

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

### МІКРОСКОПІЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЧАВУНІВ

**Мета роботи** – вивчити структурні перетворення в чавунах у залежності від їх хімічного складу та температури, а також вплив складу та структури на властивості чавунів; освоїти принцип маркування чавунів та основи їх вибору для деталей і конструкцій.

#### 6.1. Загальні відомості

**Чавуни** – це залізовуглецеві сплави, що містять більше 2,14 %С. Вони кристалізуються з утворенням евтектики, мають малий інтервал температур кристалізації і тому характеризуються добрими ливарними властивостями: великою рідкотекучістю, малою лінійною усадкою. Це дозволяє одержувати відливки складної форми з малою товщиною стінок. Вуглець у чавунах може розчинятися у фериті і аустеніті, знаходитися у вільному стані (графіті), у зв'язаному вигляді (цементиті) або у частково зв'язаному та переважно у вільному стані. В залежності від цього та від форми графіту, яка зумовлюється технологією виробництва, розрізняють білі, половинчасті, сірі, високоміцні та ковкі чавуни.

**Білий чавун.** У білих чавунах весь вуглець знаходиться у зв'язаному вигляді ( $Fe_3C$ ), а процеси кристалізації та структурні перетворення в них визначаються за допомогою метастабільної діаграми ( $Fe-Fe_3C$ ). Вміст вуглецю визначає структурні класи білих чавунів: доевтектичні (2,14%<С<4,3%), евтектичні (4,3%), заевтектичні (>4,3%).

Велика кількість цементиту в структурі білих чавунів (64% при вмісті 4,3%С) зумовлює їх значну твердість (НВ 540...550), низьку пластичність та неможливість обробки різанням. Їх велика твердість забезпечує підвищену зносостійкість в умовах абразивного зношування. Відливки з відбіленого чавуну мають у поверхневому шарі структуру білого чавуну, а в серцевині - сірого або високоміцного. Із білого та відбіленого чавунів виготовляють прокатні валки, кулі млинів для помолу руди. Білі та відбілені чавуни не маркуються.

Половинчасті чавуни займають проміжне положення між білими та сірими. Понад 0,8 %С у цих чавунах зв'язано у вигляді  $Fe_3C$ ; їх структура - перлит, ледебурит і графіт.

Сірий чавун (ДСТУ 2891-94). У сірих чавунах графіт на площині шліфа має пластинчасту форму. Кристалізація та структурні перетворення в цих чавунах відбуваються відповідно до стабільної діаграми ( $Fe-C$ ) (рис. 6.1). При температурі нижче 1153°C утворюється аустенітно-графітна евтектика, а нижче 738°C - ферито-графітний евтектоїд. Технічні чавуни, окрім заліза та вуглецю, містять кремній, марганець, алюміній тощо, тобто є багатокомпонентними сплавами, в яких евтектичне та евтектоїдне перетворення відбуваються в інтервалі температур.

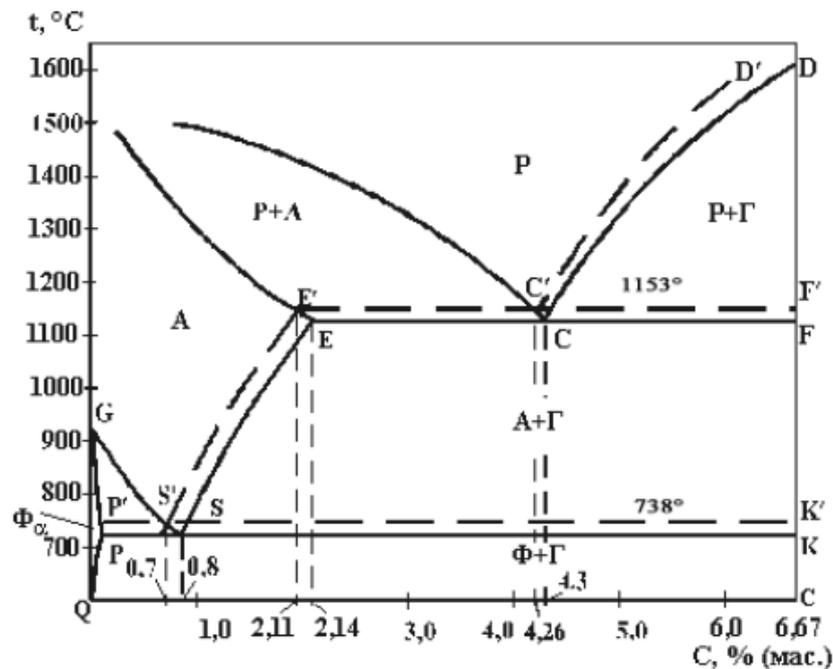


Рис.6.1. Стабільна діаграма стану залізо-графіт (штрихові лінії)

