Міністерство освіти і науки України

ЖИТОМИРСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРНОЇ МЕХАНІКИ

Кафедра автомобілів і транспортних технологій

**ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ ПО МАТЕРІАЛОЗНАВСТВУ**

Лабораторні роботи по матеріалознавству для студентів технологічних спеціальностей всіх форм навчання за напрямом підготовки

Житомир 2018

Лабораторний практикум по матеріалознавству. Методичний посібник до виконання лабораторних робіт з розділу «Матеріалознавство» для студентів технологічних спеціальностей всіх форм навчання. / Упоряд.: М.М. Можаровський. – Житомир: ЖДТУ, 2018

Затверджено методичною комісією зі спеціальності „Галузеве машинобудування” (протокол № від ) за поданням кафедри автомобілів і транспортних технологій (протокол № від ).

В навчальному посібнику розглянуті закономірності формування структури і властивостей металічних і неметалічних матеріалів. Показаний взаємозв’язок між структурою і властивостями матеріалів. Приведена сучасна уява про механізми зміцнення та механізми зміни інших механічних властивостей металів і сплавів. Розглядаються сплави чорних і кольорових металів, будівельні конструкційні матеріали – цемент і бетон. Посібник представляє собою цикл лабораторно - практичних робіт по розділу «Матеріалознавство».

Посібник призначений для студентів технологічних спеціальностей всіх форм навчання за напрямом підготовки .

**ВСТУП**

«Практикум по матеріалознавству» являє собою збірник теоретичних відомостей і завдань для виконання практичних робіт по дисципліні «ТКМ і матеріалознавство».

Мета проведення практичних робіт – привити студентам навики самостійної роботи з технічною літературою. Для виконання практичних завдань Вам знадобляться наступні уміння і навики:

* пошук відомостей по визначеній темі;
* вибір необхідної і достатньої інформації з одного або декількох джерел;
* розуміння як текстового так і графічного, і числового уявлення інформації;
* аналіз отриманої інформації;
* узагальнення отриманих даних;
* логічна побудова відповіді на питання, що виключає протиречиві ствердження;
* використання фактичних даних для підтвердження свого за-ключення (наприклад, механічних характеристик матеріалів);
* розрахунок параметрів структури і механічних характеристик з використанням формул, побудови графічних залежностей за знайденими числовими даними;
* вибір режимів термічної обробки сплавів з використанням графічних і аналітичних залежностей;
* грамотне і чітке формулювання своїх думок і кінцевого висновку.

Пізнавальна цінність, самостійність роботи студентів і набуття ними навиків роботи з технічною літературою, аналізу і інтерпретації отриманої інформації роблять практичні роботи однією із важних частин вивчення дисципліни.

Теми практичних робіт відповідають всім основним розділам дисципліни. Кожне завдання виконується індивідуально або під групою з двох студентів для отримання навичок сумісної роботи. Перед виконанням практичної роботи необхідно прочитати теоретичний матеріал і засвоїти основні положення. В ході виконання роботи знадобляться додаткові відомості з навчальної і довідникової літератури. Кожен студент оформляє виконане завдання індивідуально.

**ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1**

**Методи дослідження металів та сплавів**

 Мета роботи - вивчити термічний, дилатометричний, електронно мікроскопічний та рентгенівські методи дослідження; ознайомитися з будовою та принципом роботи приладів та установок, які використовуються при проведенні досліджень цими методами.

**1.1 Загальні відомості**

 Всі методи дослідження, які застосовуються в металознавстві, поділяються на дві групи. До першої групи відносяться прямі методи дослідження, за допомогою яких вивчають структуру металів та сплавів. Деякі непрямі методи (термічний, дилатометричний і ін.) дозволяють встановити зв’язок між структурою та властивостями матеріалів.

 Друга група методів дає можливість безпосередньо виявити хімічний склад матеріалу та його механічні, фізичні, магнітні або технологічні властивості. Всебічну і достатню інформацію стосовно структури та властивостей матеріалу можна отримати при використанні тільки всього комплексу методів.

**1.1.1 Термічний метод**

 Термічний метод застосовують для визначення температур фазових перетворень в металах та побудови діаграм стану сплавів. На рис. 1.1 показано схему устаткування для проведення термічного аналізу. Термопара - це спаяні разом дроти двох різних металів або сплавів. Якщо нагріти спай термопари, то виникає термоелектрорушійна сила (ТЕРС), під дією якої струм відхиляє стрілку гальванометра. Від різниці між температурою гарячого та холодних кінців термопари залежить ТЕРС, абсолютне значення якої дозволяє визначити температуру сплаву. Сплав нагрівають до рідкого стану, а потім повільно охолоджують та фіксують температуру через кожні 20...30 с. Використовуючи ці дані, будують криві охолодження (або нагрівання) в координатах “температура-час” (рис. 1.2, а).



1 – електропіч; 2 - тигель із металом; 3 – термопара; 4 - гальванометр

Рисунок 1.1 - Схема установки для термічного аналізу

 ***Фазові перетворення*** - плавлення (або кристалізація), зміна кристалічної гратки, розчинення (або кристалізація) надлишкових фаз супроводжуються виділенням чи поглинанням тепла. Внаслідок цього на кривих охолодження спостерігаються температурні зупинки, коли перетворення відбувається при постійній температурі, або перегини, якщо перетворення здійснюється в інтервалі температур (рис. 1.2). Наприклад, на кривих охолодження умовний чистий метал А кристалізується при температурі tA, а I (38%В+62%А) - в інтервалі температур t3…t1, стоп ІІ – в інтервалі t4…t2. Ці температурні точки називають критичними.

 ***Критичні точки*** використовують для побудови діаграми стану сплавів у координатах “температура - хімічний склад сплавів”. Діаграма стану - це графічні зони стійкого існування фаз у залежності від хімічного складу стопів та температури. Для побудови діаграми визначають критичні точки для цілого ряду сплавів, наносять їх в зазначеній системі координат і з’єднують плавними лініями (рис. 1.2, б). Лінії відокремлюють зони із різними фазами, точки ліній характеризують

хімічний склад фаз, що знаходяться в рівновазі; температури початку та кінця фазових перетворень. Діаграми стану є рівноважними і відповідні структури можна одержати лише при повільному охолодженні сплавів. Знання діаграми необхідне для визначення фазового складу сплаву, вибору режимів термічної обробки та температур технологічних процесів.



а – криві охолодження; б – діаграма стану умовних металів А та В

Рисунок 1.2 - Побудова діаграми стану за допомогою кривих охолодження

**1.1.2 Дилатометричний метод**

 В основі цього методу - зміна об’єму матеріалу при нагріванні чи охолодженні. При ізотропному розширенні зразка фіксується його довжина. Використовують метод для визначення коефіцієнтів лінійного термічного розширення металів та сплавів для різних температурних інтервалів, вивчення температур фазових перетворень у твердому стані.

 За допомогою дилатометра записують дилатометричну криву, що показує зміну подовження зразка у залежності від температури (рис. 1.3) або в процесі ізотермічної витримки. Якщо у сплаві відсутні фазові перетворення, то довжина зразка змінюється монотонно (рис.1.3, інтервал температур 20...911°С). При температурі 911°С (точка **A3** ) довжина зразка значно зменшується, оскільки ОЦК гратка **Fe𝜶** перетворюється в більш компактну ГЦК гратку **Fe𝜸**.



Рисунок 1.3 - Дилатометрична крива для чистого заліза

 Подальше нагрівання приводить до збільшення довжини зразка зі структурою **Fe𝜸** внаслідок теплового розширення.

 Найчастіше використовують диференційні дилатометри (рис.1.4), за допомогою яких фіксується різниця подовжень зразка та еталона (стопу з відомим коефіцієнтом лінійного термічного розширення). Зразок **1** та еталон **2** розміщують в запаяні з одного кінця кварцові трубки **3** та **4**.За допомогою кварцових стрижнів (**6** та **7**) подовження зразка та еталона передаються через металеві стрижні **8** рухомим опорам **10** та **11** трикутника, на якому розміщене дзеркало **5**; третя опора - нерухома.



Рисунок 1.4 - Схема диференційного дилатометра

 Промінь світла від джерела **13** відбивається від дзеркала **5** і фокусується на матовому склі або фотоплівці **9**. Дилатометричну криву одержують при переміщенні світлового променя внаслідок одночасного подовження зразка та еталона. Розташування кривої, а також кут її нахилу відносно горизонтальної осі визначається співвідношенням подовження зразка та еталона.

**1.1.3 Метод електронної мікроскопії**

 Метод електронної мікроскопії дозволяє вивчати тонку структуру металів та сплавів при збільшеннях до 500 тис. разів і більше та одержувати більш повні знання про механізми фазових перетворень, пластичної деформації та руйнування металів, вивчати дефекти кристалічної будови. В електронному мікроскопі використовують електронні промені та систему електромагнітних лінз. Мікроскоп складається із герметичної колони, в якій досягається високий вакуум (до 1,3×10-5 Па) і розташована електронна оптика, та блоків живлення. На рис.1.5 показана схема електронного мікроскопа для просвічування. Випромінювач електронів складається з катода **1**, фокусуючого електрода **2** та анода **3**. Конденсорна лінза **4** фокусує електронні промені на об’єкті **5**. Об’єктивна лінза **6** дає збільшене проміжне зображення в площині селекторної діафрагми **7**. Проміжна лінза **8** передає центральну ділянку зображення на предметну площину проекційної лінзи **9**, яка кінцеве зображення формує на екрані або фотопластинці **10**. Об’єктивна та проекційна лінзи збільшують приблизно у сто разів кожна.



Рисунок 1.5 - Схема електронного мікроскопа

 Загальне збільшення мікроскопа (приблизно до ×106 разів) визначається фокусною відстанню електромагнітних лінз і регулюється величиною струму в їх обмотках. Прискорювальна напруга до 100 кВ, розрізнювальна здатність (найменша частинка, деталі якої можна роздивитись - 0,2 нм, товщина фольги для просвічування не більш, ніж 10-нм, (0,1...1 мкм). Таку фольгу виготовляють з більш товстої пластини при електролітичному травленні в спеціальних розчинах. При проходженні електронів через фольгу контраст зображення виникає внаслідок розсіяння електронів на атомах, що зміщені із нормального положення в області дефекту (границі зерен, дислокації та інші дефекти кристалічної будови).

