

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний автомобільно-дорожній
університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторних робіт
з дисципліни «Матеріалознавство і технологія
конструкційних матеріалів» для студентів
з галузі 01 «Освіта/педагогіка»
спеціальності 015.13 Професійна освіта. Метрологія,
стандартизація та сертифікація
015.20 Професійна освіта. Транспорт

Всі цитати, цифровий фактичний
матеріал і бібліографічні відомо-
сті перевірені, напис одиниць ві-
дповідає стандартам

Затверджено
Методичною Радою
університету
Протокол № від

Укладачі

Дощечкіна І.В.

Відповідальний за випуск Глушкова Д.Б.

Харків 2019

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний автомобільно-дорожній
університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторних робіт
з дисципліни «Матеріалознавство і технологія
конструкційних матеріалів» для студентів
з галузі 01 «Освіта/педагогіка»
спеціальності 015.13 Професійна освіта. Метрологія,
стандартизація та сертифікація
015.20 Професійна освіта. Транспорт

Затверджено
Методичною Радою
університету
Протокол № від

Укладачі

Дощечкіна І.В.

Відповідальний за випуск Глушкова Д.Б.

Харків 2019

Укладачі:

Дощечкіна І.В.

Кафедра технології металів та матеріалознавства

Лабораторна робота 1

МАКРОСКОПІЧНИЙ АНАЛІЗ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ

Мета роботи – ознайомитися з завданнями макроструктурного аналізу, засвоїти основні методи виявлення макроструктури металів і сплавів, навчитися робити висновки щодо оцінки їх якості, причин виникнення дефектів та руйнування.

Обладнання, прилади, матеріали

1. Злами різних деталей після руйнування в умовах експлуатації.
2. Злами зразків після механічних випробувань.
3. Зразки для виготовлення макрошліфів.
4. Зразки для виявлення ліквації сірки.
5. Набір наждачного паперу.
6. Травники та фільтрувальний папір.
7. Засвічений фотопапір.

Теоретичні основи роботи

Макроструктура – це будова матеріалу, яку виявляють незброєним оком або при невеликих збільшеннях (до 30 разів) за допомогою лупи.

Дослідження макроструктури називають макроструктурним аналізом (макроаналізом). Головна його перевага полягає в можливості одночасного дослідження великої частини або всієї поверхні виробу, що дозволяє отримати інформацію про загальний стан досліджуваного об'єкта після експлуатації, різних видів деформаційної або термічної обробки тощо. За результатами макроаналізу обирають ті ділянки виробу, які потребують детальнішого мікроструктурного дослідження.

Основні завдання макроструктурного аналізу такі:

– виявлення поверхневих дефектів деталі, що утворилися під час експлуатації, або дефектів на поверхні напівфабрикату, які виникли в процесі виготовлення;

– виявлення внутрішніх дефектів, які порушують суцільність металу (тріщини, пористість, газові пухирі тощо);

- дослідження будови металу, що утворюється при первинній кристалізації (в зливках, литих виробках, зварних з'єднаннях);
- вивчення хімічної неоднорідності розподілу елементів (сірки, фосфору, кремнію тощо);
- виявлення особливостей будови матеріалу (виробу) після обробки тиском;
- оцінка неоднорідності макроструктури після поверхневого зміцнення (поверхневого гартування, хіміко-термічної обробки, нанесення покриттів);
- вивчення виду зламу (злому), який дозволяє судити про характер і причини руйнування виробу.

Макроаналіз широко використовується у заводській практиці для контролю технологічних процесів виготовлення і обробки продукції. Але слід зауважити, що цей метод дає лише якісні, а не кількісні оцінки. Кількісні характеристики одержують за допомогою мікроструктурних та фізичних методів досліджень.

Макроструктуру можна вивчати безпосередньо на поверхні деталі або заготовки, на зломах та на спеціально виготовлених зразках – макрошліфах. Спосіб вивчення макроструктури вибирається залежно від завдань, які потрібно вирішити для конкретної заготовки або виробу.

Вивчення стану поверхні

Огляд поверхні заготовки або деталі надає інформацію про дотримання заданих технологічних режимів виготовлення заготовки (виробу) і необхідних умов експлуатації. Про неякісну обробку свідчить наявність тріщин, надривів, розшарування металу та ін. Порушення при експлуатації в умовах тертя призводять до появи на поверхнях, що труться, грубих рисок, слідів захоплювання, задирок тощо. Під дією агресивних середовищ на поверхні з'являються плями оксидів, корозійні ушкодження, відшарування тощо. Різкі зміни температур призводять до утворення сітки поверхневих тріщин – тріщин розжарювання, наприклад, на внутрішніх поверхнях кокіля, пресформ лиття під тиском тощо. У виробів, що працюють в умовах контактної втоми, поверхня покривається сіткою втомних тріщин.

Дослідження зламів

Злам – це поверхня, яка утворилася після руйнування твердого тіла (зразка або деталі). Аналіз будови свіжого зламу може надати інформацію про характер і причину руйнування, наявність чи відсутність при зламі пластичної деформації, вид та умови навантаження, якісну оцінку форми і розмірів зерен (кристалітів) тощо.

Вивчення зламів є одним із найстаріших методів вивчення будови і оцінки якості матеріалів, який і в сучасних дослідженнях не втратив своєї важливості і залишається дуже поширеним, оскільки в більшості випадків відомості про поведінку матеріалу під час руйнування не можна одержати іншими методами.

Наука, яка вивчає будову зламів, називається *фрактографією*. В практиці досліджують злами спеціально зруйнованих зразків, а також злами деталей, що зруйнувалися при експлуатації.

За характером руйнування злами поділяються на *крихкі, в'язкі, змішані (квазікрихкі)* та *втомні*.

Крихкий злам. Такий злам є результатом руйнування відривом, яке супроводжується дуже малою пластичною деформацією ($\psi \leq 1,5 \%$) і тому потребує невисокої енергії (робота руйнування ≤ 5 Дж). Злам рівний, без скосів, його поверхня складається з гладких не спотворених пластичною деформацією ділянок відколу – *фасеток*, які при їх достатньому розмірі добре відбивають світло. Тому такі злами мають кристалічний блиск і їх називають *кристалічними*. Найчастіше розміри фасеток відповідають розміру зерен, тому вивчення зламів дає уявлення про розмір зерна.

Розрізняють *грубокристалічний* та *тонкокристалічний* злами. Грубокристалічні злами є наслідком порушень режимів технології обробки: дуже високої температури нагріву (до 1300 °С) і тривалої видержки при цій температурі. Зерно може досягати розмірів 1 мм і вище. Залежно від особливостей розташування фасеток такі злами поділяють на *каменеподібні* та *нафталіністі*.

В тонкокристалічних зламах фасетки дуже дрібні, світло на них рівномірно розсіюється і вони мають *фарфороподібний (порцеляновий)* вигляд. Такий злам характерний для дрібнозернистих міцних і крихких матеріалів, наприклад, загартованих сталей з високою твердістю.

Окрихченню металу сприяють концентратори напружень, збільшення швидкості навантаження, агресивне середовище, в якому

експлуатується метал, перегрів при гарячій обробці, шкідливі домішки, насичення металу газами (воднем, азотом, киснем), зниження температури експлуатації.

В'язкий злам утворюється при руйнуванні, якому передують і яке супроводжується значною пластичною деформацією ($\psi \geq 15\%$), на яку витрачається велика енергія (≥ 20 Дж). Внаслідок великої пластичної деформації на поверхні зламу утворюються дрібні уступи – волокна. Такий злам називається *волокнистим*. Окремі фасетки не відбивають світла, і тому злам не блискучий, а *матовий*. В'язкий злам має бокові скоси, вони тим більші, чим пластичніший матеріал.

Одні й ті ж матеріали залежно від умов випробувань, зокрема температури, концентраторів напружень, виду і якості обробки, напруженого стану можуть руйнуватися як крихко, так і в'язко.

Змішаний злам. Найчастіше у практиці зустрічаються *змішані злами*. *Змішаним* називають злам, в якому одні ділянки зруйнувалися крихко, а інші – в'язко. В цих зламах загальна пластична деформація не перебільшує 15 %, а робота руйнування лежить в межах 5-20 Дж. Злами мають скоси, величина яких залежить від співвідношення кількості в'язкої і крихкої складових у зламі. У змішаних зламах ділянки в'язкої і крихкої складових можуть бути рівномірно розташованими або чітко відокремленими. На останніх легко кількісно оцінити частку того чи іншого зламу. Співвідношення крихкої і в'язкої складових зламу є одним із критеріїв оцінки схильності матеріалу до крихкого руйнування.

Різні види зламів наведені на рис. 1.1.



Рис. 1.1. Види зламу: а – крихкий; б – в'язкий; в – змішаний; х 7

Крихкі, в'язкі та змішані злами утворюються як при статичному, так і при динамічному (ударному) навантаженні.

