

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

### ТЕМА СТРУКТУРА, ВЛАСТИВОСТІ Й ЗАСТОСУВАННЯ ЧАВУНІВ

#### *Мета роботи:*

- вивчати вплив хімічного складу, умов кристалізації, режимів термічної обробки на структуру чавунів;
- розглянути взаємозв'язок між їх структурою та властивостями;
- ознайомитись з сферами промислового застосування різних видів чавунів.

#### *Обладнання, матеріали та інструменти*

Металографічні мікроскопи, комплексна система: металографічний мікроскоп - відеокамера - комп'ютери, комплект мікрошліфів чавунів, 3-5 %-ний розчин нітратної кислоти  $\text{HNO}_3$  в етиловому спирті, піпетка, етиловий спирт, вата; альбоми з мікроструктурами чавунів, державні стандарти.

#### *Теоретичні основи*

**Чавуни** - це сплави на основі заліза, що містять переважно від 2,2 до 4 % Карбону (теоретично від 2,11 до 6,67 %). Постійними домішками в чавунах є Манган, Силіцій та шкідливі Сульфур і Фосфор. Для поліпшення механічних властивостей, підвищення зносотривкості, жаротривкості, жароміцності, корозійної тривкості їх легують Хромом, Ніколом, Молібденом, Алюмінієм та іншими елементами. Чавуни широко застосовуються в машинобудуванні як дешеві ливарні сплави, оскільки мають добрі ливарні властивості, добре обробляються різанням. Проте через малу пластичність вони не підлягають обробці тиском, а їх газове чи електродугове зварювання вимагає особливих технологій.

#### *Графітизування чавунів*

Залежно від хімічного складу та умов кристалізації Карбон в чавунах може кристалізуватися як у вільному стані у вигляді графіту, так і у вигляді сполуки з Ферумом - цементиту.

**Графіт** має гексагональну шарувату кристалічну ґратку, дуже низьку пластичність, міцність і твердість.

**Цементит** - це хімічна сполука Феруму з Карбоном (карбід заліза  $\text{Fe}_3\text{C}$ ), що містить 6,67 % Карбону. Він має складну ромбічну кристалічну ґратку із щільним упакуванням атомів, плавиться при 1227 °С, крихкий та твердий (твердість близько 800 НВ).

Графіт на відміну від метастабільного (відносно стабільного) цементиту є стабільною фазою, і тому його кристалізація з розплаву термодинамічно

вигідніша, оскільки забезпечує нижчий рівень вільної енергії сплаву. Виділенню графіту в чавунах, тобто **графітизуванню**, сприяють:

- повільне охолодження;
- підвищення вмісту Карбону та графітизувальних елементів - Силіцію, Алюмінію, Купруму, Ніколу.

За швидкого охолодження рідкого чавуну атоми Карбону не встигають продифундувати в достатній кількості для утворення зародків графіту (потрібно 100 % Карбону), і тому кристалізація проходить з утворенням цементиту, що містить значно менше Карбону (6,67 %). Цей процес виділення Карбону у вигляді цементиту називають **вибілюванням**. Крім швидкого охолодження, вибілюванню сприяють манган, хром та інші карбідотвірні елементи, а також Сульфур. 112

Оскільки цементит у чавунах за атмосферного тиску є метастабільним, то за високих температур він схильний до розкладання на залізо й стабільний графіт. Отже, графітизування чавунів може відбуватися не тільки під час охолодження з розплаву й твердого розчину (аустеніту), але і внаслідок розкладання раніше утвореного цементиту під час тривалого високотемпературного витримування чавуну.

Залежно від стану, в якому перебуває Карбон в чавунах, їх класифікують на білі та машинобудівні чавуни.

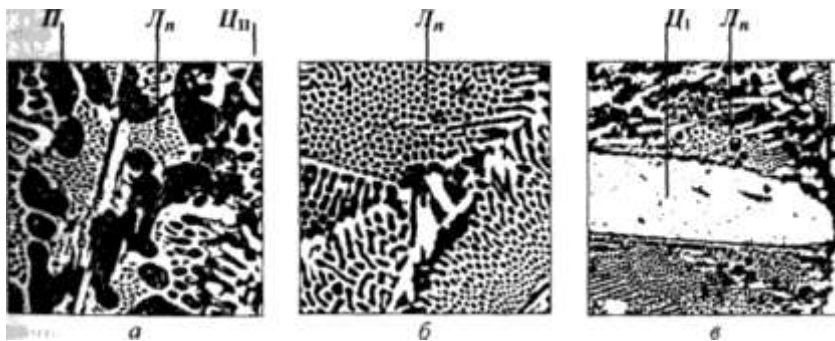
### ***Білі чавуни***

У *білих чавунах* весь Карбон перебуває в цементиті. Завдяки цементиту такі чавуни мають білий блискучий злам, від кольору якого і походить їх назва.