 Непрямим методом за допомогою реплік можна вивчати поверхню масивних зразків. Репліка – це плівка (лакова, вугільна, оксидна тощо), яку наносять на поверхню зразка а потім відділяють від зразка і досліджують. Репліка передає рельєф поверхні, в ній знаходяться частинки надлишкових фаз, склад котрих можна визначити. В останні роки широке розповсюдження знайшли растрові електронні мікроскопи, що дозволяють безпосередньо вивчати рельєф зламів, мікроструктуру та хімічний склад зразка без виготовлення реплік або фольг.

**1.1.4 Рентгенографічні методи дослідження**

 В залежності від характеру використання рентгенівських променів всі методи розподіляють на рентгеноструктурний, рентгеноспектральний аналізи та рентгенівську дефектоскопію. Рентгеноструктурний аналіз заснований на дифракції, яка виникає при розсіянні променів атомами гратки. Розшифровують дифракційні картини за допомогою рівняння Вульфа-Брега: **2dhklsin**q**=n**λ. Дифракційні максимуми спостерігаються тоді, коли промені довжиною λ, віддзеркалені від паралельних площин з відстанню між ними **dhkl** під кутом q мають різницю ходу, що дорівнює цілій кількості довжин хвиль (довжина хвилі залежить від матеріалу анода рентгенівської трубки). Вимірюючи на рентгенограмах кути віддзеркалення q, визначають характеристику кристалічної гратки (**dhkl**). Дифракційна картина від монокристала характеризується закономірно розташованими точковими рефлексами. Їх число, форма та інтенсивність дають можливість визначити орієнтацію монокристала, тип та розмір кристалічної гратки.



Рисунок 1.6 – Дифракційна картина від полікристала та схеми рентгенограм від ОЦК

і ГЦК граток

 Від полікристала дифракційні промені розповсюджуються у вигляді системи конічних поверхонь, тому в залежності від розташування плівки відносно первинних променів на рентгенограмі спостерігають кільця або лінії у вигляді відрізків дуг (рис. 1.6). Аналіз дифракційної картини і відповідні розрахунки дозволяють визначити: якісний та кількісний фазовий склад кристалічного зразка; тип і розмір кристалічної гратки; внутрішні напруження; розпад пересичених твердих розчинів; орієнтацію зерен в текстурованих матеріалах тощо.

 ***Рентгеноспектральний аналіз*** дозволяє визначити хімічний склад матеріалу і базується на властивості кожного елемента випромінювати характеристичні рентгенівські промені, які з’являються при опроміненні зразка електронами достатньої високої енергії. Інтенсивність променів залежить від кількості певного елемента. Використовуючи еталони, можна проводити і кількісний аналіз.

 Сучасні мікроаналізатори дозволяють аналізувати у мікрооб’ємах (приблизно 3 мкм3) практично всі елементи; чутливість визначення становить 0,1...10-6 % в залежності від порядкового номера елемента та розміру електронного зонда. Ділянка для вивчення вибирається за допомогою мікроскопа, вісь якого збігається із точкою падіння електронного зонда на зразок. При переміщенні зонда можна записатизміну інтенсивності, яка відповідає концентрації елемента уздовж цього напрямку. Рентгеноспектральний аналіз здійснюється за допомогою растрового електронного мікроскопа (РЕМ).

 ***Рентгенівська дефектоскопія*** ґрунтується на різній здатності рентгенівських променів поглинатися при проходженні через матеріали різної товщини та щільності. Метод має високу чутливість та універсальність, застосовується для контролю якості виробів і дозволяє виявити раковини, пустоти, шпарини, непровари зварних швів, тріщини, вкраплення тощо. Схему просвічування показано на рис. 1.7. Дефекти на плівці виявляються у вигляді більш темних або світлих плям порівняно із фоном.



Рисунок 1.7 - Схема просвічування деталей

 Щільне вкраплення поглинає промені, тому на рентгенограмі у відповідному місці буде світла пляма на загальному фоні. Там, де розташована раковина, спостерігається затемнення, тому що інтенсивність променів, що пройшли через деталь, більша.

***1.2 Завдання на підготовку до лабораторної роботи***

 Записати сутність і призначення термічного, дилатометричного, електронномікроскопічного та рентгенівських методів дослідження. Зарисувати схеми приладів та установок, що застосовуються при використанні цих методів.

***1.3 Контрольні запитання для самоперевірки і контролю підготовленості до лабораторної роботи***

1.3.1. Сутність та призначення термічного, дилатометричного, електрон-нооптичного та рентгенівських методів дослідження.

1.3.2. Устрій дилатометра, електронного мікроскопа.

1.3.3. Як за допомогою термічного метода побудувати діаграму стану?

1.3.4. Приготування реплік та фольг для електронномікроскопічного аналізу.

1.3.5. Особливості рентгеноструктурного та рентгеноспектрального методів дослідження.

1.3.6. Сутність методу неруйнівного контролю якості деталей за

допомогою рентгенівських променів.

***1.4 Матеріали, інструменти, прилади та обладнання***

 Для виконання роботи використовуються: нагрівальні печі з автоматичним регулюванням температури, диференційний дилатометр, електронний мікроскоп, рентгенівський дифрактометр ДРОН-1.

***1.5 Вказівки з техніки безпеки***

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

***1.6 Порядок проведення лабораторної роботи***

 Ознайомитися з устрієм та принципом роботи дилатометра,електронного мікроскопа та рентгенівського дифрактометра ДРОН-1.

***1.7 Зміст звіту***

Мета роботи, загальні відомості відповідно до завдання, пункт 1.2, 1.3, 1.7.

***1.8 Література***

1. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов. /Лахтин Ю.М.– М.: Металлургия, 1984. – с. 36-42.

2. Гуляев А.П. Металловедение / Гуляев А.П. – М.: Металлургия,1986. – с. 15-16.

3. Геллер Ю.А., Рахштадт А.Г. Материаловедение: методы анализа,

лабораторные роботы и задачи / Ю. Геллер, А. Рахштад. – М.:

Металлургия, 1983. – с. 29-42.

**ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2**

***Макроскопічний та мікроскопічний методи дослідження металів та сплавів***

 **Мета роботи** - вивчити методи макро- та мікроаналізу; дослідити характерні види макро- та мікроструктури; ознайомитися з будовою та принципом роботи металографічного мікроскопа МІМ-7.

**2.1 Загальні відомості**

 Серед структурних методів вивчення металів найбільш поширеним є металографічний метод макро- та мікроскопічного дослідження структури. Між структурою металу та його властивостями в більшості випадків існує надійний зв’язок, тому за результатами цих досліджень можливо встановлення того, як зміни в структурі будуть впливати на механічні, фізичні та інші властивості матеріалів.

 **2.1.1 Макроскопічний метод** дослідження полягає у вивченні будови металу (його макроструктури) неозброєним оком, або за допомогою лупи чи бінокулярного мікроскопа при невеликих збільшеннях (до 30...50 раз). Це дозволяє спостерігати водночас велику поверхню заготовки або деталі та одержувати таким чином загальні відомості про якість матеріалу, а також вибрати ділянки для подальшого мікроскопічного аналізу. За допомогою макроаналізу виявляють:

особливості будови литого або гаряче деформованого металу; характер руйнування матеріалу; газові пухирі, усадочні раковини, вкраплення жужелі; якість та будову зварних з’єднань; характер обробки, що застосована для надання деталі кінцевої форми та властивостей (литво, обробка тиском, різання, термічна та хіміко-термічна обробка).

 Макроаналіз проводять на зламах чи на спеціальних макрошліфах, якщо макроструктуру виявляють щавленням шліфованої поверхні зразка. За виглядом зламу визначають характер руйнування матеріалу, яке може бути крихке, в’язке або втомне. За структурою (за зовнішним виглядом) злами можуть бути *волокнисті, кристалічні* або *змішані*.

 ***Волокнисті злами*** спостерігаються при в’язкому руйнуванні матеріалу із значною пластичною деформацією під дією дотичних напружень, тому розмір і форма зерен змінюються. Такий вигляд зламу є свідченням підвищених пластичних властивостей матеріалу.

 ***Кристалічний злам*** - результат крихкого руйнування під дією нормальних напружень. При цьому зерна не деформуються; зберігається їх форма та розмір. Кристалічний злам характеризується наявністю окремих мікросколів, що дають у сукупності блискучий фон без помітних ознак деформації зразка у місці зламу. Злам називають міжкристалітним, якщо руйнування розвивається по межам зерен (кристалітів), та транскристалідним - безпосередньо через зерна. Міжкристалітний злам завжди крихкий; транскристалідний може бути як при крихкому, так і при в’язкому руйнуванні.

 ***Втомний злам*** - спостерігається в деталях, що працюють при багаторазових (106...107 циклів) змінних і, особливо, знакозмінних навантаженнях (осі, вали, шестерні, ресори, пружини). За цих умов руйнування може розвиватися при початкових напруженнях, що значно нижче не лише границі міцності, а й границі плинності. Таке явище називають втомою металу і полягає воно у тому, що при багаторазових навантаженнях в місцях з найбільшою концентрацією напружень та з наявністю різних дефектів, різких переходів, перетинів виникають мікротріщини (рис. 2.1). Це призводить до збільшення концентрації напружень і, як наслідок, до подальшого розвитку тріщини (зона поступового руйнування). При цьому деталь продовжує працювати, тому стінки тріщини внаслідок взаємного тертя загладжуються. Дійсний (робочий) перетин деталі зменшується і під дією одного із максимальних навантажень деталь руйнується.



1 - зародження тріщини; 2 - зона поступового руйнування; 3 - зона миттєвого доламування

Рисунок 2.1 - Схема втомного зламу

 Зразок із шліфованою та щавленою спеціальним реактивом поверхнею називають макрошліфом. Зразок спочатку шліфують за допомогою абразивного круга, потім на наждачному папері, розміщеному на плоскій основі (склі), при цьому напрямок шліфування змінюють на 90°. Шліфування закінчують на папері з дрібним зерном. Підготовлену поверхню протирають спиртом і травлять у реактиві, склад якого залежить від металу або хімічного складу сплаву. Розглянемо деякі види макроаналіазу.