Руйнування може відбуватися по тілу зерна і по його межах. Перший злам називають *внутрішньозеренним*, або *транскристалітним*, другий – *міжзеренним*, або *міжкристалітним*. Міжкристалітний злам завжди крихкий, транскристалітний може бути як при крихкому, так і при в'язкому руйнуванні.

Втомний злам утворюється в деталях, що працюють в умовах циклічного навантаження. Біля 80 % усіх руйнувань деталей машин (вали, осі, шестірні, пружини, ресори та ін.) – це втомне руйнування. Втомне руйнування починає розвиватися при напруженнях, значно нижчих за границю текучості ($\sigma_{0,2}$).

Втомне руйнування починається з поверхні виробів. При багаторазових (циклічних) навантаженнях на поверхні в місцях концентрації напружень біля дефектів конструктивного (гострий надріз, отвір), технологічного (раковина, шлакове включення), монтажного (риска, забоїна, скривленість, перекіс) походження з'являються субмікроскопічні тріщини. Це призводить до збільшення концентрації напружень і, як наслідок, до подальшого поступового розвитку тріщини. При цьому робочий переріз деталі зменшується, і коли в ньому діючі напруження перевищать тимчасовий опір σ_v (границю міцності), відбудеться руйнування з великою швидкістю – долам (долом) виробу.

Втомний злам має характерну будову і складається з трьох зон:

1. *Осередок (джерело) руйнування* – місце виникнення мікротріщини.

2. *Зона втомного руйнування* – зона *поступового розвитку мікротріщини*, що має заглажену поверхню з так званими *втомними смугами* – слідами стрибкоподібного переміщення втомної тріщини по перерізу деталі.

3. *Зона миттєвого доламу*, яка у крихких матеріалів має кристалічну, а у в'язких – волокнисту будову.

На рис. 1.2 показаний втомний злам осі.

При високих значеннях діючих напружень зона доламу займає більшу частину зламу. Зменшення напружень розширює зону поступового росту тріщини і скорочує зону доламу.

На поверхні зламів можна побачити дефекти металу (раковини, тріщини, пори, надриви та ін.), кристали дендритної форми у

зливках та виливках, а також транскристалізацію, яка може призвести до утворення тріщин у місці стикання стовпчастих кристалів, що призводить до суттєвого зниження міцності виробу.

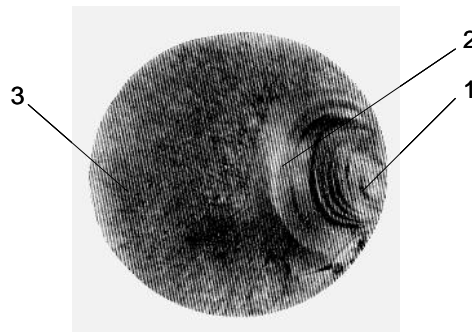


Рис. 1.2. Втомний злам осі:

- 1 – джерело виникнення мікротріщини;
- 2 – зона поступового розвитку тріщини;
- 3 – зона доламу

Дослідження макрошліфів

Внутрішню структуру матеріалів вивчають на спеціально підготовлених зразках – *макрошліфах (темплетах)*.

Макрошліф – це зразок, який вирізають із найбільш характерного місця деталі і після спеціальної підготовки (шліфування і травлення необхідним травником. Макрошліф, виготовлений у поперечному перерізі виробу, називають *темплетом*. Оскільки для досліджень використовують травлення макрошліфів, такий метод дослідження часто називають *методом травлення*. Залежно від характеру дефектів, що виявляються, і хімічного складу матеріалу використовують різні травильні розчини.

Завдання, для вирішення яких застосовують такий метод дослідження, перелічені раніше. Наведемо декілька прикладів його використання.

Будова металу після гарячої деформації

Внаслідок гарячої пластичної деформації відбувається витягання зерен, неметалевих включень і ліквідації них зон вздовж напрямку деформування.

Це виявляється як *волокниста структура*.*)

Напрямок волокна викликає анізотропію (відрізненість) механічних властивостей.

Вздовж волокна пластичність та ударна в'язкість вищі, ніж у поперечному напрямку. Тому при використанні матеріалу, що має волокнисту структуру, слід враховувати напрямок волокна. Рекомендується вибирати схему деформації при штампуванні або куванні таким чином, щоб напрямок волокна відповідав контуру деталі, а головні напруження, що діють на деталь, були перпендикулярними до волокна. Це особливо важливо для підвищення надійності деталей, що працюють в умовах високих динамічних навантажень (колінчасті вали, шатуни, шестірні).

Напрямок волокна у виробі дозволяє оцінити правильність технології його виготовлення.

Дослідження зварних з'єднань

На макрошліфах таких виробів виявляється наплавлений метал, поверхня сплавлення та зона термічного впливу.

Наплавлений метал має характерні дефекти, притаманні литому металу (пори, газові пухири, шлакові включення тощо). На поверхні сплавлення можна виявити непровари, які сильно знижують міцність шва. Характер будови цієї зони дає уявлення про ступінь перемішування основного та наплавленого матеріалу, що також впливає на властивості зварного виробу.

Зона термічного впливу (ЗТВ) – це ділянка матеріалу, в якій внаслідок високих температур відбуваються структурні перетворення будови матеріалу. Найнебезпечнішим дефектом цієї зони є ріст зерна поблизу поверхні сплавлення, що може значно окрихчити зварне з'єднання. В матеріалах, що мають обмежену або погану зварюваність, в цій зоні можна виявити тріщини.

Поверхнево зміцнені вироби

При поверхневому гартуванні, хіміко-термічній обробці (ХТО) змінюється структура поверхні виробу, внаслідок чого його поверхня і серцевина травляться по-різному.

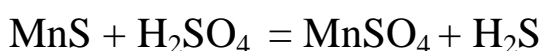
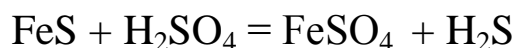
.....
*) Не слід змішувати волокнисту структуру деформованого металу з волокнистим зломом, про що говорилося раніше.

Це добре виявляється при дослідженні поперечних макрошліфів (темплетів). Їх вивчення дозволяє встановити товщину загартованого шару, глибину зони дифузійного насичення тим чи іншим елементом в процесі ХТО (при цементації, азотуванні, боруванні тощо). Можна також судити про однорідність товщини поверхневих зміцнених шарів, що особливо важливо для виробів, які піддають поверхневому гартуванню.

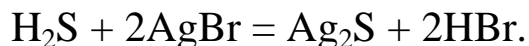
Виявлення ліквіації

Ліквіація (неоднорідність розподілу) домішок – вуглецю, сірки, фосфору тощо – визначається *методом відбитка*. В цьому разі вивчають не безпосередньо макроструктуру шліфа, а її відбиток, отриманий на фотопапері у такий спосіб. На поверхню готового до травлення макрошліфа накладають засвічений бромосрібний фотопапір, який попередньо просочують 5 % водним розчином сірчаної кислоти. Після видержки протягом 2 - 3 хв. фотопапір знімають з макрошліфа, ретельно промивають водою, фіксують у розчині гіпосульфїту, знову промивають і просушують.

Сірка міститься в сталі у вигляді сполук FeS або MnS. На ділянках поверхні, де є скупчення сірчаних сполук, відбувається реакція між ними та сірчаною кислотою, що залишилася на фотопапері

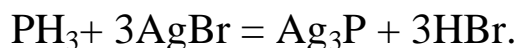
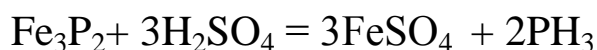


Сірководень H_2S вступає у реакцію з бромистим сріблом фотоемульсії за реакцією



Сірчасте срібло Ag_2S , яке утворюється внаслідок реакції, має темний колір. Таким чином, на відбитку утворюються темні плями, які відповідають місцям розташування сірчастих включень. Чим вище кількість сірки в металі, тим більше темних плям на поверхні відбитка.

Аналогічним чином оцінюють кількість і розташування включень фосфору, який знаходиться в залізовуглецевих сплавах, головним чином, у вигляді хімічної сполуки Fe_3P_2 :



Хімічна сполука Ag_3P має жовто-лимонний колір, і на відбитку місця, де розташований фосфор, добре виявляються. Такі відбитки характеризують ступінь забрудненості металу цими елементами та їх розподіл.

Порядок виконання роботи

1. Розглянути поверхні виробів з дефектами, зарисувати їх і описати.
2. Дослідити злами зразків для випробування ударної в'язкості, встановити їх вид і схематично зарисувати.
3. Розглянути злами реальних виробів і назвати можливі причини, що викликали руйнування.
4. Відшліфувати зразки для проведення макроаналізу.
5. Протравити зразки, промити, просушити, дослідити макроструктуру.
6. Зарисувати отримані макроструктури і описати їх характер і виявлені дефекти.
7. З одного макрошліфа зняти відбиток для виявлення ліквації сірки і проаналізувати його.
8. Оформити звіт про роботу.