Фазові перетворення в білих чавунах відбуваються за метастабільною діаграмою фазової рівноваги залізо - цементит. Основним структурним складником білих чавунів є евтектика - ледебурит, який нижче температури евтектоїдного перетворення  $\{A_1\}$  складається з перліту (евтектоїдна суміш цементиту й фериту) та цементиту і називається **ледебуритом перетвореним**.

За структурою, залежною від вмісту Карбону, білі чавуни класифікують на:

- **доевтектичні**, що містять від 2,11 до 4,3 % Карбону. їх структура складається з перліту, цементиту вторинного (виділеного з аустеніту) й ледебуриту перетвореного *{рис. 2.9.1, а}*;
- **евтектичні**, що містять близько 4,3 % Карбону і структура яких складається тільки з ледебуриту перетвореного *{рис. 2.9.1, б}*;
- **заевтектичні**, що містять більше ніж 4,3 % Карбону і структура яких складається з ледебуриту перетвореного й цементиту первинного (виділеного з розплаву) *{рис. 2.9.1, в}*.



**Рис. 2.9.1. Мікроструктури білих чавунів, ж400:**

*а - доевтектичний чавун; б - евтектичний чавун; в - заевтектичний чавун;*

*П — перліт, Л<sub>п</sub> - ледебурит перетворений, Ц<sub>п</sub> - цементит первинний,  
Ц<sub>в</sub> - цементит вторинний*

Ледебурит перетворений формується в структурі у вигляді окремих колоній, кожна з яких складається з цементитної основи, яку пронизують пластинки чи стрижні перліту приблизно однакової орієнтації {рис. 2.9.1, б). У структурі білого доевтектичного чавуну окремі темні колонії перліту успадковують від аустеніту, з якого вони утворилися, дендритне розташування {рис. 2.9.1, а). Цементит вторинний чітко виявляється у вигляді дрібних прошарків лише в доевтектичних чавунах з малим вмістом Карбону. Зі зростанням вмісту Карбону, а, отже, і ледебуриту, він стає непомітним, через те що зливається з цементитом ледебуриту. Кристалізація заевтектичних чавунів розпочинається з утворення великих призматичних кристалів цементиту, навколо яких внаслідок евтектичного перетворення формуються колонії ледебуриту {рис. 2.9.1, в).

Отже, структуру білих чавунів у рівноважному стані нижче  $A_1$  творять дві фази - ферит та цементит. За рахунок твердого цементиту, кількість якого збільшується зі збільшенням вмісту Карбону, білі чавуни мають високу твердість (450...550 НВ), дуже крихкі, практично не підлягають різанню лезовим інструментом.

У машинобудуванні білі чавуни мають обмежене застосування. їх використовують тільки як зносотривкий матеріал. Для підвищення зносотривкості та міцності білі чавуни легують Хромом, Манганом, Молібденом, Ніколом, а також термічно обробляють (гартують) на мартенситну структуру. Такі леговані чавуни застосовують для виготовлення зносотривких деталей шламових насосів, гідроциклонів, доменних печей, кульових млинів для розмелювання руд.

### *Машинобудівні чавуни*

Машинобудівні чавуни одержують, забезпечуючи в процесі їх виробництва повний або частковий перебіг графітізування, внаслідок чого весь Карбон або його частина перебуває в чавуні у вигляді графіту. Тому властивості цих чавунів визначаються не тільки структурою металевої основи, але й формою, розмірами, кількістю й характером розташування в основі графітних виділень.

**Графітні виділення.** Оскільки графіт має дуже низькі механічні властивості (твердість за шкалою Мооса – 1,  $\sigma_{\text{н}} = 15...35$  МПа), то машино-будівні чавуни наближено можна розглядати як металеву основу (зі структурою сталі), помережану порожнинами у формі графітних виділень. Що більше в чавуні графітних виділень, що більші їх розміри та гостріші краї, то менша міцність і пластичність чавуну.

Разом з тим, графіт поліпшує деякі експлуатаційні та технологічні властивості чавунів:

- підвищує зносотривкість та антифрикційні властивості за рахунок мастильної дії в зоні тертя ковзанням;
- поліпшує здатність чавуну оброблятися різанням (окрихчення стружки, мастильна дія);
- гасить вібрації й резонансні коливання;
- робить чавун практично нечутливим до поверхневих дефектів і надрізів.

Залежно від способу виробництва, який визначає форму графіту, машинобудівні чавуни класифікують на *чавуни з пластинчастим графітом* (сірі), *чавуни з кулястим графітом* (високоміцні), *чавуни з вермикулярним графітом*, *ковкі чавуни*.