В реальних умовах охолодження перетворення відрізняються від перетворень з безмежно малою швидкістю охолодження (тобто рівноважних). Структура відливок залежить від хімічного складу та швидкості охолодження при кристалізації та евтектоїдному перетворенні. Елементи-графітизатори (кремній, нікель, мідь, алюміній) сприяють збільшенню кількості графіту, а карбідоутворювачі (хром, ванадій, марганець тощо) - підвищенню кількості цементиту (відбілюванню чавуну).

Через те, що в цементиті вміст вуглецю 6,67 %, а в графіті 100%, кінетично більш ймовірно утворення  $Fe_3C$ , не дивлячись на те, що термодинамічно стабільною фазою є графіт (правило Освальда). Тому при швидкому охолодженні можливо утворення цементиту та структури білого чавуну. Зменшення швидкості охолодження сприяє процесу графітизації, тобто діє аналогічно введенню кремнію та алюмінію.

Структура чавунних відливок визначається за допомогою діаграм, що показують залежність структури від хімічного складу чавуну та товщини (швидкості охолодження) відливок. **У залежності від структури металевої основи сірі чавуни поділяються на :**

**феритні:** структура основи - ферит, практично весь вуглець (за винятком розчиненого у фериті) знаходиться у графіті;

**ферито-перлітні:** структура основи - ферит і перліт. У зв'язаному стані знаходиться  $\leq 0,7\%$  вуглецю (в цементиті перліту);

**перлітні:** структура основи - перліт. У цих чавунах 0,7% вуглецю знаходиться в цементиті перліту.

Механічні властивості сірих чавунів залежать від форми, розміру графітних частинок та структури основи. Пластинчастий графіт уявляє собою надрізи (мікротріщини), що знижують границю міцності при розтягуванні, при цьому чим більш дисперсійні графітні частинки, тим вище властивості чавуну. Введення в чавун модифікаторів першого роду приводить до збільшення кількості центрів графітизації та подрібнення частинок графіту.

Присутність у чавунах великої кількості мікронадрізів робить їх малочутливими до концентраторів напружень, шорсткості поверхні деталей. Графіт сприяє утворенню крихкої стружки і тим поліпшує обробку чавунів різанням. Чавуни мають високу демпфірувальну здатність (добре гасять коливання). Крім цього, графіт - гарне мастило, у зв'язку з чим він підвищує антифрикційні властивості чавуну.

Структура металевої основи впливає на границю міцності при стисненні, твердість, зносостійкість, які збільшуються при зростанні кількості перлиту. Ферит, навпаки, зменшує міцність та зносостійкість чавунів.

Сірі чавуни використовуються як матеріал для виготовлення мало- та середньонавантажених опор, деталей сільськогосподарських машин, верстатів, автомобілів, тракторів, станин електродвигунів тощо. Згідно ГОСТ 1412-85 сірий чавун маркується літерами СЧ та цифрами, що характеризують нижнє значення границі міцності при розтягуванні. Наприклад, чавун СЧ15 має  $\sigma_B = 150 \text{ МПа}$  ( $15 \text{ кгс/мм}^2$ ). Властивості чавунів, у тому числі й сірих, можуть бути значно покращені модифікуванням.

**Модифікування** - це введення спеціальних добавок при плавленні або при розливанні сплавів з метою поліпшення їх структури та властивостей.

За впливом на процеси кристалізації розрізняють модифікатори I та II роду. **Модифікатори I роду** у вигляді тугоплавких дисперсних частинок оксидів, нітридів, карбідів тощо - це додаткові центри кристалізації (графітизації). Вони зумовлюють утворення дрібних зерен перлиту та частинок графіту малого розміру в сплаві. Для чавунів модифікатори I роду це - силікокальцій, титан, цирконій, феросиліцій або силікоалюміній (0,5...0,8 %).