Зміст звіту

Звіт має включати:

1. Мету роботи.
2. Стислий виклад теоретичних основ роботи.
3. Схематичні рисунки всіх досліджених поверхонь, макрошліфів, зламів.
4. Сірчаний відбиток і його описання.
5. Висновки.

Контрольні запитання

1. Що таке макроструктура, макроструктурний аналіз?
2. Якими методами вивчається макроструктура?

3. Які відомості можна одержати при вивченні зламу? Які існують види зламів?

4. Який вигляд мають злами при різних видах руйнування?

5. Вказати особливості втомного руйнування і описати характер зламу при такому руйнуванні.

8. Які відомості про метал можна одержати при використанні метода травлення?

9. Як вивчається ліквіація сірки та фосфору?

Література: [1, с. 64-67], [2, с. 8, 56-58], [3, 7-11], [4, 73-78], [5, с. 28-29], [8, с. 61-64], [13].

Лабораторна робота 2

ВИМІРЮВАННЯ ТВЕРДОСТІ МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи – оволодіти методами вимірювання твердості та мікротвердості; визначити взаємозв'язок між твердістю та іншими показниками міцності.

Обладнання, прилади, матеріали

1. Твердоміри Брінелля, Роквелла та Віккерса.
2. Лупа до твердоміра Брінелля.
3. Прилад для вимірювання мікротвердості.
4. Набір сталевих зразків.

Теоретичні основи роботи

Твердість характеризує здатність матеріалу чинити опір проникненню в нього більш твердого тіла, яке називають індентором. Індентором може бути сталева загартована кулька, алмазний конус або алмазна піраміда. Сьогодні найпоширенішими є методи вимірювання твердості за Брінеллем, Роквеллом і Віккерсом, а також метод вимірювання мікротвердості.

Вимірювання твердості – самий доступний і поширений метод механічних випробувань матеріалів, який використовують і в дослідницьких цілях і як засіб контролю в багатьох галузях промисловості. Жоден з інших методів механічних випробувань так не поширений в заводській практиці. Це пояснюється простотою й швидкістю вимірювань, які дозволяють здійснити стовідсотковий контроль деяких видів продукції. На відміну від багатьох інших, вимірювання твердості є неруйнівним методом механічних випробувань. Локальність методу забезпечує можливість оцінки властивостей тонких поверхневих шарів. Методом мікротвердості можна оцінити твердість окремих структурних складових.

Метод Брінелля

Метод вимірювання твердості за Брінеллем полягає у втискуванні сталеві загартованої кульки діаметром D в поверхню зразка (виробу) навантаженням F , яке прикладається протягом певного часу. Після зняття навантаження вимірюють діаметр відбитка d , що залишається на поверхні зразка. Діаметр відбитка визначають за допомогою спеціальної лупи.

Число твердості визначають відношенням навантаження F до площі поверхні відбитка A , тому твердість за Брінеллем має розмірність напруження (кгс/мм², Н/мм², або МПа)

Якщо навантаження F виражене у Н, твердість визначається за формулою

$$HB = \frac{0,102 \cdot F}{A} = \frac{0,102 \cdot 2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (2.1)$$

Якщо F виражене у кгс, твердість визначається за формулою

$$HB = \frac{F}{A} = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}, \quad (2.2)$$

При вимірюванні твердості за Брінеллем використовують твердосплавні кульки діаметром 1,0; 2,5; 5,0 або 10,0 мм залежно від матеріалу та товщини зразка (табл. 2.1). Поверхня зразка має бути плоскою та чистою, щоб за допомогою лупи можна було виміряти діаметр відбитка з достатньою точністю. При необхідності вимірювання твердості на зразках або деталях з криволінійною поверхнею треба підготувати площадку довжиною і шириною не менше $2D$.

На метод Брінелля розроблений стандарт ДСТУ 6506-1:2007 «Визначення твердості за Брінеллем. Частина 1. Метод випробування» (ISO 6506-1: 2007). У стандарті передбачено 30 шкал, за якими можуть проводитися вимірювання твердості.

При визначенні твердості сталей та чавунів, як правило, приймають $D = 10$ мм, $F = 3000$ кгс (~ 30000 Н), для Cu, Al, Ni – $D = 10$ мм, $F = 1000$ кгс (~ 10000 Н), для м'яких матеріалів (Pb, Sn та їх сплавів) $D = 10$ мм, $F = 250$ кгс (~ 2500 Н).

Позначення твердості за стандартом ДСТУ 6506-1:2007 включає значення твердості, символ твердості, діаметр кульки, прикладене навантаження, тривалість дії навантаження (рис. 2.1).

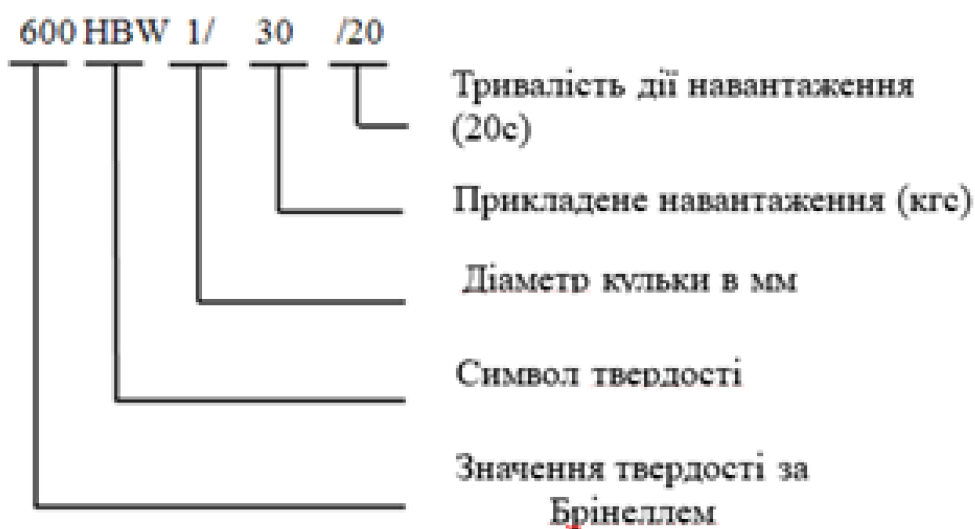


Рис. 2.1. Позначення твердості за Брінеллем

При визначенні твердості сталей та чавунів, як правило, приймають $D = 10$ мм, $F = 3000$ кгс (~ 30000 Н), для Cu, Al, Ni – $D = 10$ мм, $F = 1000$ кгс (~ 10000 Н), для м'яких матеріалів (Pb, Sn та їх сплавів) $D = 10$ мм, $F = 250$ кгс (~ 2500 Н).

На практиці для визначення твердості HBW користуються таблицями, створеними за розрахунками згідно з формулами (2.1), (2.2). Твердість позначають числом, що її характеризує, і літерами HBW, наприклад, 400 HBW без зазначення розмірності. З врахуванням коефіцієнта 0,102 (перехід від кгс/мм² до Н/мм²) числове значення твердості однакове при вимірюванні навантаження у кгс та Н.

Верхня границя вимірювання твердості за Брінеллем твердосплавними кульками дорівнює 650 HB. При вищій твердості матеріалів відбувається неприпустима деформація кульки.

Для вимірювання твердості за Брінеллем використовують стаціонарні або переносні прилади типу ТШ. Вибір діаметра кульки та

умов навантаження для різних матеріалів здійснюється за допомогою табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Умови вимірювання твердості за Брінеллем залежно від матеріалу, його твердості та товщини зразка

Матеріал	Твердість, НВ	Мінімальна товщина зразка, мм	Діаметр кульки D , мм	Навантаження F , Н (кгс)	Видержка під навантаженням, с
Чорні метали	140-450	6-3	10,0	30000 (3000)	10
		4-2	5,0	7500 (750)	
< 2		2,5	1875 (187,5)		
< 140	> 6	10,0	10000 (1000)	10	
		5,0	2500 (250)		
		2,5	625 (62,5)		
Кольорові метали	130	6-3	10,0	30000 (3000)	30
		4-2	5,0	7500 (750)	
		< 2	2,5	1875 (187,5)	
	35-130	9-3	10,0	10000 (1000)	30
		6-3	5,0	2500 (250)	
		< 3	2,5	625 (62,5)	
8...35	> 6	10,0	2500 (250)	60	
		6...3	5,0		625 (62,5)
		< 3	2,5	156 (15,6)	

Метод Роквелла

Метод Роквелла є універсальним, він застосовується для м'яких і твердих матеріалів згідно ДСТУ ISO 6508-1: 2013 (ISO 6508-1: 2005, IDT) «Металеві матеріали. Визначення твердості за Роквеллом. Частина 1. Метод випробування».