Структура металевої основи. За структурою металевої основи, яка залежить від повноти графітизування, машинобудівні чавуни поділяють на:

- *феритні*, в яких майже весь Карбон чавуну міститься у графіті;
- *феритно-перлітні*, в яких від 0,1 до 0,7 % Карбону витрачається на утворення цементиту, що входить до складу перліту, а решта Карбону утворює графіт;
- *перлітні*, в яких близько 0,77 % Карбону утворює цементит перліту, а решта Карбону - графіт;
- *половинчасті*, в яких більше 0,9...1,0 % Карбону виділяється у вигляді цементиту, а решта - у вигляді графіту. Структура металевої основи цих чавунів складається з перліту, вторинного цементиту, а також ледебуриту перетвореного, якщо Карбону в цементиті більше ніж 2 %.

Структура металевої основи визначає твердість чавунів. Натомість такі властивості, як границя міцності на розтягування, пластичність, ударна в'язкість, залежать як від властивостей металевої основи, так і характеристик графітних виділень. Механічні властивості основних структурних складників металевої основи чавунів наведені в *табл. 2.9.1*.

Таблиця 2.9.1

**Механічні властивості основних структурних складників металевої основи машинобудівних чавунів**

Структурний складник	Границя міцності $\sigma_{\text{н}}$ , МПа	Відносне видовження $\delta$ , %	Твердість, НВ
Ферит	250...400	35...50	110...140
Перліт	800...1000	15...20	200...250
Цементит	30...50	–	750...800

Структура чавунних виливків формується за нерівноважних умов кристалізації й залежить від багатьох чинників: хімічного складу, технології плавлення шихтових матеріалів, швидкості охолодження розплаву в ливарній формі. Її можна змінювати і термічною обробкою виливків.

Для формування бажаної структури металевої основи чавунних виливків, а отже, і потрібних властивостей користуються спеціальними структурними діаграмами, які враховують хімічний склад, зокрема вміст Карбону й Силіцію, швидкість охолодження (найчастіше через товщину стінки виливка) та інші чинники. Так, за структурною діаграмою Гіршовича враховується вплив на структуру вмісту Карбону, Силіцію та швидкості охолодження через залежність

$$C(Si + \lg R_{np}) = K,$$

де  $C$  і  $Si$  – вміст відповідно Карбону й Силіцію;

(2.9.1)

$R_{np}$  - приведений розмір стінки виливка як відношення площі перерізу стінки до периметра.

Тоді лиття у піщані ливарні форми за  $K < 4,5$  забезпечить у виливках перлітно-цементитну структуру металевої основи, за  $K = 4,5 \dots 6,0$  - перлітну структуру, за  $K = 10 \dots 14$  - феритно-перлітну структуру, за  $K > 14$  - феритну структуру.

**Чавуни з пластинчастим графітом.** Вироби з чавунів з пластинчастим графітом одержують безпосередньо заливанням розплавленого металу в ливарні форми. Структура виливків формується під час охолодження відповідно до стабільної діаграми фазової рівноваги залізо-графіт. Наявність у структурі вільного графіту зумовлює матовий сірий колір зламу, від якого походить інша назва цих чавунів - *сірі чавуни*.

Графіт під час кристалізації формується у вигляді вигнутих пелюсток, що виростають зі спільних центрів, утворюючи розгалужені кристали. Такий графіт називають *пластинчастим*. У перерізі мікрошліфа він має вигляд прямих або звивистих зміжок з відношенням довжини до товщини від 10 до 100. (рис. 2.9.2, а). Пластинчастий графіт порушує суцільність металевої основи, створює на краях пелюсток зони сильної концентрації напружень, і тому сірі чавуни характеризуються низькою міцністю на розтягування, згинання, скручування й дуже низькою пластичністю ( $\delta < 0,5\%$ ). Їх рекомендується використовувати для виробів, що підлягають переважно стисканню. Та завдяки пластинчастому графіту в сірих чавунах вдало поєднуються добрі антифрикційні властивості, зносотривкість, здатність гасити вібрації та мала чутливість до концентраторів напружень.

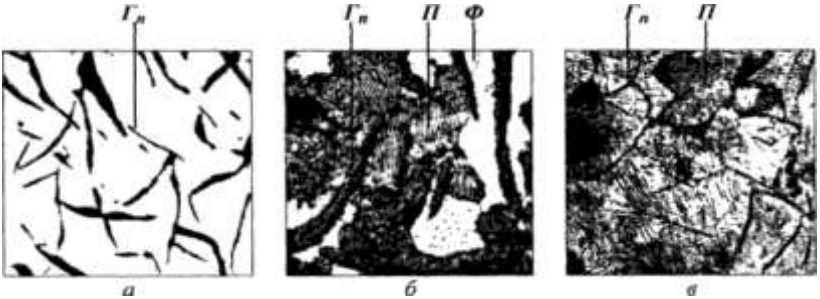


Рис. 2.9.2. Мікроструктури сірих чавунів,  $\times 400$ :

