

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторної роботи №1
«Дослідження чавунів, які застосовуються в якості
антифрикційних, фрикційних та зносостійких матеріалів»
з дисципліни «Зносостійкі, фрикційні та антифрикційні
матеріали» для студентів освітньої програми «Відновлення та
підвищення зносостійкості деталей і конструкцій» усіх форм навчання

2017

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи №1 «Дослідження чавунів, які застосовуються в якості антифрикційних, фрикційних та зносостійких матеріалів» з дисципліни «Зносостійкі, фрикційні та антифрикційні матеріали» для студентів освітньої програми «Відновлення та підвищення зносостійкості деталей і конструкцій» усіх форм навчання / Укл.: М.І. Андрущенко, О.Є. Капустян. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2017. - 22 с.

Укладачі: М.І. Андрущенко, канд. техн. наук, доцент
О.Є. Капустян, старш. викл.

Рецензент: М.Ю. Осіпов, канд. техн. наук, доцент

Редактор: І.П. Аверченко

Відповідальний за випуск: О.Є. Капустян

Затверджено
на засіданні кафедри ОТЗВ
Протокол № 1 від 22.08.2017

Рекомендовано до видання
НМК ІФФ
Протокол № 1 від 19.09.2017

ЗМІСТ

1 МЕТА РОБОТИ.....	4
2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ	4
2.1 Переваги і недоліки чавунів	4
2.2 Особливості хімічного та структурного станів чавунів.....	5
2.3 Структурні перетворення і графітизація	6
2.4 Способи отримання і керування структурою та властивостями чавунів з графітом.....	10
2.4.1 Термообробка і модифікування.....	10
2.4.2 Вплив легування	13
2.5 Структура та властивості білих зносостійких чавунів.....	14
2.5.1 Вплив легування на структуру й властивості білих чавунів	16
2.6 Області використання чавунів.....	19
3 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ І КОНТРОЛЮ ПІДГОТОВЛЕНOSTІ СТУДЕНТІВ ДО РОБОТИ	20
4 МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТ, ПРИЛАДИ, ОБЛАДНАННЯ	21
5 ВКАЗІВКИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ.....	21
6 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ...21	
7 ЗМІСТ ЗВІТУ	22
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	22

1 МЕТА РОБОТИ

Дослідити структуру, коефіцієнт тертя ковзання та зносостійкість чавунів в залежності від хімічного складу та параметрів режиму термічної обробки.

2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

2.1 Переваги і недоліки чавунів

Різноманіття й широке застосування чавунів, у тому числі й у вузлах тертя, обумовлено низкою їхніх переваг у порівнянні зі сталями.

Більш низька температура плавлення й закінчення кристалізації при постійній температурі (утворення евтектики) забезпечують кращі текучість в стані рідини і заповнюваність форми, тобто гарні ливарні властивості цих матеріалів. За інших рівних умов (рівень легування, експлуатаційні властивості й ін.) деталі із чавунів дешевше, ніж зі сталей.

Наявність графіту в сірих чавунах полегшує оброблюваність різанням (робить стружку ламкою). Графітні виділення в сірих чавунах швидко гасять вібрації й резонансні коливання деталі або конструкції, сприяють поглинанню звуку. Сірі чавуни мало чутливі до дефектів поверхні (надрізам і т.д.).

Завдяки змащувальним властивостям графіту, багато чавунів має гарні антифрикційні показники.

Багато білих легованих чавунів мають високу зносостійкість в умовах абразивного зношування й сухого тертя. У сучасному машинобудуванні на частку деталей із чавуну доводиться близько 75 % від загальної маси виливків.

Однак, більшість чавунів характеризуються малою здатністю до пластичної деформації (практично не піддаються куванню). Через підвищену крихкість переваги багатьох чавунів можуть бути реалізовані головним чином у тих деталях, які не зазнають значних розтягувальних і ударних навантажень.

Білі чавуни погано піддаються механічній обробці.

2.2 Особливості хімічного та структурного станів чавунів

За загальноприйнятим розумінням до чавунів відносяться сплави на основі заліза, які містять вуглецю більше 2,14 % С. Однак, необхідно відзначити, що подібно тому, що серед нелегованих або низьколегованих сталей, які промислово виробляються, практично немає таких, у яких вміст вуглецю вище 1,3 % (не беручи до уваги нечисленного класу графітізованих сталей), так і в чавунах, що здобули широке поширення, вміст вуглецю, за звичай, вище 2,5 %. Тобто, досить широкий діапазон вмісту вуглецю в нелегованих сталях і чавунах в основному не «задіяний». Тільки в деяких марках, наприклад, у жароміцних алюмінієвих чавунах (до 25 % Al) нижній рівень концентрації вуглецю може становити 1,6 %.

Другою особливістю чавунів (крім підвищеного вмісту вуглецю) є протікання в них при закінченні кристалізації евтектичної реакції (для нелегованих чавунів при вмісті вуглецю вище 2,14 % і температурі 1147° С), у результаті якої в структурі утворюється евтектика (ледебурит). Однак багато легуючих елементів знижують рівень евтектичної концентрації вуглецю, і за цією ознакою (утворення евтектики) до чавунів можна було б віднести й ряд високолегованих інструментальних сталей, наприклад, сталі типу X12. У той же час, на відміну від більшості чавунів ці матеріали піддаються гарячому деформуванню куванням, а деякі й прокаткою. Тому їх відносять до сталей.