У приладах для вимірювання твердості за Роквеллом індентором є сталеве або твердосплавна кулька діаметром 1,588; 3,175; 6,35; 12,7 мм або алмазний конус з кутом при вершині 120°. Стандартом передбачено 54 шкали, які використовуються для виборі умов вимірювання твердості. Найчастіше використовуються три шкали – *A*, *B* і *C*.

При вимірюванні алмазним конусом використовуються шкали *A* та *C* і твердість позначається HRA, HRC відповідно. При вимірюванні сталеву кулькою використовують шкалу *B*, а твердість поз-

начають HRB. Позначення твердості за Роквеллом згідно ДСТУ ISO 6508-1: 2013 (рис. 2.2).

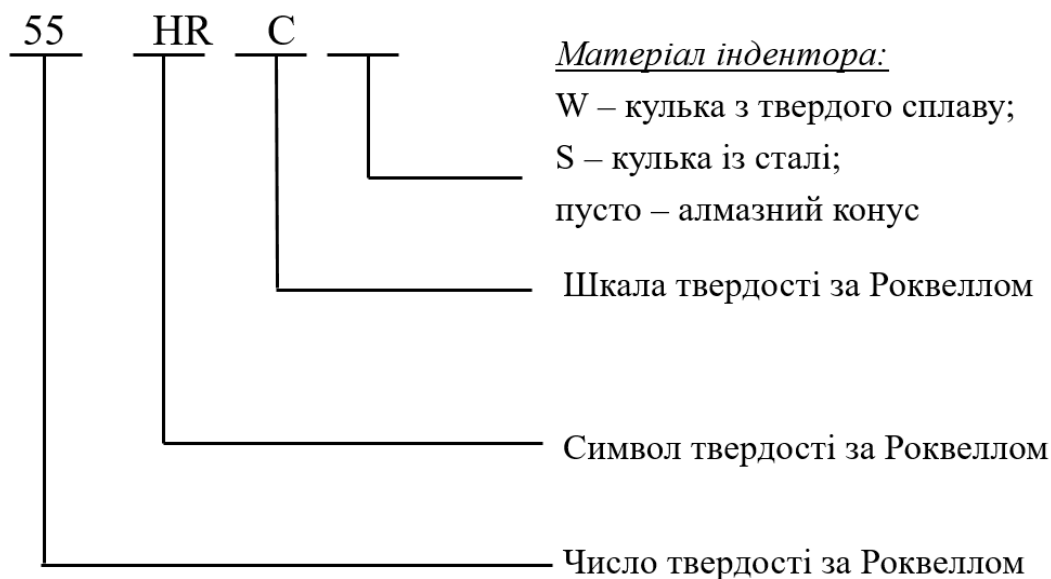


Рис. 2.2. Позначення твердості за Роквеллом

За шкалою *C*, як правило, вимірюють високу твердість, наприклад, загартованих виробів; за шкалою *B* – твердість при її помірних значеннях (після відпалу, нормалізації тощо). Для вимірювання твердості тонких виробів або тонких шарів, а також дуже твердих матеріалів використовують шкалу *A*. Навантаження на індентор залежить від твердості матеріалу, тобто від того, за якою шкалою вона вимірюється:

Твердість	HRA	HRB	HRC
Навантаження, кгс	60	100	150

Твердість за Роквеллом визначається глибиною проникнення індентора і є безрозмірним числом, яке проставляють перед символом, що позначає метод випробування та шкалу, наприклад, 50 HRC. Установлені такі границі твердості за Роквеллом: HRB – 25-100, HRC – 20-67, HRA – 70-85. Відбитки на поверхні деталі мають невеликі розміри і практично не впливають на подальшу експлуатацію виробу.

Поверхня зразка або виробу для вимірювання твердості за Роквеллом повинна бути очищена від окалини та інших сторонніх речовин і не мати тріщин, вибоїн та ін. Допускається вимірювання

твердості криволінійних поверхонь з радіусом кривизни не менше 15 мм.

Метод Віккерса

Метод вимірювання твердості за Віккерсом полягає у втискуванні в поверхню зразка (виробу) чотиригранної піраміди з квадратною основою. Навантаження P при випробуваннях може дорівнювати 5, 10, 20, 30, 50, 100 кгс. Після зняття навантаження вимірюють обидві діагоналі відбитка.

Число твердості за Віккерсом HV визначається як частка від ділення навантаження P на площу бокової поверхні відбитка

$$HV = \frac{2P \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{d^2} = 1,8544 \frac{P}{d^2}, \quad (2.3)$$

де d – середнє арифметичне двох діагоналей; α – кут між протилежними гранями при вершині (136°).

Як і для твердості за Брінеллем, для визначення HV використовують таблиці складені за розрахунками відповідно з рівнянням (2.3). Твердість за Віккерсом має розмірність напруження ($\text{кгс}/\text{мм}^2$ або МПа). В таблицях ці значення наведені в $\text{кгс}/\text{мм}^2$.

Відповідно до стандарту ДСТУ ISO 6507-1:2007 в позначенні твердості вказують величину навантаження і тривалість його дії (рис. 2.3).

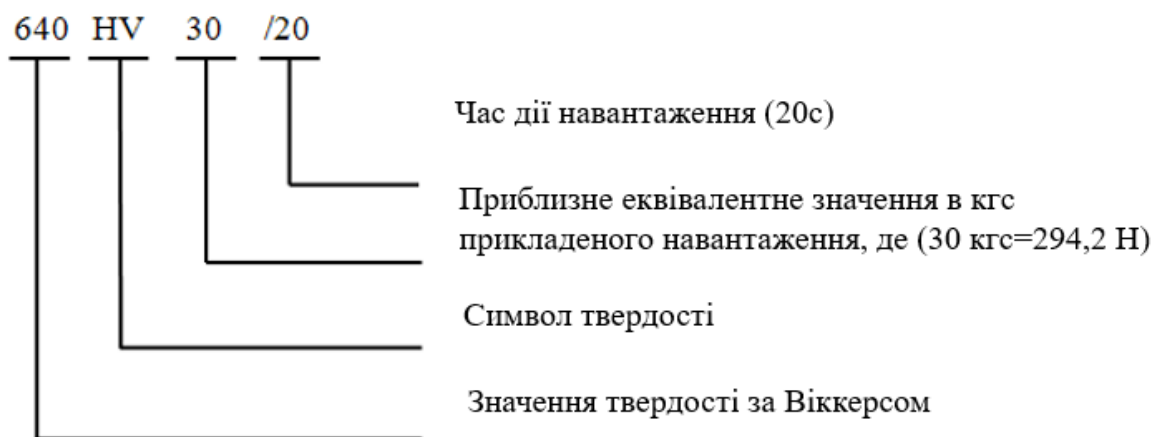


Рис. 2.3. Позначення твердості за Віккерсом

Числа HV і HB досить добре співпадають в інтервалі від самих низьких значень до 450 HB. Використання алмазної піраміди дозволяє продовжити вимірювання до 1000 одиниць, що відповідає дуже твердим матеріалам. Оскільки навантаження при використанні методу Віккерса невеликі, стає можливим визначення твердості тонких зразків або шарів.

Для вимірювання твердості за Віккерсом використовують прилади типу ТП, що мають поворотну головку, на якій змонтовано індентор та вимірювальний мікроскоп з окулярним мікрометром. Після розвантаження поворотом головки суміщають об'єктив мікроскопа з відбитком і вимірюють діагоналі.

Шорсткість R_a поверхні зразків для вимірювання твердості за Віккерсом має бути не більше 0,16 мкм, мінімально припустимий радіус кривизни поверхні – 5 мм.

*Зв'язок між твердістю, міцністю і кількістю
вуглецю в сталі*

Оскільки вимірювання твердості простіше, ніж показників міцності, дуже важливо встановити зв'язок між ними. Існують емпіричні формули, які дозволяють при відомій твердості визначити тимчасовий опір σ_b , границю витривалості σ_{-1} і ряд інших характеристик.

Для сталі з твердістю від 120 до 170 HB (при її вираженні у кгс/мм²)

$$\sigma_b = 0,34 HB \quad (2.4)$$

Якщо твердість становить 170-450 кгс/мм²,

$$\sigma_b = 0,35 HB. \quad (2.5)$$

Для сталі з вищою твердістю встановлення σ_b за значенням HB пов'язано зі значною помилкою і може бути ненадійним.

Якщо число твердості HBW має розмірність Н/мм², то при визначенні σ_b за формулами 2.4, 2.5 використовують коефіцієнти, збільшені удесятеро (3,4, 3,5).

Для відпаленої сталі, знаючи HB, можна визначити границю витривалості

$$\sigma_{-1} = (0,12 \div 0,15) HB, \quad (2.6)$$

Для сталі у відпаленому (нормалізованому) стані між твердістю HV і вмістом вуглецю існує пряmolінійна залежність (рис. 4.1). Тому, вимірявши HV , можна визначити кількість вуглецю в сталі.