а — нетравлений шліф; б - феритно-перлітний чавун; в - перлітний чавун; Г<sub>н</sub> - графіт пластинчастий; П - перліт; Ф — ферит

Що більше перліту в структурі, що він дисперснійший, то більша твердість, міцність і зносотривкість сірих чавунів. Наявність фериту тільки знижує ці властивості, не збільшуючи пластичності й ударної в'язкості чавуну. Не допускається присутність у структурі *евтектичного цементиту*, який різко погіршує різання виливків. Натомість наявність в структурі за високого вмісту Фосфора *фосфідної евтектики*, складником якої є фосфід Феруму Fe-,P, підвищує зносотривкість чавуну.

Отже, експлуатаційні властивості чавунів з пластинчастим графітом визначаються насамперед структурними ознаками, які оцінюють за:

- співвідношенням фериту й перліту;
- дисперсністю перліту;
- розмірами, розташуванням, кількістю пластинчастого графіту;
- будовою, розташуванням, діаметром комірок сітки фосфідної евтектики;
- кількістю евтектичного цементиту.

Для запобігання вибілюванню в тонких перерізах виливків, забезпечення подрібнення та рівномірного розташування пластинчастого графіту, що підвищує міцність чавуну, рідкий чавун перед заливанням у форму модифікують феросиліцієм, силікокальцієм чи іншими графітізуювальними модифікаторами. Такі *модифіковані* чавуни використовують для виготовлення відповідальних деталей, що працюють в умовах високих навантажень чи зношування.

В окремих випадках застосовується така термічна обробка сірих чавунів:

- низькотемпературний відпал приблизно від 750 °С для поліпшення оброблюваності різанням;
- відпружувальний відпал для усунення ливарних залишкових напружень та небезпеки деформацій;
- гартування або поліпшення (гартування й відпуск) для підвищення зносотривкості.

За ГОСТ 1412-85 марки чавунів з пластинчастим графітом позначаються літерами СЧ (С - сірий, Ч - чавун) і числами, які відповідають мінімально допустимим значенням границі міцності на розтягування у МПаЮ<sup>1</sup>. Для

виготовлення виливків стандартом визначені такі марки: СЧ 10 ( $\sigma_{\text{в}}$  = 100...150 МПа), СЧ 15 ( $\sigma_{\text{в}}$  = 150...200 МПа), СЧ 20 ( $\sigma_{\text{в}}$  = 200...250 МПа), СЧ 25 ( $\sigma_{\text{в}}$  = 250...300 МПа), СЧ 30 ( $\sigma_{\text{в}}$  = 300...350 МПа), СЧ 35 ( $\sigma_{\text{в}}$  > 350 МПа) та за вимогою споживача СЧ 18, СЧ 21, СЧ 24. Вміст основних компонентів в чавунах цих марок змінюється в таких межах: 2,9...3,7 % С, 1,0...2,6 % Si, 0,5...1,1 % Mn, не більше 0,3 % P і 0,15 % S, решта Fe.

Ці чавуни широко застосовують в автотракторобудуванні (в конструкціях автомобілів, тракторів маса виливків з сірих чавунів становить 15...25 % від загальної маси), верстатобудуванні, санітарно-технічній промисловості. Так, з них виготовляють:

- з феритного СЧ 10 - секцій опалювальних радіаторів та котлів, ванни;
- з феритного СЧ 15 - картери, шківни, диски зчеплення, гальмівні колодки автомобілів, корпуси електродвигунів;

- з феритно-перлітних СЧ 20, СЧ 25 (рис. 2.9.2, б)- блоки, головки, гільзи циліндрів автомобільних двигунів, деталі станин завтовшки до 50 мм;
- з перлітних модифікованих СЧ 30, СЧ35 (рис. 2.9.2, в) - розподільні вали (з легованих чавунів), маховики двигунів, станини та столи верстатів.

**Чавуни з кулястим графітом.** Чавуни з кулястим графітом порівняно з іншими чавунами мають вищу пластичність, ударну в'язкість й одночасно міцність (за що їх називають *високоміцними*), що насамперед зумовлено кулястою формою графіту. Основними технологічними операціями ливарного виробництва виливків з цих чавунів є сфероїдизування й подальше інокулювання розплаву.

*Сфероїдизування* має за мету формування кулястого графіту введенням у розплав малих додатків (0,03...0,06 %) сфероїдизувальних металів - Магнію, Церію, Кальцію, під дією яких графіт кристалізується у формі кульок (рис. 2.9.3), які мінімально послаблюють металеву основу чавуну. Найдешевшим та найпоширенішим сфероїдизатором графіту є Магній, який вводиться в розплав у металевому стані або в складі магніймістких лігатур (сплавів) на основі Ni, Si, Cu чи Ca.