 Форма та розмір кристалів, що утворюються після первинної кристалізації, можуть бути різними в залежності від присутності домішок та умов кристалізації. При значній швидкості охолодження утворюється дендритна структура (дендрон – дерево) (рис.2.2). Утворення кристалів деревоподібної форми зумовлено анізотропією швидкості росту, тому в першу чергу виростають їх довгі гілки (осі першого порядку), найбільш чисті за вмістом домішок; від них ростуть осі другого порядку, на яких утворюються бічні гілки - осі третього порядку тощо. Внаслідок цього кристал розгалужується; між осями дендритів скупчуються нерозчинені домішки і утворюються дрібні шпарини, що виникають внаслідок зменшення об’єму при переході металу з рідкого стану в твердий. Дендритна будова кристалів інколи спостерігається на поверхні зливка у вигляді характерного рельєфу і особливо помітна при виготовленні мікрошліфа: світлі лінії відповідають осям дендритів, а темні – міжвісним об’ємам, що зумовлено різним травленням цих ділянок унаслідок відмінного вмісту домішок. Найчастіше правильна форма дендритів порушується при зіткненні закристалізованих об’ємів на наступних стадіях кристалізації.



Рисунок 2.2 - Схема дендритної будови кристалу (а) та росту дендритів (б)

 В залежності від напрямку відведення тепла зерна можуть мати рівноважну або стовпчасту (витягнуту) форму. Рідкий метал у ливарній формі або виливниці контактує з їх внутрішньою поверхнею, що має значно нижчу температуру. При цьому утворюється велика кількість зародків кристалізації, що є причиною появи ливарної кірочки з дрібнозернистою структурою (рис. 2.3). Наступні шари металу охолоджуються уже з меншою швидкістю, але при цьому відведення тепла направлено в першу чергу перпендикулярно до стінок форми, тому утворюється друга зона подовжених стовпчастих кристалів, що ростуть у напрямку, протилежному відведенню тепла.



1 - усадочна раковина; 2 - дрібнозерниста зона; 3 - зона стовпчастих зерен; 4 – рівноважні зерна

Рисунок 2.3 - Схема будови металевого зливка

 Зона, що розташована у осьовій частині зливка, охолоджується з найменшою швидкістю і найбільш рівномірно у всіх напрямках. Унаслідок цього виникає зона рівноважних кристалів, що мають довільну орієнтацію. При сильному перегріванні рідкого металу чи великій швидкості охолодження стовпчасті кристали можуть прорости до осі зливка і рівновісні кристали не утворюються.

 За низької температури лиття та дуже повільному рівномірному охолодженні зона стовпчастих кристалів може бути відсутня. У верхній частині зливка виникає порожнина, що називається усадочною раковиною, появлення якої зумовлено тепловою усадкою металу при затвердінні. Це найбільш забруднена частина металу з великою кількістю мікро- та макро шпарин, пухирів.

 У процесі гарячої обробки тиском дендритна структура зливка руйнується і дендрити витягуються у напрямку деформації. Міжвісні об’єми, що містять неметалеві вкраплення (сульфіди, оксиди тощо), зберігають свою хімічну неоднорідність через те, що дифузія атомів домішок потребує тривалого часу. Тому при травленні макрошліфа ці об’єми окислюються швидше і темніють. Так виявляється характерна волокнистість гаряче деформованого металу. Волокниста будова характеризується значною анізотропією властивостей. Саме тому з метою підвищення надійності деталей, що працюють в умовах високих динамічних навантажень (шестерні, шатуни, колінчасті вали), схему деформації вибирають такою, щоб напрямок волокон збігався з профілем виробів, а основні зусилля діяли перпендикулярно до волокон.

 При розробці технології зварювання вивчають якість зварних з’єднань. Після шліфування поверхні зразка його щавлять в 10...20% водному розчині азотної кислоти протягом 3...10 хв. При цьому можна виявити розмір та форму зварного шва, наявність напливів, газових шпарин, непроварів і тріщин. На макрошліфі, вирізаному поперек шва, можна виявити його дендритну будову, зону термічного впливу, непровари, жужелеві вкраплення.

 ***2.1.2 Мікроскопічний метод*** дослідження застосовують для вивчення мікроструктури за допомогою світлового мікроскопа при збільшеннях 50...1500 разів. При використанні мікроскопічного аналізу виявляють форму та розмір зерен, зміни в структурі після гарячої та холодної деформації, термічної та хіміко-термічної обробок; мікродефекти металу: тріщини, шпарини, раковини; неметалеві вкраплення: сульфіди, оксиди, нітриди, алюмінати, силікати, графіт (у чавунах) тощо. Частіше проводять якісний аналіз, а при необхідності за допомогою спеціальних методик - кількісний.

 Поверхня зразка (мікрошліфа) має бути дзеркальною для достатньо інтенсивного відзеркалення променів, для цього після операції шліфування проводять полірування мікрошліфа на замші, фетрі чи тонкому сукні, що змочені водною суспензією дрібних частинок оксидів алюмінію, хрому, заліза. Інколи застосовують електролітичне полірування. У всіх випадках після полірування шліф промивають водою, протирають спиртом та сушать.

 Перегляд нетравлених шліфів дозволяє виявити неметалеві вкраплення та мікродефекти. Структури металу при цьому не видно. Неметалеві вкраплення мають інший, ніж у металевої матриці, коефіцієнт відзеркалення, тому на світлому фоні вони виділяються темними ділянками (сірого, чорного, жовтуватого кольору) різної форми. За кольором та формою частинок визначають природу неметалевого вкраплення, а за їх кількістю оцінюють ступінь забрудненості металу чи сплаву.

 Для виявлення структури поверхню мікрошліфа травлять в розчинах кислот, лугів, солей в залежності від хімічного складу сплаву. Так, наприклад, для сталей і чавунів застосовують щавлення 2...5% розчином азотної кислоти в етиловому спирті протягом 2...5 секунд. Ступінь травлення меж зерен та структурних складових різна, тому на поверхні утворюється мікрорельєф у вигляді западин та виступів (рис. 2.4). Западини на межах зерен значно сильніше розсіюють промені, тому межі виглядають як темні лінії (див. рис. 2.4, а). У структурі перліту, що складається з двох фаз (фериту і цементиту), ферит розчиняється швидше цементиту. Цементит виступає та відбиває більше променів і в полі зору буде світлою складовою; друга фаза (ферит), навпаки, через більше розсіювання променів буде виглядати темною. В результаті структура перліту має вигляд темних та світлих смуг (див. рис. 2.4, б).



Рисунок 2.4 – Схема утворення контрасту при мікроскопічних дослідженнях та структура фериту (а) та фазової суміші - перлиту (б)

 Важливою характеристикою мікроскопа є його роздільна здатність (**r=1/d**), яка визначається величиною, оберненою найменшій відстані **d**, на якій можливо розрізнити два сусідні елементи структури. Чим менше **d**, тим вище роздільна здатність і, відповідно, більше корисне збільшення мікроскопа М:

М **= D/ d,**

де D - найменша відстань, що розрізняється людським оком (0,1...0.2мм).

 У оптичного мікроскопа при використанні білого світла (λ*=0,4...0,8*мкм) **d** становить 0,2 мкм, і тому межа корисного збільшення дорівнює приблизно 1500 разів. Подальше збільшення лише укрупнює елемент структури, але не дозволяє виявити при цьому нові деталі.

 Робоче збільшення мікроскопа **V** залежить від об’єктива та окуляра і дорівнює добутку їх збільшень:

$V=V\_{ОК}∙V\_{ОБ}=\frac{250}{F\_{ОК}}∙\frac{L}{F\_{ОБ}}$,

де $V\_{ОК}$ **,** $V\_{ОБ}$– збільшення окуляра та об’єктива, відповідно;

*L*– оптична довжина тубуса мікроскопа;

250- відстань найкращого зору, мм;

*FОК, FОБ* - фокусна відстань окуляра та об’єктива, відповідно.

 На практиці робоче збільшення встановлюється комбінацією змінних окулярів та об’єктивів у відповідності з таблицею, що додається до мікроскопа.

 Оптичний мікроскоп призначений для спостереження та фотографування структури. Основні системи мікроскопа: освітлювальна (джерело світла, конденсор, світлофільтри, діафрагми); оптична (об’єктив, окуляр, дзеркала, лінзи, призми) (рис. 2.5); механічна (штатив, тубус, макро- та мікрогвинти тощо) (рис. 2.6).

 Для роботи на мікроскопі необхідно:

- вибрати збільшення та встановити відповідні об’єктив та окуляр,

- встановити предметний столик у такому стані, щоб об’єктив

знаходився в центрі отвору кільця;

- розмістити досліджуваний шліф на столик полірованою поверхнею донизу;

- при спостереженні в окуляр **3** та обертанні макрогвинта **7**

провести грубе наведення на фокус та закріпити столик гвинтом **8**. Точне

фокусування здійснити обертанням в тому чи іншому напрямку

мікрогвинта **1**;

- дослідити структуру в різних ділянках шліфа, для чого перемістити предметний столик за допомогою гвинтів **6**.



1 - електрична лампа; 2 – світлофільтр; 3 – дзеркало; 4 – лінза; 5 - апертурна діафрагма; 6 – лінза; 7 – поляризатор; 8- фотозатвор; 9 - польова діафрагма; 10 – пентапризма; 11 - лінза; 12 – предметний столик; 13 – об’єктив; 14 - віддзеркалювальна пластина; 15 – заслінка (при роботі у темному полі); 16 – окуляр; 17 – лінза; 18 – дзеркало; 19 – матове скло; 20 – фотоокуляр; 21 - дзеркало

Рисунок 2.5 - Оптична схема мікроскопа



1 – мікрогвинт; 2 - візуальний тубус; 3 - змінний окуляр; 4 - ілюмінаторний тубус зі змінним об’єктивом; 5 - предметний столик; 6 - гвинти переміщення столика; 7 – макрогвинт; 8 - фіксуючий гвинт; 9 - зразок

Рисунок 2.6 - Загальний вигляд мікроскопа МІМ-7

 **2.2 Завдання на підготовку до лабораторної роботи**

 Коротко описати призначення макро- та мікроаналізу. Накреслити оптичну схему мікроскопа МІМ-7, вказати його основні системи та їх призначення.