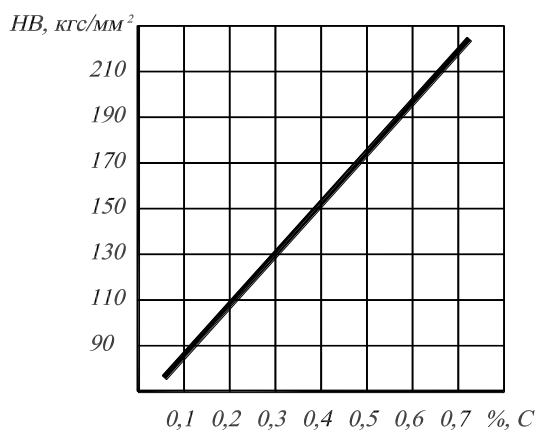


Рис. 2.1. Залежність твердості відпаленої сталі від вмісту вуглецю

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з приладами вимірювання твердості (за Брінеллем, Роквеллом і Віккерсом) та мікротвердості.
2. На кожену групу з двох-трьох студентів одержати зразки сталі в загартованому і відпаленому станах.
3. На зразках сталі у відпаленому стані виміряти твердість за Брінеллем (не менше трьох вимірів на зразку). Навантаження, діаметр кульки і час видержки вибрати за табл. 2.1.
4. За допомогою лупи виміряти діаметри кожного відбитка в двох взаємно перпендикулярних напрямках, знайти їх середнє арифметичне, за таблицею визначити твердість для кожного відбитка і з трьох значень підрахувати середню твердість для кожного зразка.
5. Визначити на тих же зразках твердість за Роквеллом за шкалою B , порівняти, користуючись таблицею, значення твердості, визначені на твердомірах Брінелля і Роквелла. При значних розходженнях повторити вимірювання.
6. За даними твердості HV визначити вміст вуглецю в різних зразках сталі (рис. 2.1) і підрахувати значення тимчасового опору і границі витривалості за формулами (2.4), (2.5), (2.6).

7. Виміряти твердість загартованої сталі алмазним конусом за Роквеллом і за таблицею перевести її в твердість за Брінеллем.

8. Оформити звіт про роботу.

Зміст звіту

Звіт має включати:

- 1). Мету роботи;
- 2). Стислий виклад теоретичних основ роботи;
- 3). Формули для визначення σ_B і σ_{-1} за даними НВ для сталей у відпаленому стані;
- 4). Графік залежності твердості відпаленої сталі від вмісту вуглецю;
- 5). Таблиці 2.2 і 2.3 з даними експерименту, які складає кожна підгрупа студентів для своїх зразків;
- 6). Узагальнену таблицю 4.4 для всіх відпалених зразків, випробуваних студентами різних підгруп;
- 7). Висновки.

Таблиця 2.2

Твердість відпаленої сталі

Номер виміру	Вимірювання на твердомірі			
	Брінелля		Роквелла	
	діаметр відбитка, мм	НВW	HRB	НВW
1				
2				
3				
		середнє		середнє

Твердість загартованої сталі

Номер заміру	Твердість	
	HRC	HBW
1		
2		
3		

Показники твердості, міцності і кількості вуглецю для зразків відпаленої сталі

Номер зразка	HB	Вміст вуглецю	σ_b , МПа	σ_{-1} , МПа

Контрольні запитання

1. Що таке твердість?
2. Які існують методи визначення твердості?
3. У чому полягає метод вимірювання твердості за Брінеллем?
У яких одиницях вона вимірюється, як позначається?
4. Від чого залежить вибір навантаження та діаметра кульки при вимірюванні твердості методом Брінелля?
5. Які обмеження має метод Брінелля?
6. В чому полягає метод вимірювання твердості за Роквеллом?
В яких одиницях вона вимірюється, як позначається?
7. Як вимірюється твердість за Віккерсом?
8. Які шкали має твердомір Роквелла і коли їх використовують при вимірюванні твердості?
9. Як можна за твердістю визначити вміст вуглецю в сталі?
Для сталі в якому стані це можливо?
10. Який зв'язок існує між твердістю і показниками міцності?
Для якого стану сталі ці співвідношення можна використовувати?

Література: [1, с. 20-24], [2, с. 52-55], [3, с. 95-98], [4, с. 38-55], [5, 34-36], [8, с.74-75].

Лабораторна робота 3

ВИВЧЕННЯ ДІАГРАМИ СТАНУ ЗАЛІЗО - ЦЕМЕНТИТ

Мета роботи – вивчити структурний і фазовий склад залізо-вуглецевих сплавів при різних температурах і перетворення, які відбуваються при їх нагріві та охолодженні.

Обладнання, прилади, матеріали

1. Діаграма стану залізо - цементит.
2. Моделі кристалічних ґраток модифікацій Fe_α і Fe_γ .

Теоретичні основи роботи

Сплави на основі заліза – сталі і чавуни – найпоширеніші у сучасній техніці. Структура і фазовий склад залізовуглецевих сплавів у рівноважному стані описується діаграмою фазової рівноваги (діаграмою стану).

Залізо – це метал, в якому відбувається *поліморфне перетворення*, тобто при певній температурі змінюється кристалічна ґратка. Залізо двічі змінює свою ґратку – при 911°C і при 1392°C . Нижче 911°C залізо має об'ємноцентровану кубічну ґратку (ОЦК). Таке залізо називається α -залізо і позначається $\alpha\text{-Fe}$, або Fe_α . Вище 911°C ґратка заліза змінюється на гранецентровану кубічну (ГЦК). Це γ -залізо ($\gamma\text{-Fe}$, або Fe_γ). При 1392°C відбувається ще одне поліморфне перетворення – ГЦК ґратка знову перетворюється в ОЦК ґратку. Високотемпературне залізо з ОЦК ґраткою називають δ -залізом ($\delta\text{-Fe}$, або Fe_δ).

Залізо з вуглецем у твердому стані може утворювати три фази: *ферит*, *аустеніт* і *цементит*. *Ферит* – це твердий розчин вуглецю у Fe_α , він позначається $Fe_\alpha(\text{C})$. *Аустеніт* – твердий розчин вуглецю у Fe_γ , його позначають $Fe_\gamma(\text{C})$. Обидва розчини є *обмеженими твердими розчинами проникнення*. Розчинність вуглецю у ОЦК ґратці невелика і навіть при високих температурах (727°C) не перевищує 0,03 %. Максимальна розчинність вуглецю у ГЦК ґратці досягається при 1147°C і дорівнює 2,14 %.

Цементит – це хімічна сполука Fe_3C , яка містить 6,67 % вуглецю.

Діаграма фазової рівноваги наведена на рис. 8.1. Вона охоплює тільки невелику частину всієї системи сплавів залізо-вуглець і обмежується кількістю вуглецю 6,67 %, яка відповідає цементиту. Тому її називають “діаграма залізо - цементит”. Саме сплави з вмістом вуглецю менше 6,67 % знайшли широке практичне застосування. Сплави з більшою кількістю вуглецю не використовуються через свою крихкість.

Діаграма стану $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$, наведена на рис. 3.1, не враховує поліморфного $\gamma \leftrightarrow \delta$ -перетворення, яке відбувається при високих температурах (лівий верхній кут діаграми) і практично не впливає на структуру та властивості більшості залізобуглецевих сплавів.

На рис. 3.1 по ординатах відкладена температура, по абсцисі нанесені дві шкали: верхня характеризує кількість вуглецю від 0 % (100 % заліза) до 6,67 % (100 % Fe_3C), нижня – кількість цементиту.