**Модифікатори II роду** - це поверхнево-активні речовини. Їх атомний розмір набагато перевищує розмір атомів заліза, тому вони знаходяться не в твердому розчині, а на міжфазній поверхні. Внаслідок цього поверхнево-активні елементи зменшують поверхневу енергію межі поділу "рідина-тверда фаза", що зменшує критичний розмір зародка та змінює форму. Так, наприклад, введення в ківш, в струмінь розтопу або в ливарну форму поверхнево-активних елементів магнію, церію сприяє глобуляризації частинок графіту у чавуні.

Високоміцний чавун (ДСТУ 3925-99). Графіт у цих чавунах має глобулярну форму внаслідок модифікування магнієм чи церієм (0,03...0,07%). Така форма графіту сприяє одночасному підвищенню характеристик міцності та пластичності. Відносне видовження високоміцних чавунів у залежності від марки може змінюватися від 2 до 12%. Структура металевої основи високоміцних чавунів може бути феритною, перлітно-феритною або перлітною. Найвища пластичність ( $\delta \leq 12\%$ ) характерна для феритних, а найбільша твердість і міцність ( $\sigma_B = 500 \text{ МПа}$ ) - для перлітних високоміцних чавунів.

Високоміцні чавуни застосовуються як матеріали для відповідальних деталей, що працюють в умовах дії ударних і знакозмінних напружень та зношування: колінчасті вали, деталі прокатних станів, траверси пресів, корпуси компресорів, крупногабаритні штампи, шестерні, ступиці коліс тощо. Такі чавуни маркуються літерами ВЧ та числами. Наприклад, ВЧ420 - 12, ВЧ450 - 5, ... ВЧ1000 - 2, де числа - це нижня границя міцності при розтягуванні (МПа) та відносне видовження (%).

Ковкий чавун (ГОСТ 1215-79). У ковких чавунах графіт має пластівчасту форму, що є наслідком графітизаційного відпалення доєвтектичних білих чавунів (2,4...2,9 %C, 1,0...1,6 %Si, 0,3...1,0 %Mn). Графіт такої форми, в порівнянні з пластинчастим, менше знижує міцність металевої основи, тому в ковких чавунах відносне видовження досягає значень 2...12 %.

Структура білих чавунів, призначених для відпалення на ковкі: ледебурит, перліт і цементит вторинний. Їх хімічний склад відрізняється від сірих чавунів меншим вмістом вуглецю та кремнію.

Графітизацій відпал проводять у дві стадії: відливки, запаковані в ящики або завантажені в піч із захисною атмосферою, нагрівають до температури першої стадії 950...1000 °C. На початку ізотермічної витримки структура відливок А+Л+Ц<sub>II</sub>. Через те, що термодинамічно стабільною є фазова суміш А+Г, а не А+Ц, у процесі витримки внаслідок розчинення  $Fe_3C$  флукутаційно з'являються та ростуть зародки графіту. Після завершення першої стадії структура чавуну А+Г.

При охолодженні від 1000 °C надлишок вуглецю виділяється з аустеніту (згідно лінії діаграми **ES**), який нашаровується на графітних частинках чи утворює цементит вторинний. Перетворення останнього ( $Fe_3C \rightarrow A+G$ ) призводить до росту графітних частинок (проміжна стадія).

**Чавуни** - багатокомпонентні сплави, евтектоїдне перетворення в яких проходить в інтервалі 760...720<sup>0</sup>C. Тому при повільному охолодженні в цьому інтервалі температур або довготривалій ізотермічній витримці при 720°C проходить друга стадія графітизації. При цьому можливе перетворення аустеніту в перліт із наступним перетворенням його цементиту на ферит і графіт або безпосереднє перетворення аустеніту на ферито-графітну суміш. В залежності від повноти графітизації на другій стадії внаслідок відпалу одержують перліто-феритні або феритні чавуни. Якщо у відливках не відбувається друга стадія - отримують перлітні ковкі чавуни.

З ковких чавунів виготовляють деталі машин, на які діють вібраційні, знакозмінні та ударні навантаження: картери задніх мостів автомобілів, картери редукторів, гаки, штампи холодного деформування тощо. Маркуються ковкі чавуни літерами КЧ та двома числами, з яких перше - нижнє значення границі міцності при розтягуванні (кгс/мм<sup>2</sup>), а друге - відносне видовження (%), наприклад, КЧ 35-10.