Слід зазначити, що гарячому деформуванню по спеціально розроблених технологіях піддаються й деякі види чавунів зі сприятливою формою графітних включень.

Таким чином, досить чітко провести границю між чавунами й сталями складно. І все-таки, як правило, для чавунів характерні: високий вміст вуглецю, що приводить до утворення евтектики, відсутність здатності до гарячого деформування, і підвищена, у порівнянні зі сталями, текучість в стані рідини.

Важливою особливістю чавунів є те, що вуглець у них може перебувати, як і в сталях, у складі карбідів - **білі чавуни**, так і у вільному стані у вигляді графіту - **сірі чавуни**. Це залежить від характеру структурних перетворень при кристалізації, термообробці й хімічного складу. Варто звернути увагу, що при опису структури сталей

під термінами «металева матриця» або «основа» мають на увазі твердий розчин у вигляді фериту, аустеніту, мартенситу або сполучення цих фаз. У той же час по відношенні до чавунів часто використовується термін «перлітна матриця», хоча сам по собі перліт є сумішшю твердого розчину (фериту) і карбідів.

2.3 Структурні перетворення і графітизація

Можливі два варіанти структурних перетворень у чавунах.

1. Відповідно до метастабільної діаграми стану залізо - цементит (рис. 2.1) при кристалізації сплавів в інтервалі концентрацій від проекції точки Е до проекції точки С, в них спочатку виділяються зерна аустеніту (складу по лінії JE) і рідина, яка залишилася, з концентрацією вуглецю, що відповідає точці С, при температурі на рівні лінії EF перетворюється в евтектику – ледебурит - механічну суміш цементиту й аустеніту. При подальшому охолодженні до кімнатної температури з аустеніту по лінії ES через зменшення розчинності виділяється вторинний цементит. Нижче температури, що відповідає рівню РК, аустеніт перетворюється в перліт. Таким чином, після повного охолодження структура сплавів в інтервалі концентрацій між проекціями точок Е и С складається з ледебуриту, вторинного цементиту й перліту.

Сплави в інтервалі концентрацій між проекціями точок С и F кристалізуються з виділенням з рідкого розплаву первинного цементиту по лінії DC, на рівні лінії CF відбувається евтектичне перетворення з утворенням з рідини, що залишилася, ледебуриту. Нижче рівня CF буде цементит і ледебурит, а нижче рівня SK аустеніт ледебуриту переходить у перліт. Чавуни, які кристалізуються за цією схемою, зі збереженням цементиту після повного охолодження, називають білими (за кольором зламу).

2. Остаточна кристалізація чавунів може, за певних умов, відбуватися з виділенням з рідини не цементиту, а елементарного вуглецю у вигляді графіту, тобто утвориться суміш «аустеніт + графіт», замість евтектики «аустеніт + цементит».

Відповідно до законів термодинаміки перехід з одного агрегатного стану в інше, у нашому випадку з рідкого стану у тверде,

викликаний тим, що при умовах, які змінилися (у цьому випадку зниження температури), новий стан виявляється більше стійким, тобто має менший запас вільної енергії.

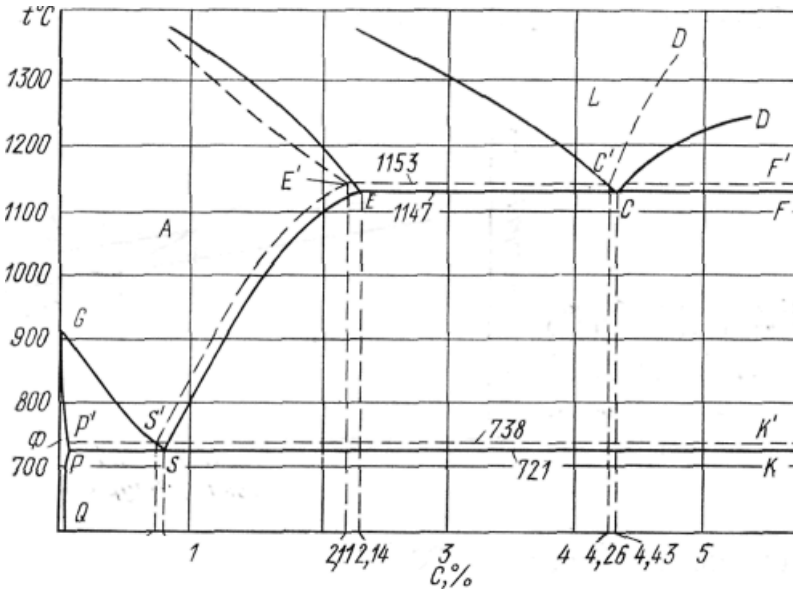


Рисунок 2.1 - Діаграма Fe-C. (суцільні лінії залізо - цементит, штрихові залізо - графіт)

Відомо, що графіт більш стійка фаза, чим цементит. Це значить, що суміш «аустеніт + графіт» має меншу вільну енергію, чим суміш «ферит + цементит» або «аустеніт + цементит». За звичай характер зміни вільної енергії фаз при зміні температури ілюструють схемою (рис. 2.1). Лінії зміни вільної енергії рідкого розплаву й суміші «аустеніт + цементит» при зміні температури перетинаються при температурі 1147° С. Нижче цієї температури протікає процес кристалізації, вище відбувається плавлення чавуну.