*Інокулювання* полягає у введенні в рідкий чавун після сфероїдизування графітизувальних додатків (найчастіше феросиліцію). Це стимулює утворення додаткових зародків графіту, збільшує дисперсність як графіту, так і перліту металевої основи, сприяє формуванню феритної структури, усуває структурну неоднорідність виливків, зменшує схильність до утворення у виливках усадкових дефектів. Інокулювання істотно підвищує міцність і в 1,5...2 рази відносно видовження чавунів.

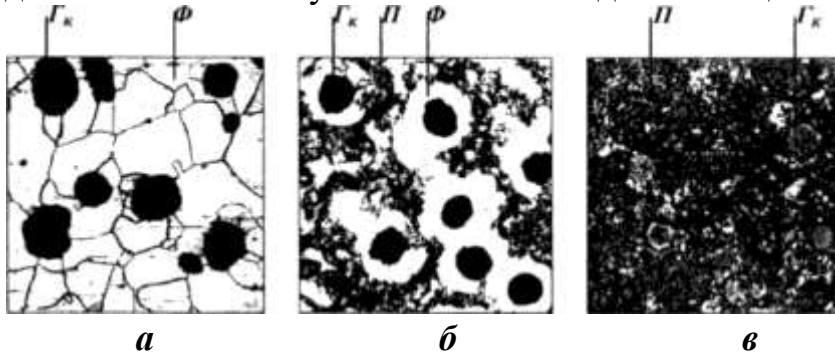
За ДСТУ 3925-99 марки високоміцних чавунів з кулястим графітом визначаються показниками границі міцності на розтягування ( $\sigma_n$ ), умовною границею текучості ( $\sigma_{0,2}$ ) та відносним видовженням Умовне ( $\delta$ ). Позначення марки містить літери ВЧ (В - високоміцний, Ч - чавун), цифрове позначення мінімального допустимого значення  $\sigma_n$  у МПа та через дефіс -  $\delta$  у відсотках. Отже, чавун з кулястим графітом з мінімальними значеннями  $\sigma_n = 600$  МПа та  $\delta = 3$  % позначається так: ВЧ 600-3 ДСТУ 3925-99.

Для виготовлення виливків стандартом призначені такі марки чавуну з кулястим графітом: ВЧ 350-22, ВЧ 400-15, ВЧ 420-12, ВЧ 450-10, ВЧ 450-5, ВЧ 500-7, ВЧ 500-2, ВЧ 600-3, ВЧ 700-2, ВЧ 800-2, ВЧ 900-2, ВЧ 1000-2. Хімічний склад цих чавунів змінюється в таких межах: 2,7...3,8 % С; 1,9...2,9 % Si; 0,2...0,9 % Mn; P не більше 0,1 %, а S - 0,02 %, решта Fe.

Усі марки чавунів з кулястим графітом охоплюють широкий спектр механічних й технологічних властивостей. *Феритні* чавуни (рис. 2.9.3, а) марок ВЧ 350-22, ВЧ 400-15 характеризуються найвищою пластичністю й ударною в'язкістю, забезпечують виливкам холодотривкість, ударотривкість, здатність добре оброблятися різанням та зварюватися. *Перлітні* чавуни (рис. 2.9.3, в) ВЧ

600-3, ВЧ 700-2, ВЧ 800-2, ВЧ 900-2 і бейнітний ВЧ 1000-2 - зносотривкі, здатні чинити високий опір статичним і циклічним навантаженням.

Легування та термічна обробка ефективно поліпшують властивості чавунів з кулястим графітом. Відпал феритних чавунів зменшує їх твердість, підвищує пластичність, ударну в'язкість, полегшує різання. Нормалізація перлітних й, особливо, гартування бейнітного чавуну підвищують твердість, міцність, зносотривкість. Відпуск після гартування усуває залишкові напруження в деталях та забезпечує оптимальне поєднання міцності й пластичності.



**Рис. 2.9.3. Мікроструктури чавунів з кулястим графітом, х300:**

*а - феритний чавун; б - феритно-перлітний чавун; в - перлітний чавун; Г<sub>к</sub> - графіт кулястий; П - перліт; Ф - ферит*

Висока герметичність у поєднанні з ударо- та корозієтривкістю забезпечили високоміцним чавунам з кулястим графітом ефективне застосування як найекономнішого матеріалу напірних труб для води, нафти, агресивних рідинних та газових середовищ. Відцентрово відлиті труби становлять майже половину світового виробництва цих чавунів. Подібні за механічними властивостями до сталевих чавунні труби в 3...8 разів триваліші в експлуатації.