**2.3 Контрольні запитання для самоперевірки і контролю підготовленості до лабораторної роботи**

2.3.1. Сутність і призначення макроаналізу.

2.3.2. Що таке макроструктура? Види її контролю.

2.3.3. Види зламів. Яким чином за виглядом зламу визначається характер руйнування матеріалу: крихке, в’язке або втомне ?

2.3.4. Що таке макрошліф? Методика його приготування.

2.3.5. Макроструктура литого та гарячедеформованого металів, їх особливості.

2.3.6. Як впливає розміщення волокон після гарячої деформації на механічні властивості матеріалу виробів ?

2.3.7. Макроаналіз зварних з’єднань.

2.3.8. Сутність і призначення мікроаналізу.

2.3.9. Методика приготування мікрошліфів. Чим відрізняються технології приготування макро- та мікрошліфів?

2.3.10. Які деталі будови металу можна виявити на шліфах до та після щавлення ?

2.3.11. Механізм виявлення структури при щавленні.

2.3.12. Будова металографічного мікроскопа.

2.3.13. Як визначається роздільна здатність мікроскопа, його корисне та практичне збільшення?

2.3.14. Хід променів в оптичному мікроскопі МІМ-7.

**2.4. Матеріали, інструменти, прилади та обладнання**

 Металографічні мікроскопи МІМ-7 та МІМ-5; набір зразків для проведення макро- та мікроаналізу; альбоми з фотографіями макро- та мікроструктур; реактиви для травлення шліфів: 10%-й водний розчин азотної кислоти для виявлення макроструктури та 4%-й розчин азотної кислоти в етиловому спирті для виявлення мікроструктури.

**2.5. Вказівки з техніки безпеки**

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

**2.6. Порядок проведення лабораторної роботи**

2.6.1. Вивчити будову литого та гарячедеформованого металів, визначити особливості макроструктури.

2.6.2. Вивчити та охарактеризувати злами зразків, за видом зламів встановити характер руйнування.

2.6.3. Виявити будову та дефекти зварних зразків після їх щавлення в реактиві. Реактив налити у ванночку, зразок шліфованою поверхнею опустити у реактив і витримати 2...3 хвилини до появи бурих оксидів. Витягнути зразок з реактиву, промити проточною водою, просушити фільтрувальним папером або струменем гарячого повітря.

2.6.4. Вивчити будову мікроскопа, дослідити мікроструктури зразків залізовуглецевих стопів.

2.6.5 Зарисувати та описати макроструктури вивчених зразків. Зарисувати і описати будову зламів.

2.6.6 Зарисувати і описати мікроструктуру досліджених зразків до та після щавлення (сталі з різним вмістом вуглецю та чавуни із вкрапленнями графіту). Визначити робоче збільшення мікроскопа.

**2.7 Зміст звіту**

Мета роботи, загальні відомості (пункт. 2.2, 2.3, 2.3, 2.5), схеми макро- і мікроструктури відповідно до порядку проведення роботи. Привести необхідні пояснення і характеристики структури.

**2.8 Рекомендована література**

Геллер Ю.А., Рахштадт А.Г. Материаловедение: методы анализа, лабораторные роботы и задачи / Ю. Геллер, А. Рахштад. – М.:Металлургия, 1983. – с. 9-83.

**ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3**

**Вплив пластичної деформації та рекристалізації ї на структуру і твердість сталі**

 **Мета роботи** - вивчити вплив холодної пластичної деформації та подальшого нагрівання на структуру і твердість сталі 08кп (0,08% С, кипляча) та неіржавіючої сталі 08ХІ8Т1 (0,08%С, 18%Cr, 1%Ті); визначити для них температурний поріг рекристалізації та встановити температуру рекристалізаційного відпалення.

**3.1 Загальні відомості**

 Здатність металів і сплавів деформуватися під дією зовнішніх сил використовують у промисловості для формування виробів та напівфабрикатів прокаткою, волочінням, куванням, штампуванням тощо.

 Розрізняють холодну (нижче 0,3Ттоп), теплу (0,3...0,5 Ттоп) та гарячу (вище 0,5Ттоп) деформації.

**3.1.1 ІІружна та пластична деформація**

 Під дією напружень, величина яких менше ніж границя пружності, в металах виникає пружна деформація. Якщо навантажити метал вище границі пружності, виникає пластична залишкова деформація. При розвантаженні первісні форма та розміри зразка не відновлюються, тому що відбувається незворотній зсув одних частин кристала відносно інших (рис. 3.1 в, г, д) частин кристалу. Основними механізмами зсуву при пластичній деформації є ковзання та двійникування (рис. 3.2).



а - вихідний стан; в,г - деформації ковзанням; д - деформація двійникуванням

Рисунок 3.1 - Схема пружної (б) та пластичної (в, г, д) деформації



Рисунок 3.2 - Схеми пластичної деформації

 Деформація ковзанням проходить під дією дотичних напружень, більших ніж критичні напруження, по щільно пакованим кристалографічним площинам і напрямкам (рис. 3.3).

 В металах з ГЦК граткою (𝜸*-*залізо*,* нікель*,* мідь*,* алюміній тощо) - це система (**111**) [**110**]; з ОЦК - (𝜶*-*залізо*,* хром*,* вольфрам*,* молібден тощо) - (**110**) [**111**], (**112**) [**111**]; з ГЩП граткою (магній*,* цинк*,* 𝜶*-*титан тощо) - (**0001**) [**2110**].



Рисунок 3.3 - Системи ковзання в ГЦК (а), ОЦК (б, в), ГЩП (г) гратках

 Через те, що метали з гексагональною щільнопакованою граткою мають найменшу кількість систем зсуву, вони менш пластичні і тому важче піддаються деформації, ніж метали з ГЦК та ОЦК гратками.

 Пластична деформація може також здійснюватися двійникуванням. У цьому випадку частина кристалу перебудовується в дзеркально симетричне положення відносно початкового (рис. 3.1, д та 3.2, б). Двійникування відбувається у тих випадках, коли зсув ускладнено, особливо при низьких температурах та великих швидкостях деформування.

 У реальних кристалах дотичні напруження, необхідні для зсуву, в 100...1000 разів менші розрахункових (теоретичних), що зумовлено присутністю великої кількості дислокацій, що полегшують зсув.

 ***Дислокації*** - лінійні дефекти кристалічної будови, що виникають при кристалізації і завжди існують в кристалах. Їх наявність значно спотворює кристалічну гратку та зменшує рівень дотичних напружень, необхідних для зсуву, за рахунок реалізації естафетного механізму розриву та відновлення міжатомних зв’язків (рис. 3.4).



Рисунок 3.4 - Схема ковзання крайової дислокації з виходом на поверхню

 При великій кількості дислокацій можливе їх перетинання, утворення порогів, що зменшує рухомість та потребує для їх переміщення більших напружень, внаслідок чого метал зміцнюється. Кількісною характеристикою дислокацій є густина - сумарна довжина дислокаційних ліній **L** в одиниці об’єму $V\left(ρ=\sum\_{}^{}^{L}/\_{V}, см^{-2}\right)$.

 Дислокації виникають при кристалізації металів. Значна деформація супроводжується появою великої кількості нових дислокацій. При цьому густина дислокацій зростає від 106...108 до 1010...1012 см-2.

**3.1.2 Структура та властивості холоднодеформованих металів**

 При малих ступенях деформації (2...5 %) в полікристалах через хаотичність орієнтування зерен деформація не може проходити одночасно у всьому об’ємі метала. В першу чергу деформуються ті зерна, в яких площини легкого ковзання найбільш сприятливо розташовані відносно напрямку діючої сили (під кутом 45°). Зі зростанням деформації зменшується розорієнтація зерен, змінюється їх форма – вони витягуються у напрямку прикладеної сили, утворюють волокнисту структуру. При цьому виникає переважна кристалографічна орієнтація, так звана текстура деформації, характерна тим, що більшість зерен зорієнтовано певним кристалографічним напрямком відносно зовнішніх діючих сил (наприклад, за напрямком прокатки або волочіння). Текстура приводить до анізотропії властивостей.

 Одночасно зі зміною форми в останньому виникає особлива комірчаста структура з комірками розміром 1...2 мкм із розорієнтацією 2...5°, розділеними невпорядкованими дислокаційними межами. Така структура спостерігається за допомогою електронного мікроскопа. Передача деформації через межі зерен і комірок супроводжується ще більшим нагромадженням дислокацій, зменшенням їх рухомості; зростає опір деформації - метал зміцнюється. Явище зміцнення металів при пластичній деформації називається наклепом і супроводжується

зростанням характеристик міцності, твердості ($σ\_{В}$, $σ\_{0,2}$, НВ), зниженням пластичності (𝜹, Ψ) та ударної в’язкості (KCU). У цьому проявляється єдність суперечних по своїй суті властивостей - міцності та пластичності: міцність визначається опором рухові дислокацій, а пластичність пов’язана з можливістю їх переміщення.

 Відповідно до збільшення ступеня деформації та росту густини дислокацій збільшується їх взаємне блокування і гальмування. В результаті поступово вичерпується можливість пластичної деформації (у дуже наклепаних металах відносне видовження 𝜹$≈$0%), а зростання прикладеного зусилля приводить до руйнування металу. Внаслідок наклепу твердість і границю міцності вдається збільшити в 1,5...3 рази, а границю плинності - в 5...7 раз.

 Із збільшенням ступеня деформації підвищується електроопір, знижується магнітна проникність, густина металу та опір корозії через посилення дифузійних процесів. Зменшення густини зумовлено зниженням компактності просторової гратки внаслідок виникнення в ній дефектів.