Оскільки суміш «аустеніт + графіт» є термодинамічно більш стійкою, чим суміш «аустеніт + цементит», то лінія, що характеризує вільну енергію суміші «аустеніт + графіт», розташовується при всіх температурах нижче лінії, яка характеризує вільну енергію суміші «аустеніт + цементит». Тому лінія вільної енергії «аустеніт + графіт» перетне лінію вільної енергії рідини при температурі вищій, чим 1147 °С, у цьому випадку при 1153 °С. На діаграмі Fe-C (рис. 2.2)

лінію рівноваги фаз (рідина – аустеніт + графіт) при 1153 °С ($E^1 - F^1$) зображують штриховою.

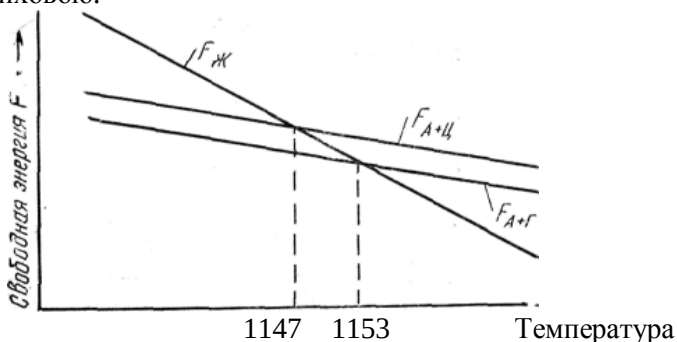


Рисунок 2.2 - Схема зміни вільної енергії фаз в залежності від температури.

Аналогічні міркування можливі й відповідно до процесу виділення графіту з аустеніту при 738 °С по лінії $Pl - K1$, або по лінії $S^1 - E^1$ в інтервалі температур 738-1153 °С. Систему залізо - графіт (діаграма зі штриховими лініями) називають стабільною на відміну від метастабільної діаграми залізо-цементит.

Отже, при кристалізації з погляду термодинаміки більш «вигідно» утворення суміші аустеніту й графіту, а не аустеніту й цементиту. Однак на практиці безпосереднє виділення графіту з рідини в нелегованих чавунах відбувається рідко.

Справа в тому, що утворення графіту з рідини або аустеніту - процес повільний, тому що робота утворення зародку графіту велика і потрібна значна дифузія атомів вуглецю для утворення кристалів графіту. Також необхідний і відвід атомів заліза від фронту його кристалізації.

Необхідно враховувати, що утворення графіту з рідини відбувається при охолодженні у вузькому інтервалі температур між лініями стабільної й метастабільної діаграм, тобто в умовах малого переохолодження, що можливо при дуже малих швидкостях охолодження.

Крім того, якщо порівняти кристалічні структури аустеніту, цементиту й графіту, то можна звернути увагу, що структури цементиту й аустеніту близькі, а графіту і аустеніту істотно розрізняються. І по складу аустеніт і цементит ближче один до одного, чим аустеніт і графіт (аустеніт містить до 2,14 % С, цементит 6,67 %

С, а графіт 100 % С). Тому утворення цементиту з аустеніту, а також і з рідини відбувається легше.

Таким чином, незважаючи на те, що з позицій термодинаміки при кристалізації і наступному охолодженні **залізовуглецевих сплавів** імовірніше утворення сірого чавуну, на практиці, при некерованих циклах охолодження виливків, кінетичні умови (підвищені швидкості охолодження) і близькість структур і складу аустеніту і цементиту, обумовлюють одержання у виливках структур білого або половинчастого чавуну. В останньому частина вуглецю зв'язана в карбідах, а частина перебуває у вільному стані.

Ролі графіту й карбідів, залежно від умов експлуатації чавуну, можуть бути полярно протилежні. В одних випадках, карбіди, будучи фазою яка зміцнює, слугують серйозною перешкодою для абразивних зерен. В інших, наприклад, при роботі деталі з білого чавуну в парі «втулка - вал», карбіди можуть виступати як абразив, інтенсивно зношуючи поверхню сполученої деталі.

У той же час, через край низьку твердість графіту, місце, яке він займає у поверхневому шарі деталі, при зношуванні абразивом з погляду оцінки співвідношення H_a/H_m по суті є порожнечою (мікропорою). Тому графітні включення не тільки не сприяють опірності абразивному зношуванню, але можуть вступати своєрідними каталізаторами інтенсифікації цього процесу. Однак в умовах зношування пари тертя «метал по металу» при відсутності абразиву, графіт діє як мастило, сприяє зниженню коефіцієнта тертя й інтенсивності зношування.

У зв'язку із цим, залежно від призначення чавунних деталей при їхньому виготовленні, можуть стояти два істотно різні по змісту й методам вирішення завдання:

1. Забезпечення структури, у якій вуглець, що не увійшов у металеву основу (матрицю) перебуває тільки у вигляді графіту - антифрикційні, деякі фрикційні чавуни, чавуни для деталей машин, які не беруть участь у парах тертя (корпусні деталі, кронштейни й т.д.).

2. Забезпечення структури, у якій весь, не розчинений у матриці вуглець, бере участь в утворенні карбідів - білі чавуни, призначені, найчастіше, для роботи в умовах різних видів абразивного зношування.

У деяких випадках потрібно забезпечити поєднання в структурі

певних кількостей графітних включень і карбідів (частина фрикційних чавунів та ін.) які знаходяться в загальній металевій матриці.