Розподільні й колінчасті вали, блок-картери, головки циліндрів, корпуси коробок передач, задніх мостів, шатуни, поршні, поршневі кільця в автомобілебудуванні; столи, супорти, шпинделі, муфти, зубчасті колеса у верстатобудуванні; плити підштампові гідравлічних пресів, поршні, повзуни механічних пресів, букси, поршневі кільця молотів, напрямні та плунжери ливарних машин - ось далеко не повний перелік виливків з чавунів з кулястим графітом.

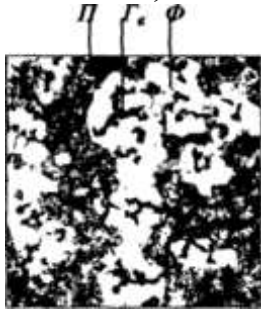
**Чавуни з вермикулярним графітом.** Чавуни з вермикулярним графітом одержують, як і чавуни з кулястим графітом, - модифікуванням магнієвими лігатурами, тільки в меншій кількості, що зумовлює утворення *вермикулярного* (від лат. *vermiculus* - хробачок) графіту. Подібно до пластинчастого графіту вермикулярний має форму графітних пелюсток, тільки менших розмірів, грубших (з відношенням довжини до товщини від 2 до 10) і з заокругленими краями (рис. 2.9.4).

За ДСТУ 3926-99 марки чавунів з вермикулярним графітом позначаються літерами ЧВГ (Ч - чавун, В - вермикулярний, Г - графіт), після яких вказуються



мінімально допустимі значення границі міцності на розтяг у МПа і через дефіс - відносного видовження в %. Отже, за стандартом марка чавуну з вермикулярним графітом з мінімальними значеннями границі міцності на розтяг 400 МПа і відносного видовження 4 % позначається так: ЧВГ 400-4 ДСТУ 3926-99. Крім цих властивостей, стандарт нормує значення твердості в НВ та умовної границі плинності  $\sigma_{0,2}$  в МПа.

Для виготовлення виливків призначені такі марки чавунів: ЧВГ 300-4, ЧВГ 300-5, ЧВГ 400-4, ЧВГ 500-1. Рекомендований стандартом хімічний склад кожної з цих марок чавунів перебуває в таких межах: 3,1...3,9 % С; 2,0...2,8 % Si; 0,2...1,2 % Мп, не більше 0,08 % Р і 0,025 % S, решта Fe.



*Рис. 2.9.4. Мікроструктура феритно-перлітного чавуну з вермикулярним графітом,  $\times 300$ :*

*Г<sub>v</sub> - графіт вермикулярний, П - перліт, Ф ~ ферит*

При однаковій структурі металевої основи механічні властивості чавунів з вермикулярним графітом проміжні між властивостями сірих з пластинчастим та високоміцних з кулястим графітом. Вони переважають сірі чавуни за пластичністю, ударною в'язкістю, корозійною тривкістю, герметичністю, а високоміцні - за здатністю гасити вібрації, оброблятися різанням, за розмірною стабільністю в умовах теплосмін, меншою вартістю (дешевші на 20...30 %). Чавуни з вермикулярним графітом мають меншу усадку та схильність до вибілювання у порівнянні як з сірими, так і високоміцними чавунами. Тому вони особливо ефективні для виливків великої маси й складної форми. У машинобудуванні з чавунів з вермикулярним графітом виливають головки циліндрів морських дизельних двигунів, високошвидкісних дизель-генераторів електростанцій, махові колеса, гідросільні деталі гідронасосів високого тиску, ексцентрикові зубчасті колеса, кришки коробок передач, картери, гальмівні колодки тощо.

**Ковкі чавуни.** Ковкі чавуни одержують шляхом тривалого графітизувального відпалу виливків з білого маловуглецевого (доевтектичного) чавуну такого хімічного складу: 2,4...2,9 % С; 1,0...1,6 % Si; 0,2...1,0 % Мп; до 0,18 % Р і до 0,2 % S; решта Fe. Відпал при високій температурі спричиняє розкладання метастабільного цементиту з утворенням графіту компактної форми з кошлатими краями, так званого *графіту відпалу* (рис. 2.9.5). За впливом на механічні властивості чавуну такий графіт займає проміжне положення між пластинчастим і кулястим графітом. Структура металевої основи ковких чавунів - від феритної до перлітної - залежить від хімічного складу та режиму термічної обробки виливків з білого чавуну.

*Феритний* ковкий чавун (рис. 2.9.5, а) отримують унаслідок повного графітизування білого, яке відбувається під час відпалу у дві стадії (рис. 2.9.6). *Перша стадія графітизування* розпочинається після повільного нагрівання

виливків до 950...1000 °С. Під час тривалої (10...15 год) витримки цементит ледебуриту й надлишковий цементит вторинний розкладаються з утворенням аустеніту та графіту відпалу.