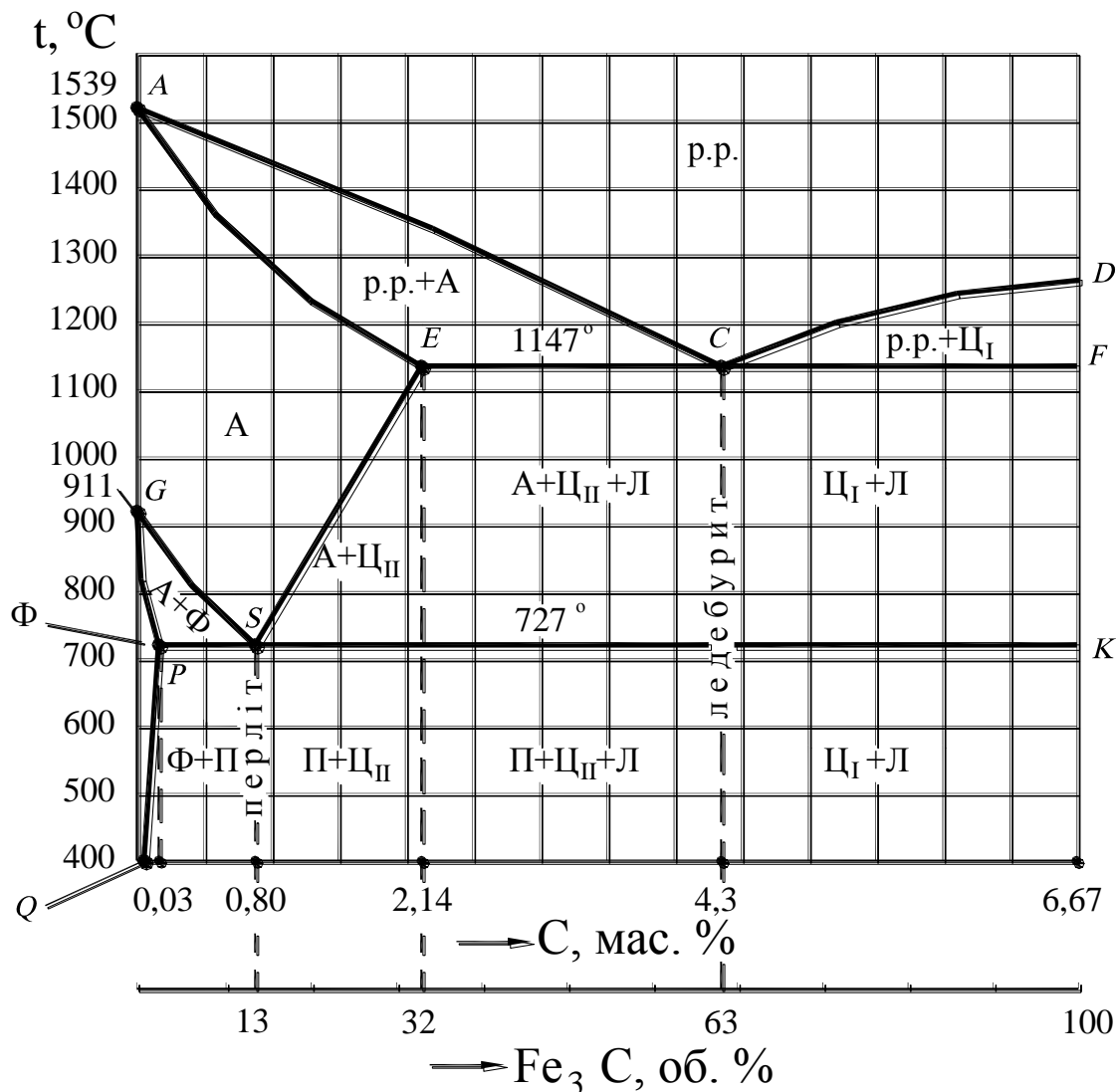


Рис. 3.1. Діаграма стану $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$

Первинна кристалізація

Точка A на лівій ординаті – це температура плавлення чистого заліза ($1539\text{ }^{\circ}\text{C}$), точка D на правій ординаті – температура плавлення цементиту ($1252\text{ }^{\circ}\text{C}$), ACD – лінія ліквідуса, вище якої всі сплави знаходяться в рідкому стані, $AECF$ – лінія солідуса, нижче якої всі сплави знаходяться в твердому стані.

Верхня частина діаграми відповідає первинній кристалізації (кристалізації з рідкого стану). Розглянемо процеси, які при цьому відбуваються.

При охолодженні нижче лінії AC з рідкого розчину починається виділення кристаликів твердої фази. Оскільки при температурі $> 911\text{ }^{\circ}\text{C}$ залізо існує в модифікації Fe_{γ} , цією фазою є твердий розчин вуглецю в Fe_{γ} – аустеніт (A). Нижче лінії CD з рідкого розчину виділяється цементит, який називають *первинним* (Ц_1).

Між лініями ліквідус і солідус існують двофазні області, в яких одночасно присутні рідкий розчин і кристалики аустеніту (між лініями AC та AEC) або цементиту (між лініями CD і CF).

В процесі кристалізації відбувається зміна концентрації рідкого розчину (згідно з лініями AC та CD) і аустеніту (згідно з лінією AE). При $1147\text{ }^{\circ}\text{C}$ для сплавів будь-якого складу концентрація вуглецю в аустеніті дорівнює $2,14\%$ – точка E , яка *характеризує максимальну розчинність вуглецю в аустеніті*. Концентрація вуглецю при цій температурі дорівнює $4,3\%$ (точка C).

При кристалізації сплаву, склад якого відповідає точці C , з рідкого розчину одночасно виділяються кристали аустеніту і цементиту, тобто утворюється евтектика ($A + \text{Ц}_1$), яка називається *ледебуритом*. Точка C – *евтектична точка* ($4,3\%$ C). Отже, ледебурит (L) – це однорідна механічна суміш аустеніту і цементиту, яка утворюється при постійній температурі ($1147\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Лінія ECF – *евтектична горизонталь*. При такій температурі в усіх сплавах з концентрацією вуглецю більше $2,14\%$ кристалізація закінчується утворенням ледебуриту, оскільки при цій температурі концентрація вуглецю в рідкому розчині для всіх сплавів дорівнює $4,3\%$.

Таким чином, після закінчення первинної кристалізації сплави з вмістом вуглецю $< 2,14\%$ мають структуру аустеніту, який виділявся з рідкого розчину в інтервалі температур між лініями AC і AE .

Сплави з концентрацією вуглецю від 2,14 до 4,3 % складаються з аустеніту, який виділявся з рідкого розчину в інтервалі температур AC і EC , і ледебуриту, що утворився при постійній температурі $1147\text{ }^{\circ}\text{C}$ (лінія ECF). Структура сплавів з вмістом $C = 4,3\%$ – ледебурит, з $C > 4,3\%$ – ледебурит і цементит, який виділявся в інтервалі температур між лініями CD та CF .

Перетворення в твердому стані

Структурні і фазові перетворення, які відбуваються в залізовуглецевих сплавах в твердому стані (вторинна кристалізація), зумовлені поліморфізмом заліза і зменшенням розчинності вуглецю в твердих розчинах (аустеніті і фериті) при зниженні температури.

Оскільки аустеніт є твердим розчином проникнення, вуглець в ньому розчинюється обмежено. Максимальна розчинність дорівнює 2,14 % (точка E , $t = 1147\text{ }^{\circ}\text{C}$). При пониженні температури розчинність вуглецю в Fe_{γ} зменшується відповідно з лінією ES і при $727\text{ }^{\circ}\text{C}$ досягає 0,8 % (точка S). Лінія ES є лінією обмеженої розчинності вуглецю в Fe_{γ} і при кожній температурі характеризує максимальний вміст цього елемента в аустеніті. При $727\text{ }^{\circ}\text{C}$ максимальна кількість вуглецю, який може розчинитися в аустеніті, дорівнює 0,8 %.

Зменшення розчинності зумовлює виділення з аустеніту надлишкового вуглецю у вигляді хімічної сполуки Fe_3C , тобто цементиту. Цементит, який виділяється з аустеніту (з твердої фази), називають *вторинним* (Ц_{II}) на відзнаку від первинного, що виділяється з рідкої фази.

В сплавах з концентрацією C від 2,14 до 4,3 % зменшення розчинності вуглецю в аустеніті зі зниженням температури також спричиняє виділення вторинного цементиту, тому при температурах нижче лінії EC структура складається з аустеніту, ледебуриту і вторинного цементиту. Слід підкреслити, що первинний і вторинний цементит має однакові властивості, і тому при розгляді реальних структур вид (походження) цементиту частіше за все не деталізується.

Аналогічне перетворення відбувається і в сплавах з кількістю вуглецю вище 4,3 %, але вторинний цементит виділяється на кристалах первинного і в структурі як окрема структурна складова не фіксується.

При досягненні температури 727 °С концентрація вуглецю в аустеніті в усіх сплавах дорівнює 0,8 % (точка *S*).

Якби в залізі при охолодженні не відбувалося $\gamma \rightarrow \alpha$ перетворення, лінія *ES* доходила б до кімнатної температури. Однак внаслідок поліморфного перетворення з'являється нижня частина діаграми.

Точка *G* на лівій ординаті відповідає температурі поліморфного перетворення чистого заліза (911 °С). Зі збільшенням вмісту вуглецю температура поліморфного перетворення знижується. Лінія *GS* відповідає початку перетворення граток для сплавів з різною концентрацією вуглецю. Внаслідок перетворення граток нижче лінії *GS* в структурі з'являється ферит (Φ), який співіснує з аустенітом в області, обмеженій лініями *GS* та *GPS*. При цьому процес виділення фериту, який містить мало вуглецю, супроводжується підвищенням його концентрації в аустеніті по лінії *GS*. При температурі 727 °С вона для всіх сплавів досягає 0,8 % (точка *S*).