Для вирішення цих завдань необхідні знання основ прогнозування й керування структурним станом чавунів.

2.4 Способи отримання і керування структурою та властивостями чавунів з графітом

2.4.1 Термообробка і модифікування

Крім розглянутого вище процесу утворення графіту безпосередньо при кристалізації, можливий інший спосіб його одержання. У зв'язку з тим, що цементит нестійка сполука, то він при певній температурі розпадається з утворенням аустеніту й графіту або фериту і графіту. Для здійснення цього процесу потрібна дифузія вуглецю до центрів кристалізації графіту і самодифузія заліза від місць, у яких графіт виділяється. При кімнатній температурі цей процес практично не протікає, але з підвищенням температури різко прискорюється.

Найбільш наочно зміна структури при графітизації простежується за широковідомою схемою (рис. 2.3)

У результаті нагрівання білого чавуну вище лінії PSK перліт перетворюється в аустеніт; витримка при цих температурах ($> 738^{\circ}\text{C}$) приводить до графітизації надлишкового цементиту, що розчинився. Якщо процес закінчився повністю, то при високій температурі структура буде складатися з аустеніту й графіту, а після охолодження з перліту й графіту.

При переході через критичну точку (лінія PSK) аустеніт перетворюється в перліт і витримка при температурах, близьких, але нижче критичної точки, може привести до розпаду цементиту перліту (друга стадія графітизації). При повністю завершеному процесі весь цементит перліту розкладеться, утвориться ферито-графітна структура, а при частковому перетворенні залишиться перліт.

Таким чином, основними факторами, що визначають кількість графіту в нелегованому чавуні, є швидкість охолодження деталі при кристалізації, температура і час витримки при графітизації цементиту.

Однак кількість графіту є тільки одним із параметрів структури,

який впливає на властивості чавуну. Важливим фактором є форма графітних включень. Найбільш імовірна форма включень, які утворюються при кристалізації в нелегованих і не модифікованих чавунах у вигляді витягнутих прожилок або пелюстків - пластинчастий графіт. Однак такі включення відіграють роль мікротріщин, гострих надрізів усередині металевої матриці. Тому механічні властивості чавуну, особливо при напругах, що розтягують, значно гірше, ніж сталей такого ж складу, як і матриця чавуну. Відносне подовження сірого чавуну із пластинчастим графітом не досягає 1 %. Значно нижче, ніж у сталей і межа міцності на розтягання. При цьому керувати цими властивостями чавуну шляхом зміни властивостей матриці термообробкою, подібно сталям, практично не можливо, оскільки, у кожному разі, визначальним фактором залишається тріщиноподібна форма пластинчастого графіту. Разом з тим існує великий перелік деталей, для яких рівень механічних властивостей сірого чавуну із пластинчастим графітом цілком достатній.

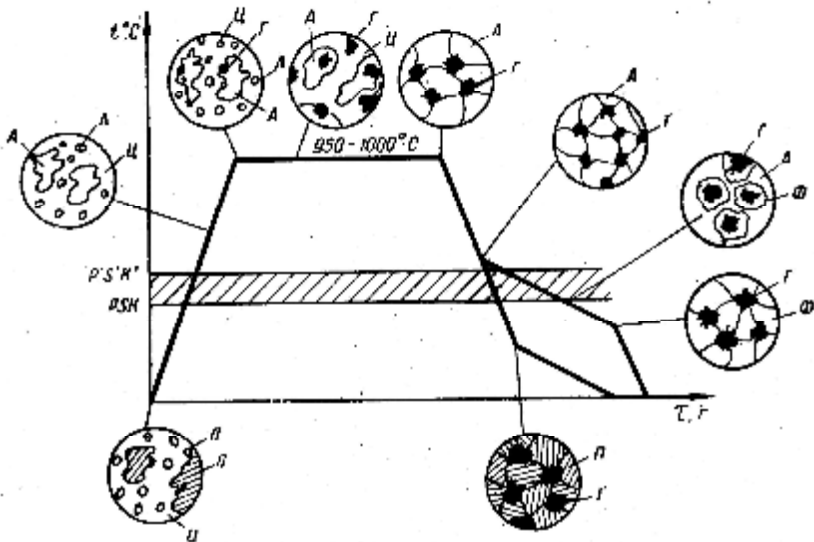


Рисунок 2.3 - Графік відпалу ковкого чавуну

У значно меншій мірі, ніж пластинчастий графіт послабляють металеву матрицю пластівчасті (вермикулярні) або кулясті включення

графіту. Перші з них характерні для **ковкого** чавуну, а кулясті включення є складовими структури **високоміцних** сталей.

Структуру ковкого чавуну одержують у виливках, виготовлених з білого чавуну, підданого відпалу з метою графітизації, у відповідності зі схемою (рис. 2.3), у результаті чого цементит розпадається, а графіт, що утворився, здобуває форму пластівців. Загальний час відпалу до повної графітизації може досягати 80 годин.

Досить важливо, щоб до графітизації чавун був повністю у вибіленому стані. У протилежному випадку вихідні пластинки графіту й після відпалу зберігаються в незмінній гострій формі, що обумовить зниження механічних властивостей.

Для прискорення графітизації перед відпалом білий чавун піддають загартуванню на дрібнозернисту структуру, що збільшує кількість центрів кристалізації графіту.