 Зміцнення при наклепі використовується для підвищення механічних властивостей деталей. Так, наприклад, наклеп поверхневого шару кульками, зміцнення поверхні струменем дробу, ультразвукова обробка кульками тощо підвищує опір втомі. І, навпаки, зниження пластичності при наклепі використовується з метою покращення обробки різанням в’язких пластичних матеріалів: латуней, сплавів алюмінію та інших.

**3.1.3 Вплив нагрівання на структуру та властивості холоднодеформованого металу**

 Стан деформованого металу термодинамічно нестабільний. Перехід до більш стабільного стану з меншою вільною енергією відбувається при його нагріванні. Процеси, що проходять при нагріванні, супроводжуються практично повним відновленням фізичних та механічних властивостей та умовно поділяються на три температурні стадії: відпочинок, полігонізація, рекристалізація.

 Відпочинок і полігонізацію називають відновою***.*** Для цих стадій характерно лише часткове відновлення властивостей (рис. 3.5).

 ***Відпочинок*** металу проходить при низьких температурах нагрівання (0,1...0,3 Тпл). Перерозподіл та зменшення кількості вакансій і міжвузлових атомів супроводжується зниженням рівня пружних деформацій. Основна частина пружної енергії, внесеної деформацією, пов’язана з високою густиною дислокацій, рухомість яких при температурах відпочинку обмежена.

 ***Полігонізація*** розвивається при підвищенні температури нагрівання (0,2...0,4 Тпл). Звільнившись від атомів домішок, дислокації починають рухатися, при цьому їх густина значно зменшується. Надлишкові крайові дислокації трансформуються в малокутові межі, що поділяють кожне зерно на субзерна (комірки). Виникає комірчаста полігональна структура, яка при певних умовах в сплавах складної композиції може бути стабільною та сприяє збільшенню довготривалої міцності при високих температурах (жароміцності).



Рисунок 3.5 - Вплив нагрівання на механічні властивості та структуру деформованого металу

 На стадії віднови видимих змін в мікроструктурі не спостерігається (розмір та форма деформованих зерен зберігається). Зате відновлюється рівень електричного опору, підвищується густина металу та частково зменшуються твердість і міцність (рис. 3.5). Зміну в дислокаційній структурі можна виявити лише при великих збільшеннях за допомогою електронного мікроскопа.

 ***Рекристалізація*** - це зародження та ріст нових рівновісних зерен, що відрізняються від деформованої матриці досконалішою граткою та значно меншою густиною дислокацій (рис. 3.5, 3.6). Зародки рекристалізації виникають на ділянках з найбільшою деформацією гратки (найчастіше на межах деформованих зерен). Чим вище ступінь пластичної деформації, тим більше виникає центрів рекристалізації. Ріст зародків реалізується міграцією меж. Останні рухаються вглибину наклепаного металу у напрямку більшої густини дислокацій і залишають за собою об’єм з відносно досконалою граткою. Із зникненням деформованих зерен завершується первинна рекристалізація (рекристалізація обробки).

 Після первинної рекристалізації зникає наклеп, створений пластичним деформуванням, збільшується пластичність. Знеміцнення пояснюється усуненням спотворень кристалічної гратки та зменшенням густини дислокацій з 1012 см-2 до 106 см-2; метал набуває рівновісної структури з мінімальною кількістю дефектів, відновлюються всі його фізичні та механічні властивості (див. рис. 3.5).



а - наклепаний метал; б, в - початок та кінець первинної рекристалізації (рекристалізації обробки); г, д – збиральна рекристалізація

Рисунок 3.6 - Схема зміни мікроструктури наклепаного металу при нагріванні

 Рекристалізація проходить лише після деформації, ступінь якої перевищує визначений рівень, що зветься критичним ступенем деформації (як правило, 2...15%). Якщо *ступінь деформації*

менше *критичного* *, зародження нових зерен при нагріванні не відбувається* .

 **Температура початку рекристалізації** ( $Т\_{Р}^{П}$) – це мінімальна температура за якої з’являються 4 – 5 зародків нових зерен. Вона визначається за формулою:

$$Т\_{Р}^{П}=кТ\_{пл}, \left[t^{0}C=k\left(t\_{пл}^{0}С+273^{0}\right)-273^{0}\right]$$

 де к - коефіцієнт, який залежить від чистоти металу, ступеня деформації, тривалості нагрівання і дорівнює 0,1...0,2 для металів високої чистоти; 0,4 - для металів технічної чистоти та 0,5...0,8 - для сплавів;

Тпл - температура плавлення металу, К.

 Значно впливають на температуру початку рекристалізації домішкові атоми, легувальні елементи та дисперсні частинки надлишкових фаз.

 ***Температурний поріг*** рекристалізації - це технологічна характеристика, яка залежить від чистоти матеріалу і температури плавлення, в більшості випадків визначають як температуру напівзміцнення після нагрівання тривалістю 1…2 години та значної (𝛆 >50 %) попередньої пластичної деформації.

 З метою повного зняття наклепу та досягнення пластичності застосовують рекристалізаційний відпал - нагрівання до температур на 100...200°С вищих за $Т\_{Р}^{П}$ з наступним повільним охолодженням. Таке відпалеання часто використовують як пом’якшувальну проміжну операцію при волочінні, після холодної прокатки та інших технологічних процесів.

 Після завершення первинної рекристалізації підвищення температури викликає ріст одних рекристалізованих зерен за рахунок сусідніх, також рекристалізованих, шляхом міграції меж (збиральна рекристалізація). Основна рушійна сила цього процесу – зменшення зерномежової енергії внаслідок скорочення довжини меж зерен. Межа рухається у напрямку центру її кривизни (рис.3.6, г). Збільшення розмірів зерен приводить до зниження пластичності (рис. 3.5, t>t′с).

**3.1.4 Критичний ступінь деформації. Розмір зерна після рекристалізації**

 Нагрівання (вище 0,4...0,8 Ттоп) малодеформованих (𝛆 = 2...15 %) металів супроводжується різким ростом зерен. Такий ступінь деформації називається критичним ($ε\_{крит}$). Це такий мінімальний ступінь деформації, перевищення якого приводить при нагріванні до виникнення та росту зародків рекристалізованих зерен. При нагріванні безпосередньо після критичного ступеня деформації зародки рекристалізації не утворюються, а проходить лише міграція меж зерен, за рахунок чого розмір останніх значно зростає.

 Критичний ступінь деформації незначний, тому зерна деформуються неоднорідно: у першу чергу ті, у яких площини найбільш легкого ковзання збігаються з напрямком максимальних дотичних напружень. Існуючих дислокацій не вистачає для утворення зародків рекристалізації. Укрупнення зерен після нагрівання зумовлено, по-перше, ростом деяких первинних зерен під впливом градієнту наклепу, а по - друге - злиттям декількох зерен за рахунок поступового зникнення меж зерен при анігіляції дислокацій та інших дефектів. Укрупнення зерен приводить, як правило, до зниження властивостей металу, тому при обробці металів тиском критичного ступеня деформації уникають.

 Після значної деформації (𝛆>$ε\_{крит}$) швидкість появи зародків рекристалізації перевищує швидкість їх росту, що зумовлює утворення дрібних зерен. Розмір зерна залежить в основному від ступеня деформації та температури рекристалізації. Тривалість рекристалізаційного відпалення також збільшує розмір зерна, але меншою мірою, ніж температура.

**3.1.5 Холодна та гаряча деформації**

 ***Холодною*** називають деформацію, яку здійснюють за температур нижчих від температури рекристалізації.

 ***Гаряча деформація*** здійснюється за температур вище ніж $Т\_{Р}^{П}$, тому у процесі гарячої деформації в металі одночасно спостерігаються два процеси - зміцнення і знеміцнення. В цьому випадку центри первинної рекристалізації з’являються у процесі деформації, тому рекристалізацію називають динамічною. Після гарячої пластичної деформації завершується рекристалізація і метал не наклепується. Гаряча пластична деформація, як правило, збільшує густину литої сталі, що обумовлено усуненням шпарин та раковин.

 **3.2 Завдання на підготовку до лабораторної роботи**

 Коротко викласти загальні відомості щодо процесів холодної пластичної деформації та рекристалізації, підготувати таблиці 3.1 та 3.2, пункти 3.1, 3.2, 3.5, 3.6.

**3.3 Контрольні запитання для самоперевірки і контролю підготовленості до лабораторної роботи**

3.3.1. Механізм пружної та пластичної деформації.

3.3.2. Вкажіть системи ковзання для металів з ОЦК, ГЦК та ГЩП ґратками.

3.3.3. Типи дефектів кристалічної будови та їх вплив на властивості металів.

3.3.4. Поняття наклепу. Роль дислокацій у цьому процесі.

3.3.5. Густина дислокацій до та після холодної пластичної деформації.

3.3.6. Теоретична та реальна міцність металів.

3.3.7. Вплив холодної пластичної деформації на структуру та властивості металів.

3.3.8. Які процеси відбуваються в холоднодеформованому металі при нагріванні? Їх рушійні сили.

3.3.9. У чому полягає різниця між процесами полігонізації та рекристалізації?

3.3.10. Первинна рекристалізація, її відміна від збиральної рекристалізації.

3.3.11. Критичний ступінь деформації.

3.3.12. Температурний поріг рекристалізації та визначення температури рекристалізаційного відпалення.

3.3.13. Холодна та гаряча пластична деформація. Їх відмінні особливості.

**3.4 Матеріали, інструмент, прилади та устаткування**

 Роботу виконують на зразках холоднокатаних та відпалених листових сталей 08кп і 08ХІ8Т1 після деформації 5, 10, 25, 60 та 80 %. Мікроструктуру зразків вивчають за допомогою мікроскопів МІМ-7; твердість (НRВ) визначають на приладі ТК-2 методом Роквелла сталевою кулькою при навантаженні 981 Н (100 кгс) за шкалою В. Розмір зерна визначають, використовуючи шкалу балів за ҐОСТ 5639-82.

**3.5 Вказівки з техніки безпеки**

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

**3.6 Порядок виконання роботи**

3.6.1 Визначити твердість і зарисувати мікроструктуру зразків після деформації і відпалу. Визначити номер зерна, порівнюючи спостережену структуру з еталонним зображенням структури при збільшенні 100 разів. Дані записати в табл. 3.1.