Друга стадія графітизування проходить або під час тривалої (30...50 год) витримки дещо нижче температури евтектоїдного перетворення (730...750 °С) {рис. 2.9.6), коли цементит перліту розкладається на ферит і графіт відпалу, або під час дуже повільного охолодження в інтервалі евтектоїдного перетворення, коли аустеніт перетворюється у ферит з виділенням графіту. Після завершення другої стадії графітизування й повільного охолодження до кімнатно-температури структура виливків складається з фериту й графіту відпалу {рис. 2.9.5, а). Якщо другу стадію графітизування не доводити до завершенню то після охолодження в структурі металевої основи виливків, крім фериту, був присутній перліт.

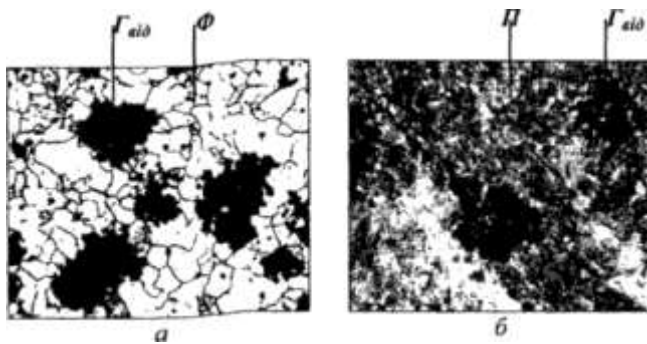


Рис. 2.9.5. Мікроструктури феритного (а) та перлітного (б) ковких чавунів,  $\times 400$ :  
Г<sub>відпалу</sub> – графіт відпалу; П – перліт; Ф – ферит

Перлітний ковкий чавун {рис. 2.9.5, б) одержують шляхом графітизувального відпалу виливків з білого чавуну, який завершують неперервним охолодженням до кімнатної температури після першої стадії графітизування (рис. 2.9.6).

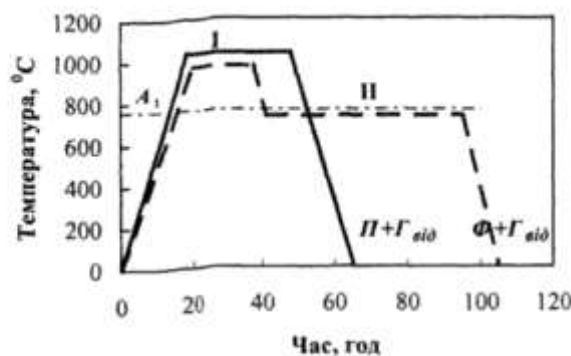


Рис. 2.9.6. Схема можливих режимів графітувальних відпалів для виробництва феритного (---) та перлітного (—) ковких чавунів:  
I – перша стадія графітизування; II – друга стадія графітизування;  
П – перліт; Ф – ферит; Г<sub>відпалу</sub> – графіт відпалу

Під час охолодження аустеніт перетворюється в пластинчастий перліт. Такий чавун має високу міцність ( $\sigma_s = 500...800$  МПа), але й малу пластичність ( $\delta = 2...5$  %). Для підвищення пластичності за збереження високого рівня міцності на етапі охолодження після першої стадії графітизування виконується коротка (2...4 год) ізотермічна витримка нижче евтектоїдної температури, яка виконує роль сфероїдизувального відпалу, що перетворює пластинчастий перліт на зернистий.

За ГОСТ 1215-79 марки ковких чавунів позначають літерами КЧ (К -ковкий, Ч - чавун), після яких вказуються мінімально допустимі значення границі міцності на розтяг у  $\text{МПа} \cdot 10^{-1}$  й через дефіс - відносного видовження у відсотках. Приклад позначення вилівка з ковкого чавуну з мінімальними значеннями границі міцності на розтяг 300 МПа і відносного видовження 6 % та з феритною металевою основою: вилівок КЧ 30-6 - Ф ГОСТ 1215-79.

Феритні ковкі чавуни КЧ 35-10, КЧ 37-12 використовують для виготовлення деталей, що підлягають значним статичним і динамічним навантаженням (картери редукторів, фланці, муфти). Перлітні ковкі чавуни КЧ 50-5, КЧ 60-3, КЧ 70-2 та інші високоміцні, зносотривкі в експлуатації з мастилом, тому з них виготовляють деталі конвеєрних ланцюгів, вилки карданних валів, шатуни, кронштейни.

Істотним недоліком виробів з ковких чавунів є висока вартість внаслідок тривалого високотемпературного відпалу та обмеження розмірів. Вилівки з білого чавуну мають бути тонкостінними (завтовшки близько 50 мм), щоб уникнути під час кристалізації утворення в осерді замість цементиту пластинчастого графіту, що послаблює чавун більше за графіт відпалу. З цією ж метою вихідні білі чавуни повинні містити якнайменше Карбону й Силіцію.

Тому в промисловості існує стабільна тенденція до заміни вилівоків з ковкого чавуну вилівками з високоміцного, який до того ж має кращі ливарні властивості.