Для інтенсифікації процесу графітизації шляхом термообробки ковкий чавун також модифікують Te , B , Mg та ін. елементами.

Механічні властивості ковкого чавуну визначаються структурою металевої основи, кількістю й ступенем компактності включень графіту. Металева основа ковкого чавуну залежно від типу термообробки може бути феритною, ферито-перлітною і перлітною. Найбільш високі механічні властивості має ковкий чавун, з матрицею зернистого перліту. Ним можна замінити литу або ковану сталь. У тих випадках, коли потрібна підвищена пластичність, застосовують феритний ковкий чавун. Він має кращу здатність до демпфірування, ніж сталь, і меншу чутливість до надрізів, задовільно працює при низьких температурах.

Відносне подовження ковких феритних чавунів досягає 10-12 %, а міцність при цьому становить 300-350 МПа. При перлітній основі міцність підвищується до 600 МПа, однак відносне подовження знижується до 2 %.

Високоміцний чавун, що характеризується кулястою або близькою до неї формою включень графіту, одержують модифікуванням рідкого чавуну присадками Mg , Ce , Y , Ca і деяких ін. елементів (у чистому виді або в складі сплавів). Присадки можуть уводити в струю чавуну при його розливанні або в ківш при частковому його заповненні.

Кулястий графіт у найменшій мірі послабляє металеву матрицю, що приводить до різкого підвищення механічних властивостей чавуну

з перлітною або бейнітною структурою, наближаючи їхню властивість до властивостей вуглецевих сталей. При чисто феритній матриці забезпечується підвищений рівень пластичності. Відносно подовження високоміцних чавунів досягає 10-15 %, а міцність - рівня вуглецевих сталей.

Ці чавуни застосовуються для заміни сталевих литих і кованих деталей (колінчасті вали двигунів, компресорів і т.д.), а також деталей з ковкого або звичайного сірого чавуну.

2.4.2 Вплив легування

Промислові чавуни є не чистими залізовуглецевими сплавами, а містять, як і стали, різні домішки - кремній, марганець, сірку, фосфор, але ще в більших кількостях. У присутності цих і інших елементів умови графітизації можуть істотно мінятися. Введення різних добавок до чавуну може привести до виникнення додаткових центрів кристалізації графіту, що сприяє в ряді випадків його утворенню. Робота утворення зародка графіту при цьому може бути менше, ніж цементиту, і тому можливо утворення кристалів графіту нижче температури 1147 °С.

Постійні домішки й легуючі елементи по різному впливають на процеси графітизації - одні сприяють графітизації, інші - відбілюванню.

Орієнтовно структури чавуну, залежно від вмісту домішок, можна визначити за структурними діаграмами (рис. 2.4 і 2.5).

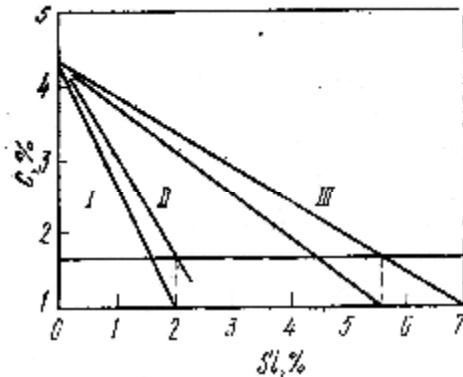
Можливість одержання вільного графіту при відсутності легуючих елементів залежить головним чином від вмісту кремнію (див. рис. 2.3). Для його одержання необхідно, щоб сумарного вмісту вуглецю й кремнію було більше 4 %.

Алюміній також сприяє утворенню графіту в чавуні.

Таким чином застосовуючи наведені способи, можна вирішувати першу із двох, вище названих, задач - одержання чавунів з графітом. Керування кількістю графіту і формою можна:

- змінюючи кількість і тип елементів графітизаторів і вуглецю;
- застосовуючи модифікатори при плавленні чавуну;
- регулюючи швидкість охолодження виливки;

- управляючи параметрами відпалу при графітизації.



I - білі чавуни; II - сірі перлітні чавуни; III - сірі феритні чавуни

Рисунок 2.4 - Структурна діаграма, впливе співвідношення кремнію і вуглецю на структуру чавуну

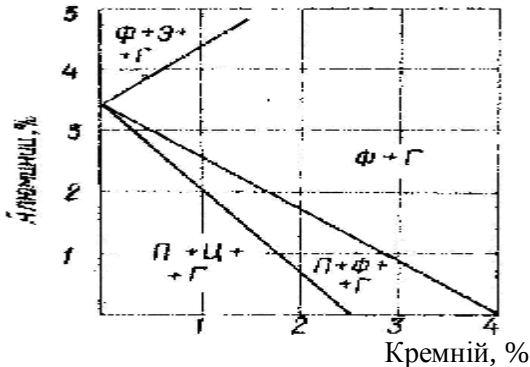


Рисунок 2.5 - Структурний стан чавуну в залежності від вмісту кремнію і алюмінію

Додатково, властивостями матриці, у ряді випадків, можна управляти загартуванням і відпуском.

2.5 Структура та властивості білих зносостійких чавунів

Більшість білих чавунів, які застосовуються для роботи в умовах різних видів абразивного зношування, є високолегованими

сплавами. Необхідність легування обумовлена наступним.