3.6.2 Визначити твердість зразків сталей 08кп та 08ХІ8Т1 після холодної пластичної деформації (𝛆 = 60%) та подальшого нагрівання при 400...800°С тривалістю в одну годину (табл. 3.2).

 Таблиця 3.1 – Твердість і структура сталі 08кп після холодної деформації та наступного рекристалізаційного відпалу

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Ступінь деформації** **𝛆,%** | Після холодної деформації | Після рекристалізаційного відпалу |
| Твердість,HRB | Структура(зарисувати) | Твердість,HRB | Структура(зарисувати) | Номерзерна |
| 0 |  |  |  |  |  |
| 5 |  |  |  |  |  |
| 10 |  |  |  |  |  |
| 25 |  |  |  |  |  |
| 60 |  |  |  |  |  |
| 80 |  |  |  |  |  |

Таблиця 3.2 - Твердість сталей 08кп та 08Х18ТІ після нагрівання при різних температурах

|  |  |
| --- | --- |
| Маркасталі | Твердість, HRB |
| Післядеформації(𝛆=60%) | Після нагрівання 1 год.при температурах, 0С |
| 400 | 500 | 600 | 700 | 800 |
| 08кп |  |  |  |  |  |  |
| 08Х18Т1 |  |  |  |  |  |  |

**3.7 Зміст звіту**

3.7.1 Основні положення загальних відомостей.

3.7.2 Графік залежності твердості сталі 08кп від ступеня деформації.

3.7.3 Обґрунтувати принципи підвищення твердості з ростом ступеня деформації. Вказати, як при цьому змінюється структура.

3.7.4 Побудувати графік залежності твердості від ступеня деформації зразків сталі 08кп після рекристалізаційного відпалення.

3.7.5 Побудувати графік залежності розміру зерна після деформації і нагрівання 680°С, 1 год. в залежності від ступеня деформації. Пояснити причину аномального росту зерен при нагріванні після деформації ($ε\_{крит}$) та чому зразок, деформований на 80%, має після відпалювання дрібніше зерно порівняно з зерном зразка, попередньо деформованого на 60%.

3.7.6 Накреслити графік залежності твердості від температури нагрівання для зразків сталей 08кп і 08Х18Т1 (𝛆 = 60%). Пояснити одержані залежності. Визначити температурний поріг рекристалізації та вибрати температуру рекристалізаційного відпалення. Встановити вплив легувальних елементів на ці характеристики.

**3.8 Рекомендована література**

**1**. Бялік О.М. Металознавство: підручник / О.М. Бялік, В.С. Черненко,В.М. Писаренко, Ю.Н. Москаленко. – К: ІВЦ «Потітехніка»,2001. – с. 60-84.

2. Матеріалознавство: [підручник] / С.С. Дяченко, І.В. Дощечкіна,А.О. Мовлян, Е.І. Плешаков. – Харків:Видавництво ХНАДУ, 2007. – с. 67-68.

3. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов. /Лахтин Ю.М.– М.: Металлургия, 1984. – с. 43-49, 53-60.

4. Гуляев А.П. Металловедение / Гуляев А.П. – М.: Металлургия, 1986. – с. 61-19, 83-96.

5. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение / Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. – М.: Машиностроение, 1990. – с. 77-84, 107-120.

6. Материаловедение /Под ред. В.Н. Арзамасова. – М.: Машиностроение, 1986. – с. 66-79.

**ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4**

**Залізовуглецеві сплави. Мікроскопічне дослідження відпалених вуглецевих сталей**

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

**4.1 Загальні відомості**

 Серед металевих матеріалів у машинобудуванні найбільш широко використовуються сплави заліза з вуглецем - сталі та чавуни (на 90% від загальної кількості матеріалів). Визначити структури цих сплавів у стані рівноваги, температури фазових перетворень, вибрати температуру термічної обробки дозволяють метастабільна діаграма стану “залізо-цементит” (***Fe-Fe3C***) та стабільна діаграма стану “залізо-вуглець” (***Fe-C***).

 **4.1.1 Компоненти, фази та структурні складові залізовуглецевих сплавів**

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

 ***Залізо*** - метал з температурою плавлення 1539°С (крива охолодження чистого заліза показана на рис. 4.1). Атомний радіус 0,127 нм. Залізо поліморфне. Нижче 911°С має ОЦК гратку з параметром 0,286 нм при 20°С, в інтервалі 1392...І539°С – 0,293 нм. Заповнення об’єму ґратки атомами на 68%. Низькотемпературна модифікація позначається **Fe𝜶**, високотемпературна **Fe𝜹**. В інтервалі температур 911...1392°С існує **Fe𝜸** з ГЦК граткою, параметри якої 0,3645 нм, заповнення об’єму гратки атомами на 74%. Між атомами заліза існує металевий тип зв’язку. Нижче 768°С **Fe𝜶** феромагнітне, **Fe𝜸** -парамагнітне. Чисте залізо – метал сріблястого кольору, порівняно м’який і пластичний, з густиною γ = 7,86 г/см3. Міцність заліза складає $σ\_{В}=$250 МПа, твердість НВ 60...80, пластичність δ = 45 %.



Рис. 4.1 Крива охолодження чистого заліза

 Залізо характеризується низькими рівнями міцності, твердості та високою пластичністю ( $σ\_{В}$ = 150...200 МПа; НВ 60...70; 𝜹 = 50…60 %).

 ***Вуглець*** - неметал з температурою плавлення 3600°С, атомним радіусом - 0,077 нм. Має дві модифікації: стабільну - у вигляді графіту та метастабільну - у вигляді алмазу. У звичайних умовах він знаходиться у вигляді модифікації графіту. Вуглець розчиняється в залізі у рідкому і твердому станах, а також може знаходитися у вигляді хімічної сполуки Fe3C – ***цементиту***, а у високовуглецевих сплавах і у вигляді ***графіту***.

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

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

 ***Ферит*** - твердий розчин втілення атомів вуглецю в ОЦК гратці заліза. Розрізнюють низькотемпературний 𝜶**-**ферит з граничною розчинністю вуглецю 0,02% при 727°С та високотемпературний 𝜹**-**ферит (0,1 %С при 1499°С). Низька розчинність вуглецю у фериті обумовлена малим радіусом порожнин в ОЦК гратці (0,037 нм). Механічні властивості фериту: $σ\_{В}$=200...250 МПа; 𝜹=40...50%; НВ80...90.

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

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

 ***Цементит*** - хімічна сполука ***Fe3C***, що містить 6,67%С. Гратка - складна ромбічна, характеризується металевим зв’язком між атомами заліза та ковалентним – між залізом і вуглецем. Тому цементит має високу твердість (НВ³800), крихкість і практично нульову пластичність.

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

 ***Графіт*** - стабільна модифікація вуглецю, має складну гексагональну кристалічну гратку. Відстань між атомами в одному шарі складає 0,1415 нм, між шарами - значно більше - 0,34 нм. У першому випадку зв’язок реалізується за рахунок ковалентних сил, у другому – за рахунок слабких Ван-дер-ваальсовських. Густина графіту 2,26 г/см3. Твердість 3...5 НВ, значна крихкість, пластичність практично відсутня.

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

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

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

 **4.1.2 Метастабільна діаграма Fe-Fe3C**

 Складність діаграми ***Fe-Fe3C*** (рис. 4.2) зумовлена тим, що у залізовуглецевих сплавах, окрім первинної кристалізації (рідина→тверда фаза) відбуваються процеси вторинної кристалізації в твердому стані, які пов’язані з поліморфними перетвореннями заліза та зменшенням розчинності вуглецю у фериті та аустеніті.



Рисунок 4.2 - Метастабільна діаграма стану ***Fe-Fe3C***

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

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

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

$$Р\_{0,51}+Ф\_{δ0,1}\frac{1499}{⟺}А\_{0,16}$$

 При переохолодженні нижче 1499°С внаслідок взаємодії рідини складу В (0,51 %С) з кристалами 𝜹-фериту складу точки Н (0,1 %С) утворюється аустеніт складу точки **J** (0,16 %С) (Р→А і Ф→А –поліморфне перетворення).

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

$Р\_{4,3}\frac{1147}{⟺}Л\_{4,3}\left(А\_{2,14}+Ц\_{6,67}\right)$**.**

 ***Вторинна*** ***кристалізація****.* Лінія **NH** та **NJ** - температури початку та кінця поліморфного перетворення 𝜹-фериту в аустеніт у стопах до 0,16% С. У стопах із 0,16...0,51 %С це перетворення відбувається при постійній температурі 1499°С. Лінії **GS** та **GPS** - температури початку та кінця поліморфного перетворення А®Ф, яке відбувається в інтервалі температур при безперервному охолодженні в стопах із вмістом вуглецю до 0,8 %.

 **PSK** - лінія евтектоїдного перетворення А→П при постійній температурі в стопах із 0,02...6,67 % С за реакцією:

$$А\_{0,8}\frac{727}{⟺}П\_{0,8}\left(Ф\_{0,02}+Ц\_{6,67}\right)$$

 При переохолодженні нижче 727°С з аустеніту евтектоїдної концентрації (0,8 %С) утворюється перлит – фазова суміш Ф і Ц.

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

 **4.1.3 Перетворення в сплавах при охолодженні та нагріванні**

 Перетворення при охолодженні розглянемо на прикладі сплаву Х**1** із 0,45 % вуглецю (рис. 4.3, а). При охолодженні від температури t**0** до **t1** сплав знаходиться у рідкому стані. При t**1** починається кристалізація 𝜹-фериту. При охолодженні в інтервалі t**1....t2** склад рідкої фази змінюється за лінією АВ, а 𝜹-фериту - за лінією АН, внаслідок чого при t**2** фази мають склад, необхідний для здійснення перитектичної реакції: вмісту вуглецю в рідкій фазі відповідає точка В, в 𝜹-фериті – точка Н. При t**2** - нонваріантна рівновага, тому що в реакції приймають участь три фази: РВ**,** ФН**,** А**J**. У сплаві після перетворення є надлишок рідкої фази, з якої в інтервалі t**2...t3** утворюються кристали аустеніту. В інтервалі температур t**3...t4** існує одна фаза - аустеніт.