## 6.2. Завдання на підготовку до лабораторної роботи

Накреслити діаграму **Fe-C** (на сторінку); описати властивості графіту, вплив його форми та розмірів на властивості чавунів; маркування та призначення чавунів; класифікацію чавунів за структурою металевої основи; графітизаційне відпалення (графік) білих чавунів на ковкі; мета модифікування чавунів.

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

1. Завдяки яким властивостям чавун знаходить широке застосування як конструкційний матеріал ?
2. Як класифікують чавуни в залежності від форми графіту та структури металевої основи? Їх вплив на властивості чавуну.
3. Властивості білих чавунів, їх призначення. Згідно з якою діаграмою стану кристалізуються білі чавуни ?
4. Фактори, що впливають на структуру металевої основи чавуну?
5. Згідно з якою діаграмою стану кристалізується сірий чавун ?
6. Як одержати високоміцний та ковкий чавун ?
7. Що таке модифікування чавунів ? Назвіть модифікатори I та II роду.
8. Які фазові перетворення відбуваються на першій та другій стадіях графітизаційного відпалення ?
9. Як маркуються та для яких деталей застосовуються сірі, високоміцні та ковкі чавуни ?

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

Робота виконується на зразках доєвтектичного, евтектичного та заєвтектичного білих чавунів та чавунів: СЧ 15, ВЧ 600 - 3, КЧ 35-10, КЧ 30-6, КЧ 40-3. Для визначення твердості використовується прилад ТК-2, для дослідження структури – оптичні мікроскопи МІМ-5 та МІМ-7.

### **6.5. Вказівки з техніки безпеки**

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

### **6.6. Порядок проведення лабораторної роботи**

1. Провести мікроскопічне дослідження шліфів. Порівнюючи мікроструктури зразків із фотографіями структур чавунів, що наведені в альбомах, визначити марку чавуну.
2. Схематично зарисувати структури переглянутих сплавів, вказати структурні складові та, користуючись довідниковими даними, виписати біля кожної структури хімічний склад, твердість та призначення сплаву.
3. На 3...4 зразках чавунів із відомою кількістю перлитної складової, визначити твердість HRB, перевести HRB в HB.
4. За експериментальними даними побудувати та обґрунтувати графік залежності “твердість - кількість перлиту”.

5. За допомогою структурної діаграми визначити необхідний вміст кремнію для одержання феритної, ферито-перлитної чи перлитної структури металевої основи у двох відливках із сірого чавуну товщиною 10 та 100 мм (при вмісті вуглецю 3%).

Таблиця 6.6 – Вплив хімічного складу та швидкості охолодження на структуру сірого чавуну

Товщина структури відливки, мм	Вміст Si, % (мас.), для отримання		
	Ф+Г	Ф+П+Г	П+Г
10			
100			

### 6.7. Зміст звіту

Завдання п. 6.2, рис. 6.1, графік графітизаційного відпалення, схеми мікроструктур досліджених зразків чавунів, графік залежності “твердість - кількість перлиту”, табл. 6.6, висновки і пояснення.

### 6.8. Рекомендована література

1. Бялік О.М. Металознавство: підручник / О.М. Бялік, В.С. Черненко, В.М. Писаренко, Ю.Н. Москаленко. – К: ІВЦ «Політехніка», 2001. – с. 217-224.
2. Матеріалознавство: [підручник] / С.С. Дяченко, І.В. Дощечкіна, А.О. Мовлян, Е.І. Плешаков. – Харків:Видавництво ХНАДУ, 2007. – с. 147-156.
3. Гуляев А.П. Металловедение / Гуляев А.П. – М.: Металлургия, 1986. – с. 203-222.
4. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение / Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. – М.: Машиностроение, 1990. – с. 144-156.
5. Материаловедение /Под ред. В.Н. Арзамасова. – М.:Машиностроение, 1986. – с. 165-175.

### Корисне відео:

- <https://www.youtube.com/watch?v=Apt21uHtxcY> – Лабораторная работа "Микроструктура чугунов"
- <https://www.youtube.com/watch?v=-2ov4UBCiVs> – Кривые охлаждения белых чугунов
- <https://www.youtube.com/watch?v=yOЕyMLA1MQY> – Интерактивная диаграмма "Железо-цементит"
- <https://www.youtube.com/watch?v=HdlCehVdNc4> – Material Science, The Iron Carbon Phase Diagram, Part 1

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!**