Відомо, що опірність зношуванню визначається властивостями двох складових структури – фази, яка зміцнює (у чавунах, найчастіше, це карбіди) і металевої матриці. При цьому найбільший ріст зносостійкості досягається, якщо їхня твердість наближається або перевершує твердість абразиву. Мікротвердість зерен кварцового піску - найпоширенішого абразиву близько 13 ГПа. Цей же показник для карбіду нелегованого чавуну - цементиту досягає тільки 9-10 ГПа.

Мікротвердість мартенситної матриці перебуває на рівні 8–9 ГПа. Однак у процесі зношування в результаті механічного наклепу твердість мартенситу, на відміну від цементиту, може збільшуватися до 11 ГПа.

У ще більшій мірі, в багатьох умовах зношування, може зміцнюватись поверхня тертя (до 12 - 12,5 ГПа) якщо в структурі присутня велика кількість метастабільного залишкового аустеніту. У цьому випадку зміцнення відбувається "подвійною тягою":

- за рахунок утворення в процесі зношування з нестабільного аустеніту нової високоміцної фази - мартенситу деформації;
- у результаті механічного наклепу.

Таким чином, присутність у структурі карбідів цементитного типу при мартенситній або аустенітній метастабільній матриці найчастіше даремна, оскільки його твердість не перевищує твердості основи на поверхні тертя. Більше того, через підвищену крихкість їхня участь може відігравати негативну роль, знижуючи рівень в'язкості та пластичності чавуну. Ці обставини є однією із причин необхідності легування чавунів елементами, що утворюють більш тверді карбіди, чим цементит.

Крім того, необхідно звернути увагу на те, що стійкість аустеніту до перлітних перетворень у нелегованому чавуні при охолодженні дуже низька (С- подібні діаграми зсунуті вліво). Тому одержати у виливках, особливо підвищеної товщини, мартенситну, а тим більше, аустенітну основу, практично не можливо.

Отже, чавун необхідно легувати елементами, що не тільки утворюють карбіди підвищеної твердості, але підвищують стійкість аустеніту до розпаду при охолодженні.

2.5.1 Вплив легування на структуру й властивості білих чавунів

Основним легуючим елементом у білих чавунах є хром. Залежно від необхідних властивостей чавуну (зносостійкість, жаро- або корозійна стійкість), його вміст може досягати 35 %. Будучи феритизатором, хром звужує межі існування аустенітної області на діаграмі Fe-C-Cr (рис. 2.6), і зменшує розчинність вуглецю в аустеніті. При збільшенні вмісту цього елемента знижуються евтектична й евтектоїдна концентрації вуглецю.

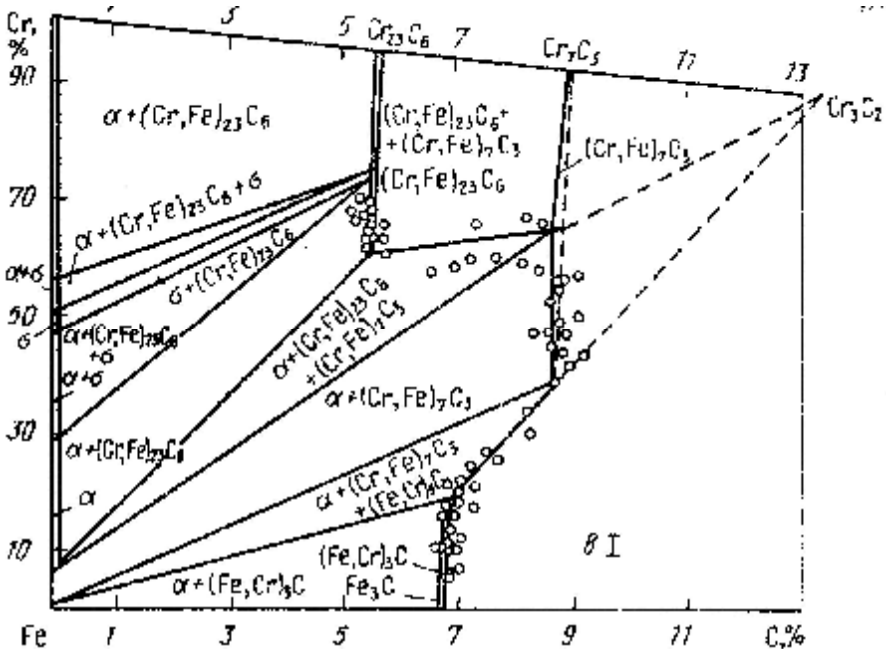


Рисунок 2.6 - Ізотермічний розріз діаграми Fe – C – Cr при кімнатній температурі

Хром утворює спеціальні карбіди типу Me_7C_3 (тригональний) і $Me_{23}C_6$ (кубічний).

Діапазон даних про мікротвердість цих карбідів, які приводяться в літературі досить широкий - від 11 до 24 ГПа, частіше в межах 13 – 16 ГПа. Значний розбіг значень обумовлений двома причинами.

По-перше, тригональний карбід хрому має виражену

анізотропію – різні властивості уздовж осі **c** та осей **a** й **b**.

Це зумовлено різними типами зв'язків між атомами - ковалентної уздовж осі **c** і металевої по осях **a** і **b**.

По-друге, кількість заліза, розчиненого в карбідах хрому, яке замінило атоми хрому, може істотно коливатися, залежно від загального співвідношення хрому й вуглецю в сплаві. Тому дані про властивості того самого типу карбідів при різному вмісті в ньому заліза можуть істотно відрізнятися.