 При t**4** починається 𝜸→𝜶 перетворення, тому в інтервалі t**4...t5** сплав двофазний. Склад фериту змінюється при цьому по лінії **GP**, аустеніту - **GS**, тобто при t**5** склад аустеніту відповідає евтектоїдному і при цій температурі утворюється перлит. В інтервалі t**5...t6** сплав двофазний, його структура перлитно-феритна. Внаслідок зменшення розчинності вуглецю в фериті в інтервалі t**5...t6** виділяється цементит третинний по лінії **PQ**.

 Крива охолодження (див. рис. 4.3, б) побудована на підставі розрахунків ступенів свободи з використанням правила фаз.



 а) б)

Рисунок 4.3– Сталева частина діаграми ***Fe-Fe3C*** (а) та крива охолодження сплаву Х1 (б)

 Концентрацію вуглецю в фазах при заданій температурі визначають за допомогою температурної лінії (коноди), паралельної осі концентрацій та проведеної у зоні існування фаз. Визначимо, наприклад, в сплаві Х**1** при t**7=750°**С хімічний склад фериту та аустеніту (див. рис. 4.2,а). Для цього проведемо паралельно осі концентрацій пряму лінію (коноду) до її перетину з лініями **GS** та **GP**, що обмежують зону діаграми, в якій знаходиться сплав. Проекції точок перетину визначають концентрацію вуглецю: точка а (0,015%С) - у фериті, точка в (0,6%С) – в аустеніті.

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

$Q\_{Ф}=\frac{xL}{QL}∙Q\_{C}$ та $Q\_{Ц}=\frac{Qx}{QL}∙100\%$,

де **Q**С – загальна маса стопу.

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

$Q\_{Ф}=\frac{6,67-1,0}{6,67}=0,85\left(85\%\right); Q\_{Ц}=\frac{1,0}{6,67}=0,15(15\%)$.

 Обчислена кількість Ц складається із структурно вільного ЦІІ та цементиту перліту, ферит знаходиться у перліті.

 Перетворення при нагріванні розглянемо на прикладі сплаву Х**2** із 2,2%С (див. рис. 4.2, а).

 При кімнатній температурі структура сплаву складається із перліту, ледебуриту та цементиту вторинного. З підвищенням температури до 727°С зростає концентрація вуглецю у фериті до 0,02%С

внаслідок розчинення ЦІІІ. При деякому перегріванні відносно лінії **PSK** структурно вільний перліт і перліт ледебуриту перетворюються в аустеніт. В інтервалі температур 727...1147°С концентрація вуглецю в аустеніті збільшується від 0,8 до 2,14% за рахунок розчинення ЦІІ.

 При деякому перегріванні сплаву Х**2** вище 1147°С евтектична складова структури (ледебурит) - Л**(**А**2,14+**Ц**6,67)**→Р**4,3**. Це перетворення відбувається при постійній температурі, тому що в рівновазі знаходяться три фази: аустеніт, цементит, рідкий розчин. В інтервалі температур t**3....t4** між лініями **PSK** та ВС кристали аустеніту поступово розплавляються. Вище t**4** сплав знаходиться повністю в рідкому стані.

 **4.1.4 Вуглецеві сталі**

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

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

 ***Класифікація сталей за структурою в стані рівноваги.*** Діаграма стану ***Fe-Fe3C*** дозволяє визначити структуру сталі в стані рівноваги, тобто після дуже повільного охолодження. На практиці структури, що близькі до рівноваги, досягаються при відпалу з повільним охолодженням разом із піччю. В залежності від вмісту вуглецю сталі за структурою в рівноважному (відпаленому) стані поділяються на наступні групи:

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

 ***доевтектоїдні сталі*** - 0,02%<С<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 % С. Структура – перлит, при невеликих збільшеннях мікроскопа - це темного кольору структура. При збільшенні 500 крат і більше виявляється двофазна пластинчаста будова перлиту (Ф+Ц);

 ***заевтектоїдні сталі*** – 0,8% <С ≤ 2,14%. Структура - перлит і цементит (вторинний), що утворюється при повільному охолодженні по межах зерен у вигляді цементитної сітки.

 Зі збільшенням в сталі вмісту вуглецю зростає кількість цементиту, що має велику твердість і крихкість, а тому його частинки є перепоною на шляху ковзання дислокацій. Унаслідок цього зростають міцність і твердість сталі, знижуються показники ударної в’язкості і пластичності. Зниження міцності заевтектоїдних сталей зумовлено наявністю крихкої сітки структурно вільного цементиту. Твердість сталі монотонно зростає із збільшенням вмісту вуглецю. На рис. 4.4. представлений характер зміни мікроструктури сталей в залежності від вмісту вуглецю.



Рисунок 4.4. *Мікроструктури доевтектоїдної (а), евтектоїдної (б), заевтектоїдної (в) сталей і технічно чистого заліза (г).*

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

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

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

Сірка є шкідливою домішкою в сталі. Вона потрапляє в сталь з руди чи палива. Із залізом сірка утворює хімічну сполуку ***FeS***, яка практично не розчиняється в фериті, а створює легкоплавку евтектику з температурою плавлення 9880С. Ця евтектика переважно розташовується по межах зерен. Під час гарячого деформування (прокатування, кування) з температурою процесу 1000……12000С евтектика розплавляється, порушується зв′язок між зернами металу, внаслідок чого в місцях розташування евтектики виникають надриви і тріщини. Це явище носить назву «червоноламкість». При наявності марганцю в сталі замість ***FeS*** утворюється сульфід марганцю ***MnS*** з температурою плавлення 16200С, завдяки чому усувається явище червоноламкості. Сірчисті включення знижують ударну в′язкість (***KCU***) і пластичність (𝜹,Ψ), а також границю витривалості ($σ\_{R})$. Сірка крім того, погіршує зварюваність і корозійну стійкість. Тому вміст сірки обмежують: у сталях звичайної якості – до 0,05%, якісних – до 0,04%, високоякісних – до 0,025%.

Фосфор є також шкідливою домішкою. Він розчиняється у фериті і прицьому сильно спотворює кристалічну гратку заліза, внаслідок чого підвищуються границі міцності та текучості, але знижується пластичність і в′язкість сталі. Фосфор підвищує поріг холодноламкості, тобто температуру переходу сталі в крихкий стан. Шкідливий вплив фосфору посилюється внаслідок великої схильності його до ліквації. Тому кількість фосфору в сталях також обмежують: у сталях звичайної якості – до 0,04%, в якісних – до 0,035%, а в високоякісних – до 0,025%.

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

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

 ***Класифікація сталей за призначенням. Маркування сталей.*** У залежності від вмісту вуглецю сталі поділяються на ***конструкційні*** (0,02...0,8%С) та ***інструментальні*** (0,7...1,3%С). Умовною межею між ними вважають вміст вуглецю 0,7 %. В дійсності сталі з (0,7...0,8)%С можуть бути як інструментальними, так і конструкційними (наприклад, ресорно-пружинна).

 Конструкційні сталі повинні поєднувати достатню міцність і в′язкість. Таким вимогам відповідають доевтектоїдні сталі.

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

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

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

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

В – ВСт.2, ВСт.3, ВСт.4, ВСт.5.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Інструментальні сталі з відносно низьким вмістом вуглецю (У7, У8) мають високу в′язкість і використовуються для виготовлення зубил, молотків, кернерів, викруток, штампів тощо. Заевтектоїдні сталі (У9, , У13) застосовують для інмтрументів, що потребують високої твердості та не дуже високої в′язкості: мітчиків, свердл, напилків, ножівок, вимірювальних інструментів. Недоліками вуглецевих інструментальних сталей є їх незначна прогартовуваність і низька теплостійкість (до 2000С).

 Деякі групи сталей, їх маркування та призначення наведено в табл. 4.1-4.4.

Таблиця 4.1 Сталі вуглецеві конструкційні звичайної якості (ГОСТ 380-94, ДСТУ 2651:2005/ГОСТ380-2005)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Маркасталі | Вміст елементів, % | Призначення |
| C | Mn | Si | ≤P | ≤S |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Ст0 | ≤0,23 | ­ | ­ | 0,07 | 0,06 | Конструкції невідповідального призначення: загородження, прокладки, шайби тощо. Добра зварюваність. |
| Ст1кп | 0,060,12 | 0,250,5 | 0,05 | 0,04 | 0,05 | Для деталей, що вимагають високої в′язкості: анкерні болти, арматура тощо. Добра зварюваність.  |
| Ст3сп | 0,140,22 | 0,40,15 | 0,150,3 | 0,04 | 0,05 | Балки, ферми, корпуси посудин, що працюють під тиском; деталі, що цементують: шестерні, вісі тощо. Добра зварюваність |
| Ст5Гсп | 0,220,3 | 0,81,2 | 0,15 | 0,04 | 0,05 | Для деталей, що витримують невеликі напруги: вали, вісі, серги, ресори тощо.  |
| Ст6сп | 0,380,49 | 0,50,8 | 0,150,8 | 0,04 | 0,05 | Деталі підвищеної міцності: вісі, вали, тяги, пальці траків, шпінделі тощо. |

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

Таблиця 4.2 - Сталі вуглецеві конструкційні якісні (ГОСТ 1050-88)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Група сталі | Маркування | Призначення |
| 1 | 2 | 3 |
| Низьковуглецеві(0,05……….0,08) | 05, 08 | Мають малу міцність та високу пластичність, використовуються без термічної обробки для холодного штампування, холодного вичавлювання: кузови автомобілів, корпуси приладів, прокладки, трубки тощо. |
| Маловуглецеві(0,10...0,30 %С) | 10, 15, 20,25 | Для деталей, що піддають цементації (ціануванню) та працюють на зношування без великих навантажень: втулки, осі кулачкових валиків, кільця ланцюгів тощо. |
| Середньовуглецеві(0,30...0,50%С) | 30, 35, 40,45, 50 | Після нормалізації, поліпшення чи поверхневого гартування для деталей, що зазнають згинання, обертання, зношування, ударного навантаження: колінчасті та розподільні вали, плунжери, шестерні та вали редукторів тощо. |
| 3 вмістом вуглецю (0,55-0,80%) | 55, 60, 65, 70, 75, 80 | Після гартування та середньотемпературного відпускання мають високі пружні властивості та використовуються для виготовлення невеликого розміру у перерізі пружин, ресор тощо. |