Лінія *GP* відповідає закінченню $\gamma \rightarrow \alpha$ перетворення в сплавах з концентрацією $C < 0,03$ %. Нижче цих температур існує чистий ферит (Φ). Точка *P* показує максимальну розчинність в ньому вуглецю (0,03 % при температурі 727 °С). Зі зниженням температури розчинність зменшується, і при кімнатній стає рівній 0,006 % (точка *Q*). Таким чином, *PQ* – лінія обмеженої розчинності вуглецю в Fe_α . Внаслідок зниження розчинності з фериту також виділяється надлишковий цементит (третинний), але його кількість невелика, і ми його не розглядатимемо.

Горизонталь *PSK* (727 °С) відповідає закінченню $\gamma \rightarrow \alpha$ перетворення у сплавах з вмістом вуглецю $> 0,03$ %. Як уже говорилося, при цій температурі аустеніт містить 0,8 % *C*. За такої концентрації з нього одночасно виділяються дві фази – кристали фериту, які утворилися внаслідок поліморфного перетворення, і цементиту, який виділився внаслідок зменшення розчинності вуглецю в аустеніті. *Однорідна механічна суміш фериту і цементиту, яка утворюється при постійній температурі 727 °С за рахунок їх одночасного виділення з аустеніту, називається перлітом.* Ця структура подібна до евтектики, але вона формується не з рідкого стану, а при розпаді твердого розчину, і її називають *евтектоїдом*.

Лінія *PSK* (727 °С), яка відповідає утворенню евтектоїда, – це лінія евтектоїдного (перлітного) перетворення (евтектоїдна горизон-

нталь). При температурах $< 727\text{ }^{\circ}\text{C}$ аустеніт в рівноважному стані не існує.

Нижче $727\text{ }^{\circ}\text{C}$ сплави залежно від вмісту вуглецю матимуть такі структури:

- $< 0,8\text{ }\%$ C – ферит і перліт;
- $0,8\text{ }\%$ C – перліт;
- від $0,8$ до $2,14\text{ }\%$ C – перліт і цементит;
- від $2,14$ до $4,3\text{ }\%$ C – перліт, ледебурит, цементит;
- $4,3\text{ }\%$ C – ледебурит
- $> 4,3\text{ }\%$ C – ледебурит і цементит.

Підкреслимо, що вище $727\text{ }^{\circ}\text{C}$ ледебурит – це суміш аустеніту і цементиту, нижче цієї температури – суміш перліту і цементиту.

Залежно від кількості вуглецю всі сплави системи Fe - Fe₃C поділяються на дві групи: *сталі* і *чавуни*. До сталей належать сплави, які містять менше $2,14\text{ }\%$ вуглецю, до чавунів – більше $2,14\text{ }\%$ C.

Сталі поділяються на *доевтектоїдні* (C $< 0,8\text{ }\%$), *евтектоїдну* (C = $0,8\text{ }\%$) та *заевтектоїдні* (C $> 0,8\text{ }\%$), чавуни – на *доевтектичні* (C $< 4,3\text{ }\%$), *евтектичний* (C = $4,3\text{ }\%$) і *заевтектичні* (C $> 4,3\text{ }\%$).

Розглянута діаграма описує структуроутворення в так званих *білих чавунах*, в яких весь вуглець знаходиться в цементиті.

Порядок виконання роботи

1. На розвороті зошита в лівій частині нарисувати діаграму Fe - Fe₃C.
2. Нанести на неї вертикальні лінії, які відповідають $0,4$; $0,8$; $1,3$; $3,0$; $4,3$ та $5\text{ }\%$ вуглецю.
3. Для кожного сплаву побудувати криві охолодження і указати на них фази, які існують при різних температурах, і перетворення.
4. Оформити звіт про роботу.

Зміст звіту

Звіт має включати:

1. Мету роботи.
2. Стислий виклад теоретичних основ роботи.
3. Діаграму стану Fe - Fe₃C.
4. Криві охолодження для указаних сплавів

5. Аналіз фазових перетворень.
6. Висновки.

Контрольні запитання

1. Що таке поліморфізм?
2. Яку гратку має залізо при різних температурах і які назви мають різні модифікації заліза?
3. Які фази утворює залізо з вуглецем? Як вони називаються? Дайте їм визначення.
4. Яка максимальна розчинність вуглецю у α - і γ -залізі? Якими точками на діаграмі вона позначається?
5. Назвіть лінії ліквідуса і солідуса.
6. Що характеризують лінії *ES* та *PQ*?
7. Що таке евтектика і евтектоїд? Чим вони відрізняються?
8. Як називаються евтектика і евтектоїд в залізобуглецевих сплавах?
9. Яким перетворенням відповідають лінії *ECF* і *PSK*?
10. Яке фазове перетворення в процесі охолодження починається при температурах, що відповідають лінії *GS*?
11. Які сплави називаються сталями і чавунами? Як поділяються сталі і чавуни залежно від вмісту вуглецю?
12. Назвіть структурні складові, які існують в залізобуглецевих сплавах різної концентрації при кімнатній температурі.

Література:[1, с. 126-131], [2, с. 99-101], [3, с. 118-131].

Лабораторна робота 4

ВИВЧЕННЯ СТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ СТАЛЕЙ І ЧАВУНІВ У РІВНОВАЖНОМУ СТАНІ

Мета роботи – вивчити структуру і фазовий склад сталей і чавунів у рівноважному стані, їх класифікацію за вмістом вуглецю, оцінити вплив вуглецю на їх властивості та засвоїти принципи маркування якісних вуглецевих сталей і чавунів різних видів.

Обладнання, прилади, матеріали

1. Металографічний мікроскоп
2. Зразки сталей з різним вмістом вуглецю.
3. Зразки білого доевтектичного, евтектичного і заевтектичного чавунів.
4. Зразки сірого, ковкого і високоміцного чавунів з різною структурою металевої основи.
5. Діаграма стану Fe-Fe₃C.
6. Твердомір Роквелла.

Теоретичні основи роботи

До залізовуглецевих сплавів належать сталі і чавуни. Сталі – це сплави заліза з вуглецем, які містять менше 2,14 % С, чавуни – більше 2,14 % С.

Структура і властивості сталей

Залежно від вмісту вуглецю сталі поділяються на доевтектоїдні (< 0,8 % С), евтектоїдну (0,8 % С) та заевтектоїдні (> 0,8 % С).

Сплави, що містять менше 0,025 % С, являють собою технічне залізо і мають структуру фериту – твердого розчину вуглецю в α -залізі. *Ферит* – це м'яка і пластична структурна складова (НВ ~ 70, σ_b ~ 200 МПа, δ ~ 40 %, ψ ~ 60 %). При дослідженні в мікроскопі ферит має вигляд світлих зерен, відокремлених одне від іншого границями.

При вмісті вуглецю від 0,025 до 0,8% структура складається з фериту і перліту. *Перліт* – це механічна суміш фериту і цементиту пластинчастої будови. Цементит (карбід заліза Fe₃C) має високу твердість (НВ ~ 870), тоді як пластичність практично дорівнює нулю.

Перліт за своїми властивостями займає проміжне положення між феритом і цементитом, його твердість ~ 220 НВ, σ_b ~ 750 МПа, δ ~ 15 %, ψ ~ 28 %. Через неоднорідність будови (чергування фериту, який травиться інтенсивніше і утворює на поверхні мікрошліфа западини, та цементиту, що виступає над поверхнею) при металографічному дослідженні перлітна складова сильніше розсіює світло і

виглядає темною. При великому збільшенні або для крупнопластинчастих структур можна розрізнити окремі пластини цементиту.

Чим вищий вміст в сталі вуглецю, тим більше в мікроструктурі перліту (а отже, цементиту) і менше фериту. Мікроструктура евтектоїдної сталі складається з одного перліту, який містить 13 % цементиту, що видно з діаграми фазової рівноваги.

Структура заевтектоїдної сталі – перліт і вторинний цементит, який розташовується по границях зерен у вигляді світлої сітки. Чим більше вуглецю в сталі, тим товще сітка цементиту.

В доевтектоїдній сталі за мікроструктурою можна орієнтовно оцінити вміст вуглецю, підрахувавши площу, яку займає на шліфі перліт. Оскільки у фериті розчинюється дуже мало вуглецю (при кімнатній температурі 0,006 %), можна вважати, що в доевтектоїдній сталі практично весь вуглець знаходиться у перліті. Виходячи з цього і враховуючи, що в евтектоїдній сталі з вмістом вуглецю 0,8 % структура складається повністю з перліту, концентрацію вуглецю в сталі можна визначити за формулою

$$C = \frac{F_n \cdot 0,8}{100} \%, \quad (4.1)$$

де F_n – площа, яку займає перліт, %.

Кількість вуглецю в сталі – це один з основних факторів, що впливають на властивості сталей.