Важливо звернути увагу на те, що присутність хрому в сплаві на основі заліза ще не говорить про те, що в структурі повинен перебувати карбід хрому. Нескладний аналіз горизонтального (ізотермічного) розрізу діаграми Fe-C-Cr (див. рис. 2.6) показує, що утворення тригонального карбіду можливо тільки при перевищенні деякого критичного значення співвідношення Cr/C. При відношенні кількостей хрому/вуглецю в сплаві нижче 2,5 (рис. 2.6) утвориться тільки карбід цементитного типу $(Fe,Cr)_3C$, у якому частина атомів заліза (до 18 – 20 %) заміщена атомами хрому. Чим більше в чавуні вуглецю, тим вище повинен бути вміст хрому, при якому повністю можна виключити утворення карбідів цементитного типу.

Особливістю литих чавунних деталей у порівнянні зі сталевими заготовками, виготовленими із прокату або кованих, є те, що структура чавуну, сформована при кристалізації виливка (морфологія, характер розподілу, розміри карбідів) є, найчастіше, остаточною. Від неї залежать службові властивості деталей. У цьому зв'язку варто звернути увагу на наступне.

Розходження в кристалічній будові цементиту й спеціальних карбідів, а також анізотропія властивостей тригонального карбіду обумовлюють особливості формування структури чавунів при їхній кристалізації.

При остаточній кристалізації чавунів з утворенням карбідів типу $(Fe,Cr)_3C$ (приблизно до 9 % Cr) утворюються ледебуритні колонії, у яких матричною фазою є крихкий цементит, а розгалуженою - аустеніт. Це негативно позначається на механічних властивостях чавунів.

При кристалізації з утворенням евтектики, що включає карбіди типу $(Cr,Fe)_7C_3$ матричною фазою є аустеніт, а розгалуженою - карбіди, тобто утвориться структура композиційного матеріалу, у якій крихка фаза перебуває в порівняно в'язкій основі. Завдяки цьому

механічні властивості чавуну помітно підвищуються.

Таким чином, існує граничне значення співвідношень хрому й вуглецю в чавунах, вище якого в результаті заміни карбідів цементитного типу на тригональний карбід, спостерігається практично стрибкоподібне поліпшення властивостей чавунів.

Тому більшість, застосовуваних на практиці білих зносостійких чавунів містять не менш 12 % хрому.

Крім хрому, з метою поліпшення структури, яка формується при кристалізації, підвищення твердості карбідної фази, а також для забезпечення можливості керувати властивостями металевої матриці, до складу чавунів вводять інші легуючі елементи.

Більшою спорідненістю до вуглецю й здатністю утворювати карбіди характеризується ванадій. Він створює високотійкий кубічний карбід VC твердістю до 28 ГПа. У цементиті ванадій мало розчинний. Кількість ванадію необхідна для повного виключення ледебуриту зі структури залежить від вмісту вуглецю в чавуні. Зокрема при 2-2,4 % C це досягається при 6-7 % V.

Позитивною особливістю первинної структури ванадієвих чавунів є мілкодисперсність карбідів округлої або витягнутої форми, порівняно рівномірно розподілених в евтектичних колоніях. При цьому для колоній характерна компактна куляста форма, на відміну від витягнутих конусоподібних евтектичних колоній, що формуються на основі карбіду $(Cr,Fe)_7C_3$. Завдяки цьому ванадієві чавуни з аустенітною основою характеризуються незвичайно високою для білих чавунів пластичністю. Відносне подовження може досягати 8 %. Ця обставина, поряд з високою твердістю карбідів, обумовлює підвищений інтерес до ванадієвих чавунів. Однак, з огляду на високу вартість ванадію, повинні бути досить вагомі аргументи, при обґрунтуванні необхідності застосування чавунів легованих ванадієм.

Значно дешевший і доступніший, ніж ванадій є титан. Він утворює найбільш тверді карбіди (до 32 ГПа) серед карбідів, які можуть утворювати метали в стопах на основі заліза. Але на сьогодні, на жаль, не існує технологій, які б забезпечували при отриманні чавуну перехід в нього достатньої кількості титану.

Крім карбідів, можлива присутність у чавунах карбоборидів, але в значно менших кількостях, ніж в матеріалах для наплавлення.

В цілому в білих чавунах одержують такий же набір структур, як і у сталях. Металева матриця може змінюватися від феритної, у

відпаленому стані, до мартенситної або аустенітної після загартування. Для керування її властивостями найчастіше використовують марганець, рідше нікель. Відмінною рисою чавунів по відношенню до сталей є більш високий вміст фази, що зміцнює, інколи до 50- 65 %.

Для роботи при підвищених температурах й в окисному середовищі застосовують жаростійкі, корозійностійкі й жароміцні чавуни. До складу цих чавунів крім великої кількості хрому вводяться, кремній, алюміній, що утворюють щільну плівку, яка пасивує поверхню та охороняє метал від подальшого окислювання і забезпечує жаростійкість.

2.6 Області використання чавунів

Для антифрикційного чавуну на початку марки вказується буква А (АСЧ, АВЧ, АКЧ).

Антифрикційні чавуни часто використовують як заміники кольорових металів у вузлах тертя. ГОСТ 1585-85 передбачає десять марок чавунів антифрикційних, призначених для виготовлення литих деталей. Основними умовами застосування антифрикційного чавуну у вузлах тертя є якісне змащення і збільшені зазори між втулкою і валом на 15-30 % у порівнянні з кольоровими сплавами.