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

Таблиця 4.3 - Автоматні сталі (ДСТУ3833-98)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Група сталі | Маркування | Призначення |
| Вуглецева, що містить сірку | А10, АІ2, А20, А30, А35 | Деталі складної конфігурації з вимогами високої точності розмірів та низької шорсткості поверхні: шестерні, валики, заслінки, клапани, кільця, пальці, ходові гвинти металорізальних верстатів, деталі кріплення тощо |
| Вуглецева, що містить свинець | АС14, АС40 | Те саме |
| Вуглецева, що містить сірку та селен | А35Е, А45Е | Те саме |

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

Таблиця 4.4 - Сталі вуглецеві інструментальні (ГОСТ 1435-99)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Група | Маркування | Призначення |
| 1 | У7, У7А, У8, У8А | Інструменти для слюсарно-монтажних робіт та обробки дерева: сокири, пили, фрези, молотки тощо |
| 2 | У9, У9А, У10, У10А | Для обробки метала: штампи для холодного штампування, фрези, зенкери, відкрутки, калібри |
| 3 | УІ2, У12А, УІЗ, УІЗА | Інструменти, що не піддаються ударним навантаженням: напильники, шабери, інструмент для гравірування |

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

 **4.2 Завдання на підготовку до лабораторної роботи**

Накреслити діаграму ***Fe-Fe3C*** (формат А4). У всіх зонах діаграми вказати структуру, а в квадратних дужках - фази. Коротко описати фази (Ф**,** А**,** Ц) та структурні складові (П**,** Л) залізовуглецевих сплавів; перитектичну, евтектичну та евтектоїдну реакції; маркування та призначення сталей.

 **4.3 Контрольні запитання для самоперевірки і контролю підготовленості до лабораторної роботи**

4.3.1.Що визначають точки G та N на діаграмі стану ***Fe – C*** ?

4.3.2.Як впливає вуглець на температуру поліморфного перетворення заліза?

4.3.3.Що визначають точки А4, А3, А2, А1 для чистого заліза та його сплавів з вуглецем?

4.3.4.Які фази притаманні залізовуглецевим сплавам?

4.3.5.На метастабільній (***Fe-Fe3C***) діаграмі позначити точки, концентрації, температури, структури та фази. Пояснити лінії рівноваги на діаграмі.

4.3.6.Які поліморфні перетворення відбуваються в залізі ? Вказати температури.

4.3.7.Що таке ферит, аустеніт, цементит, перлит і ледебурит? Вказати їх тип кристалічної гратки.

4.3.8.Описати лінії діаграми ***Fe-Fe3C*** та сутність перитектичного, евтектичного та евтектоїдного перетворень.

4.3.9.Як визначити в заданому сплаві при вказаній температурі масову кількість фаз та їх хімічний склад ?

4.3.10.Які перетворення проходять при охолодженні з рідкого стану до кімнатної температури в доевтектоїдному (заевтектоїдному, доевтектичному, евтектичному або заевтектичному) сплаві ?

4.3.11.Який цементит називають первинним, вторинним, третиннм?

4.3.12.Що таке сталь, яким чином вуглець впливає на структуру та властивості сталей в рівноважному стані ?

4.3.13.В якому вигяді перебуває вуглець в сталях? Що являє собою цементит?

4.3.14.Як впливають кремній і марганець на властивості сталей?

4.3.15.Як впливають фосфор і сірка на властивості сталей?

4.3.16.Що називають червоноламкістю і холодноламкістю? Які хімічні елементи впливають на ці властивості сталі?

4.3.17.На які групи поділяється сталь звичайної якості?

4.3.18.Що означають в маркуванні сталі букви кп, пс, сп?

4.3.19.Як маркуються якісні вуглецеві сталі: конструкційні і інструментальні?

4.3.20.Вміст вуглецю в інструментальних сталях. Як змінюються властивості цих сталей із збільшенням вуглецю в них?

4.3.21.Яким чином класифікують вуглецеві сталі в залежності від структури в стані рівноваги ?

4.3.22.Класифікація вуглецевих сталей за призначенням. Маркування вуглецевих конструкційних та інструментальних сталей.

4.3.23.Із яких сталей можна виготовити: ферму мостового крану, валик, полотно ножівки, пуансон, стамеску, шестерню, пружину тощо ? Назвати марку сталі.

 **4.4 Матеріали, інструменти, прилади та обладнання**

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

 **4.5 Вказівки з техніки безпеки**

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

 **4.6 Порядок проведення лабораторної роботи**

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

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

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

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

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

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

 **4.7 Зміст звіту**

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

 **4.8 Рекомендована література**

**1.** Бялік О.М. Металознавство: підручник / О.М. Бялік, В.С. Черненко, В.М. Писаренко, Ю.Н. Москаленко. – К: ІВЦ «Потітехніка», 2001. – с. 200-217.

2. Матеріалознавство: [підручник] / С.С. Дяченко, І.В. Дощечкіна, А.О. Мовлян, Е.І. Плешаков. – Харків:Видавництво ХНАДУ, 2007. – с. 125-144.

3. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов. / Лахтин Ю.М.– М.: Металлургия, 1984. – с. 159-166, 180-200.

4. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение / Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. – М.: Машиностроение, 1990. – с. 121-136, 250-257, 308, 309.

6. Материаловедение /Под ред. В.Н. Арзамасова. – М.: Машиностроение, 1986. – с. 55-61, 139-148, 201-202.

**ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5**

**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.

**5.1 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 (***Fe3C***), а процеси кристалізації та структурні перетворення в них визначаються за допомогою метастабільної діаграми (***Fe-Fe3C***). 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 ***Fe3C***; 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. 5.1). При температурі нижче 1153°С утворюється аустенітно-графітна евтектика, а нижче 738°С - 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.



Рисунок 5.1 – 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 ***Fe3C***, 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 уведенню кремнію та алюмінію.

 Структура чавунних відливків 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 ≤0,7% вуглецю (в цементиті перліту);

­ ***перлитні:*** 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 СЧІ5 має $σ\_{В}=$150МПа (15 кгс/мм2). 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 І та ІІ роду. ***Модифікатори І 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 І роду це - силікокальцій, титан, цирконій, феросиліцій або силікоалюміній (0,5…0,8 %).

 ***Модифікатори ІІ 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 (𝜹≤12%) характерна для феритних, а найбільша твердість і міцність ($σ\_{В}$=500 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 доевтектичних білих чавунів (2,4...2,9 %С, 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 С. На початку ізотермічної витримки структура відливок А**+**Л**+**ЦІІ. Через те, що термодинамічно стабільною є фазова суміш А**+**Г, а не А**+**Ц, у процесі витримки внаслідок розчинення ***Fe3C*** флуктаційно з’являються та ростуть зародки графіту. Після завершення першої стадії структура чавуну А**+**Г.

 При охолодженні від 1000 °С надлишок вуглецю виділяється з аустеніту (згідно лінії діаграми **ES**), який нашаровується на графітних частинках чи утворює цементит вторинний. Перетворення останнього (**Fe3C**→А**+**Г) призводить до росту графітних частинок (проміжна стадія).

 ***Чавуни*** - багатокомпонентні сплави, евтектоїдне перетворення в яких проходить в інтервалі 760...7200С. Тому при повільному охолодженні в цьому інтервалі температур або довготривалій ізотермічній витримці при 720°С проходить друга стадія графітизації. При цьому можливе перетворення аустеніту в перлит 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/мм2), а друге - відносне видовження (%), наприклад, КЧ 35-10.

 **5.2 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.

 **5.3 Контрольні запитання для самоперевірки і контролю підготовленості до лабораторної роботи**

 5.3.1. Завдяки яким властивостям чавун знаходить широке застосування як конструкційний матеріал ?

 5.3.2. Як класифікують чавуни в залежності від форми графіту та структури металевої основи? Їх вплив на властивості чавуну.

 5.3.3. Властивості білих чавунів, їх призначення. Згідно з якою діаграмою стану кристалізуються білі чавуни ?

 5.3.4. Фактори, що впливають на структуру металевої основи чавуну?

 5.3.5. Згідно з якою діаграмою стану кристалізується сірий чавун ?

 5.3.6. Як одержати високоміцний та ковкий чавун ?

 5.3.7. Що таке модифікування чавунів ? Назвіть модифікатори І та ІІ роду.

 5.3.8. Які фазові перетворення відбуваються на першій та другій стадіях графітизаційного відпалення ?

 5.3.9. Як маркуються та для яких деталей застосовуються сірі, високоміцні та ковкі чавуни ?

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

 Робота виконується на зразках доевтектичного, евтектичного та заевтектичного 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.

 **5.5 Вказівки з техніки безпеки**

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

 **5.6 Порядок проведення лабораторної роботи**

 5.6.1 Провести мікроскопічне дослідження шліфів. Порівнюючи мікроструктури зразків із фотографіями структур чавунів, що наведені в альбомах, визначити марку чавуну.

 5.6.2 Схематично зарисувати структури переглянутих сплавів, вказати структурні складові та, користуючись довідниковими даними, виписати біля кожної структури хімічний склад, твердість та призначення сплаву.

 5.6.3 На 3...4 зразках чавунів із відомою кількістю перлитної складової, визначити твердість НRВ, перевести НRВ в НВ.

 5.6.4 За експериментальними даними побудувати та обґрунтувати графік залежності “твердість - кількість перлиту”.

 5.6.5 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 5.6 – 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 |  |  |  |

 **5.7 Зміст звіту**

 Завдання п. 5.2, рис. 5.1, графік графітизаційного відпалення, схеми мікроструктур досліджених зразків чавунів, графік залежності “твердість - кількість перлиту”, табл. 5.6, висновки і пояснення.

 **5.8 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.