**Половинчасті та вибілені чавуни.** *Половинчасті чавуни* внаслідок незавершеного графітизування містять в структурі металевої основи перліт, цементит вторинний або ще й ледебурит перетворений, що забезпечує їм високу зносотривкість. Залежно від умов одержання графіт в них може мати пластинчасту, вермикулярну чи кулясту форму. З легованих половинчастих чавунів виготовляють прес-форми склоформуючих машин, деталі плунжерних машин лиття під тиском, деталі, що працюють в умовах зношування та значних навантажень, - штампи, волокни, прокатні валки.

*Вибілені чавуни* формуються доборою хімічного складу та режимів лиття так, щоб під час кристалізації в тонкому поверхневому шарі виробів проходив процес вибілювання й утворювався білий чавун, а в осерді - внаслідок повільнішого охолодження відбувалося графітизування з утворенням сірого чавуну з пластинчастим графітом. Перехідною між цими структурами є структура половинчастого чавуну. Завдяки високій зносотривкості поверхневого шару

виливки з вибіленого чавуну можуть використовуватися для виготовлення валків прокатних станів, барабанів млинів, вагонних коліс тощо.

Стандартів на половинчасті та вибілені чавуни не існує.

### ***Послідовність виконання роботи***

1. Підготуйте до мікродослідження комплект мікрошліфів різних типів та марок чавунів: відполіруйте та протравіть їх поверхню 3-5 %-ним розчин нітратної кислоти  $\text{HNO}_3$  в етиловому спирті.

2. Перегляньте в полі зору мікроскопа за збільшення в 100 разів нетравлені мікрошліфи чавунів з пластинчастим, кулястим графітом та графітом відпалу (ковкі). Методом порівняння з еталонними шкалами за ГОСТ 3443-77 оцініть форму графіту (Гф), розмір графітних часточок (Граз), розташування пластинчастого графіту (Гр), кількість графіту (Г).

3. Перегляньте в полі зору мікроскопа за збільшення в 100...200 разів протравлені мікрошліфи білих чавунів, чавунів з пластинчастим, кулястим, вермикулярним графітом та з графітом відпалу (ковкі). Для машинобудівних чавунів методом порівняння з еталонними шкалами за ГОСТ 3443-77 оцініть вид структури металевої основи, співвідношення фериту і перліту, дисперсність перліту, будову, характер розташування й розмір комірок фосфідної евтектики, кількість та розмір ізольованих часточок вторинного цементиту чи цементиту ледебуриду перетвореного.

4. Схематично зарисуйте мікроструктури переглянутих мікрошліфів чавунів. Схеми зарисовок мікроструктури різних типів машинобудівних чавунів показані *нарис. 2.10.7*. Стрілками з відповідними символами позначте на рисунках фази та структурні складові ( $G_n$  - графіт пластинчастий,  $G_v$  - графіт вермикулярний,  $G_k$  - графіт кулястий,  $G_{від}$  - графіт відпалу,  $Ц_{II}$  - цементит вторинний,  $\Phi$  - ферит,  $П$  - перліт,  $Л_n$  - ледебурид перетворений,  $\Phi$  - фосфідна евтектика).

5. Біля кожної схеми структури запишіть розгорнуту характеристику відповідного чавуну:

- доберіть можливу марку чавуну;
- коротко опишіть спосіб виробництва деталей з цього чавуну;
- укажіть орієнтовний хімічний склад чавуну;
- опишіть мікроструктуру чавуну, оцініть графіт і структуру металевої основи за еталонними шкалами ГОСТ 3443-77;
- охарактеризуйте механічні й технологічні властивості чавуну;
- укажіть можливе застосування вибраної марки чавуну.

### ***Зміст і вимоги до звіту***

У звіті необхідно:

1. Указати порядковий номер і назву лабораторної роботи.

2. Сформулювати мету роботи.
3. Коротко охарактеризувати класифікацію чавунів за різними ознаками, способи одержання, маркування, структуру, властивості, застосування машинобудівних чавунів.
4. Зарисувати схеми структур переглянутих мікрошліфів чавунів та охарактеризувати ці чавуни.

### *Контрольні запитання*

1. Що називається графітизуванням та які чинники впливають на цей процес?
2. Що називається вибілюванням та які чинники впливають на цей процес?
3. Охарактеризуйте структуру, властивості й застосування білих чавунів.
4. Охарактеризуйте вплив графіту на властивості машинобудівних чавунів.

*Рис. 2.10.7. Схеми зарисовування мікроструктур риних типів машинобудівних чавунів*

Структура металевої основи	Чавуни			
	з пластинчастим графітом	ковкі	з кулястим графітом	з вермикулярним графітом
Феритна				
Феритно-перлітна				
Перлітна				