Фрикційні чавуни призначені, перш за все, для використання в муфтах зчеплення і гальмівних пристроях. Кращими фрикційними властивостями характеризуються чавуни перлітного класу, тобто з перліто - графітовою структурою. За присутності “вільного” фериту в структурі чавуна, знижується коефіцієнт тертя і з’являється схильність до схоплювання деталей, які спряжені. Тому фериту в структурі повинно бути не більше 10 %.

З другого боку кількість вільного цементиту не повинна перевищувати 2 %. Інакше із-за різниці коефіцієнтів теплового розширення цементиту і перліту можливо виникнення глибоких термічних тріщин. Суттєво легувати фрикційні чавуни з метою підвищення твердості не рекомендується, оскільки це може привести до пониження коефіцієнту тертя.

Білі чавуни за хімічним складом більш різноманітні, ніж

графітизовані, і частіш за все, є високолегованими.

Найбільш поширені хромисті, хромомолібденові, хромомарганцеві, хромонікелеві чавуни.

Рівень легування хромом 12 – 25 %, інколи до 30 %, молібденом до 3 %, марганцем – 3 -5 %, нікелем до 3 %.

Рідше в невеликих кількостях легують титаном, міддю, бором.

Особливим класом є ванадієві чавуни, перспективність використання, яких стримується високою ціною.

Область використання охоплює практично всі добувні галузі промисловості, металургію, енергетику, виробництво будівельних матеріалів та інші. Це деталі для футерування обладнання для дроблення матеріалів, тіла (кулі) для розмельних млинів. Футеровки різних пристроїв для завантаження руди, вугілля, агломератів та ін. Валки для холодної і гарячої прокатки. Корпусні та робочі деталі піскових насосів. Лопаті змішувальних машин, які використовуються при виробництві бетону, асфальту, цементу. Лицювальні деталі, захисні втулки пустотоутворювачів, гільзи, мундштуки, керни пресої оснастки для виготовлення будівельних матеріалів.

3 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ І КОНТРОЛЮ ПІДГОТОВЛЕНOSTІ СТУДЕНТІВ ДО РОБОТИ

3.1 Переваги чавунів відносно сталей та інших зносостійких матеріалів.

3.2 Особливості хімічного та структурного складу чавунів.

3.3 Структурні перетворення в чавунах при кристалізації, охолодженні та нагріванні.

3.4 Чим визначаються перший або другий варіанти перетворень.

3.5 В чому полягає різниця в технологіях отримання ковкого та високоміцних чавунів.

3.6 Основні структурні признаки чавунів різних видів.

3.7 Способи управління структурою білих та сірих чавунів.

3.8 Основні вимоги до властивостей антифрикційних та фрикційних чавунів.

3.9 Вимоги до структури фрикційних та антифрикційних чавунів.

3.10 Області застосування фрикційних та антифрикційних чавунів.

3.11 Області застосування білих чавунів.

3.12 Способи отримання ковкого чавуну.

4 МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТ, ПРИЛАДИ, ОБЛАДНАННЯ

4.1 Зразки із сірих та білих чавунів та із сталі 45.

4.2 Верстат для полірування зразків.

4.3 Прилади для визначення твердості за Роквеллом та Брінеллем.

4.4 Прилад для визначення мікротвердості матеріалів ПМТ – 3.

4.5 Оптичний мікроскоп NU 2.

4.6 Комп'ютер. Набір цифрових фотографій структур чавунів.

4.7 Прилад для визначення коефіцієнту тертя ковзання ТММ32А.

5 ВКАЗІВКИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

При виконанні роботи не допускати можливості нанесення травм при випадковому падінні зразків чи нанесенні подряпин їх гострими кромками.

6 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

6.1 Підготувати 2 - 3 зразки шліфів для металографічного аналізу та визначення мікротвердості поверхні.

6.2 Визначити твердість та мікротвердість зразків.

6.3 З використанням мікроскопу та шляхом аналізу комп'ютерних зображень зробити опис структури чавунів. Визначити розміри і, орієнтовно, кількість карбідів.

6.4 Вивчити конструкцію приладу для визначення коефіцієнту тертя ковзання ТММ32А та методику випробувань.

6.5 Визначити силу тертя при ковзанні чавунного та сталюого зразків. Розрахувати коефіцієнти тертя цих матеріалів.

7 ЗМІСТ ЗВІТУ

7.1 Найменування і мета роботи.

7.2 Короткі теоретичні відомості особливостей чавунів різних видів. Способи отримання та керування структурою. Переваги і недоліки. Области застосування.

7.3 Хімічний склад досліджених чавунів.

7.4 Методика випробувань.

7.5 Таблиця результатів досліджень.

7.6 Аналіз результатів.

7.7 Висновки.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Бунин К.П., Таран Ю.Н. Строение чугуна. - М.: Металлургия, 1972 – 160 с.

2. Попов В.С., Брыков Н.Н. Металловедческие аспекты износостойкости сталей и сплавов. – Запорожье, 1996. – 180 с.

3. Тылкин М.А. Справочник термиста ремонтной службы. – М.: Металлургия, 1981. – 648 с.

4. Цыпин И.И. Белые износостойкие чугуны. Структура и свойства. - М.: Металлургия, 1983. – 176 с.