100 \% \text{Ц} - 6,67 \% C$$

$$P \% \text{Ц} - Z \% C$$

де $P \% \text{Ц}$ – площа мікрошліфа, яку займає цементит; $Z \%$ – вміст вуглецю, що приходить на цементитну складову мікроструктури,

$$Z = (6,67 P \%) / 100$$

Загальний процентний вміст вуглецю в досліджуваній сталі дорівнює його сумарному вмісту в перлітній і цементитній складових мікроструктури:

$$\%C_{\text{заг}} = X \% + Z \%$$

У принципі без спеціального приладу провести визначення площі, яку займає вторинний цементит, досить важко і, отже, можливі похибки.

Визначення вмісту вуглецю по мікроструктурі в вуглецевій сталі, що знаходиться в нерівноважному стані (зокрема, після загартування і відпуску), неможливо, тому що її структура не характеризується діаграмою залізо – вуглець.

Правило не приміняється також для легованої сталі, оскільки її фазовий склад і структура не визначаються подвійною діаграмою «залізо-вуглець».

Знаючи вміст вуглецю, легко визначити марку вуглецевої сталі по таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Вміст вуглецю в якісних доевтектоїдних сталях

Марка сталі	Вміст вуглецю, %	Марка сталі	Вміст вуглецю, %
05	Не більш 0,06	40	0,37 - 0,45
08	0,05 - 0,12	50	0,47- 0,55
10	0,07 - 0,14	60	0,53 - 0,65
15	0,12 – 0,19	70	0,67-0,75
20	0,17 - 0,24	80	0,77 - 0,85
30	0,27 - 0,35	85	0,62 - 0,90

Порядок виконання роботи

Студент одержує зразки мікрошліфів з різними мікроструктурами. Необхідно дослідити зразки під мікроскопом і визначити складові мікроструктури, тип сталі (евтектоїдна, доевтектоїдна або заевтектоїдна). Описати і замалювати мікроструктури. Вказати тип сталі, а виносними лініями – елементи мікроструктури, на підставі яких, установлений тип сталі.

Користуючись таблицями 3.1 і 3.2 визначити марку доевтектоїдної і заевтектоїдної сталі. На мікрошліфах показати фази (мікроструктури).

Зміст звіту

Описати склад і властивості фаз, що входять до складу залізобуглецевих сплавів, а також властивості сталей у залежності від їх мікроструктури в рівноважному стані. Пояснити залежність властивостей від

вмісту вуглецю і характеру фаз на прикладі пластинчатого і зернистого перліту.

Привести розрахунки по визначенню вмісту вуглецю на основі аналізу мікроструктури.

Таблиця 3.2 – Вміст вуглецю в інструментальній вуглецевої сталі

Марка сплаву	Склад вуглецю, %
У7	0,65 - 0,74
У8	0,75 - 0,84
У8Г	0,80 - 0,90
У9	0,85 - 0,94
У10	0,94 - 1,04
У11	1,05 - 1,14
У12	1,16 - 1,24
У13	1,25 - 1,35

Контрольні питання

1. Які фази зустрічаються в залізобуглецевих сплавах?
2. Які сплави відносяться до сталей?
3. Яку структуру і властивості мають доевтектоїдні і заевтектоїдні сталі?
4. Чому з підвищенням вмісту вуглецю підвищується твердість і міцність конструкційної сталі?
5. В чому відмінність у будові і властивостях пластинчатого і зернистого перлітів?
6. На чому заснований метод визначення марки сталі по мікроструктурі ?
7. Який вміст вуглецю у фериті?
8. Охарактеризуйте властивості цементиту.