Зі збільшенням в сталі вмісту вуглецю зростає кількість твердого і крихкого цементиту, який в доевтектоїдних та евтектоїдній сталях знаходиться в перліті, а в заевтектоїдні сталі, крім перліту, в структурно вільному стані по границях зерен. Частка ж м'якого і пластичного фериту зменшується. При кількості вуглецю 2,14 % сталь містить 32 % цементиту.

Внаслідок цього зі збільшенням вмісту вуглецю твердість (НВ) і міцність (σ_b , $\sigma_{0,2}$) сталі підвищуються, а пластичність (ψ , δ) та ударна в'язкість (КСУ) зменшуються (рис. 4.1). При кількості вуглецю вище $\sim 1,2$ % починають знижуватися і показники міцності, що зумовлено присутністю на границях зерен сітки крихкого цементиту.

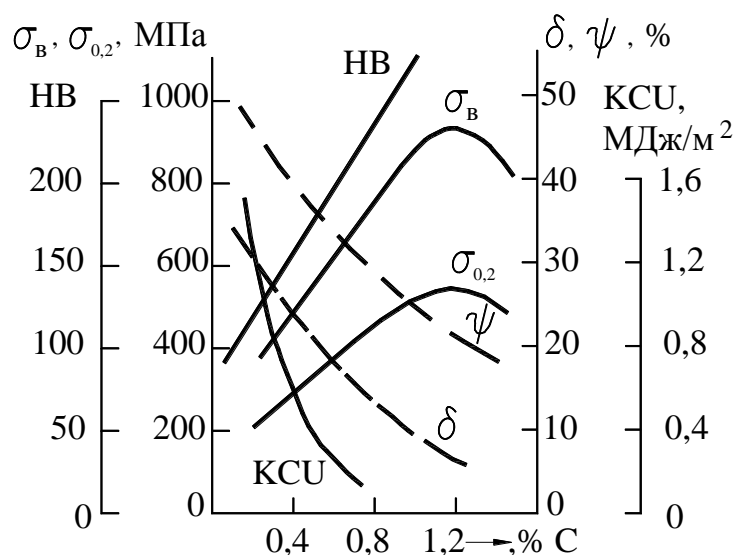


Рис. 4.1. Вплив вуглецю на механічні властивості сталей

Кількість вуглецю покладена в основу класифікації якісних сталей, в яких цифрами позначають вміст вуглецю у сотих відсотка (сталь 20 – 0,20 %, сталь 45 – 0,45 %).

З рис. 4.1 видно, що доєвтектоїдні сталі поєднують високу пластичність і ударну в'язкість з достатніми показниками твердості та міцності. За своїм призначенням це конструкційні сталі, які використовуються для виготовлення деталей машин.

Евтектоїдна та заєвтектоїдні сталі при високій твердості і міцності мають низькі показники пластичності та ударної в'язкості. За своїм призначенням вони інструментальні. Їх маркують літерою У і цифрами, що показують кількість вуглецю у десятих відсотка (У8 – 0,8 %, У12 – 1,2 %).

Структура та властивості чавунів

Вуглець у чавунах може знаходитися у зв'язаному (у вигляді цементиту) або у вільному стані (як графіт). Залежно від стану вуглецю розрізняють *білі і графітизовані* чавуни.

Білі чавуни

В цих чавунах весь вуглець знаходиться у вигляді цементиту. За вмістом вуглецю вони поділяються на доєвтектичні (< 4,3 % С), евтектичний (4,3 % С), заєвтектичні (> 4,3 % С).

Відповідно з діаграмою стану Fe-Fe₃C евтектичний білий чавун має структуру ледебуриту (механічна суміш перліту і цементиту).

Структура доевтектичного білого чавуну складається з перліту, ледебуриту і вторинного цементиту, який при металографічних дослідженнях не виявляється як окрема фаза, оскільки об'єднується з цементитом ледебуриту.

Структура заевтектичного білого чавуну являє собою ледебурит і первинний цементит.

Залежно від вмісту вуглецю в доевтектичних чавунах змінюється кількісне співвідношення перліту і ледебуриту: чим більше вуглецю, тим менше перліту і більше ледебуриту. В заевтектичних чавунах з підвищенням кількості вуглецю збільшується частка цементиту.

Велика кількість цементиту в структурі білих чавунів (60 % при вмісті 4,3 % C) зумовлює їх високу твердість та крихкість, низьку пластичність, неможливість обробки різанням, що дуже обмежує їх використання. білі чавуни не маркуються.

Графітизовані чавуни

Структура графітизованих чавунів складається з металевої основи (матриці) і включень графіту, які певним чином розташовані в цій основі.

Залежно від форми графіту розрізняють *сірий, ковкий та високоміцний* чавуни. В сірому чавуні графітні включення мають пластинчасту, в ковкому – пластівчасту, у високоміцному – кулясту форму. Металева основа цих чавунів може бути феритною, перлітною і ферито-перлітною. це залежить від кількості вуглецю, який залишився в аустеніті після виділення графіту. В тому разі, коли вміст вуглецю в аустеніті дорівнює 0,8 %, формується перлітна структура. Якщо практично весь вуглець виділяється у вигляді графіту, матриця має феритну структуру. при вмісті вуглецю в аустеніті менше 0,8 % структура буде ферито-перлітною.

В сірих і високоміцних чавунах графіт виділяється при первинній кристалізації безпосередньо з рідкого стану. Куляста форма графіту в високоміцних чавунах досягається модифікуванням рідкого чавуну такими елементами як магній, церій, ітрій. Ковкі чавуни отримують термічною обробкою (відпалом) білого чавуну, в процесі якого виділяється графіт пластівчастої форми.

Ступінь графітизації, тобто кількість вуглецю, що виділився у вигляді графіту, в першу чергу залежить від хімічного складу чавуну. Графітизації сприяють вуглець та кремній. Крім того на виділення графіту при кристалізації впливає швидкості охолодження: чим вона нижча, тим більше виділиться графіту при одному й тому ж хімічному складі.

Механічні властивості графітизованих чавунів залежать як від структури металевої матриці, так і від форми, розмірів графітних включень та їх кількості. Властивості металевої матриці в першу чергу зумовлені співвідношенням фериту та перліту. При однаковій кількості графіту найвищу міцність мають чавуни з перлітною структурою, найнижчу – з феритною.

Графіт сильно впливає на властивості чавуну. По суті чавун можна розглядати як сталь, в якій розташовані графітні частинки. Оскільки міцність графіту дуже низька, ці включення грають роль надрізів, що знижують опір металу руйнуванню. При однаковій металевій матриці чим менше графітних включень та чим вони дрібніші, тим вище міцність чавуну.

Форма графіту зумовлює пластичність чавуну. Найбільший негативний вплив на пластичність створює графіт пластинчастої форми. Такий графіт є інтенсивним концентратором напружень, тому в сірому чавуні незалежно від структури металевої матриці пластичність наближається до нуля ($\delta \sim 0,5 \%$). У високоміцного та ковкого чавуну пластичність залежить від структури металевої матриці: зі збільшенням кількості перлітної складової в структурі, тобто з підвищенням міцності, пластичність знижується. Але слід мати на увазі, що навіть при невисокій міцності пластичність чавуну нижча, ніж у сталі. Тому чавун краще працює на стиск або на згин, ніж на розтяг (границя міцності при стиску в 3-5 разів вища, ніж при розтягу).

Графітизовані чавуни маркують за таким принципом:

– сірий чавун маркують літерами СЧ та цифрами, які характеризують мінімальний тимчасовий опір (границю міцності) у $\text{МПа} \cdot 10^{-1}$ (СЧ10, СЧ20 ... СЧ45);

– ковкий чавун позначають літерами КЧ і цифрами, де перші дві відповідають мінімальному σ_v ($\text{МПа} \cdot 10^{-1}$), а інші – мінімальному відносному подовженню, % (КЧ30–6, КЧ80–1,5 та ін);

– високоміцний чавун маркується літерами ВЧ і цифрами, де перші три цифри характеризують мінімальне σ_b (МПа), а інші – мінімальне δ , % (ВЧ350–22, ВЧ450–10 тощо).

Графіт позитивно впливає на службові характеристики чавунних виробів: він підвищує антифрикційні властивості і зменшує знос пар тертя за рахунок його змащувальної дії, зменшує чутливість до конструктивних концентраторів напружень, оскільки самі графітні включення є головними концентраторами напружень. Чавунні вироби добре працюють в умовах змінних напружень, тобто мають гарні показники втомної міцності.

Графітізовані чавуни широко використовуються як конструкційний матеріал в будівництві, автомобільному та сільськогосподарському машинобудуванні, верстатобудуванні та металургійній промисловості. Оскільки вироби отримують ливарним способом з мінімальною наступною механічною обробкою, це здешевлює виробництво.

Порядок виконання роботи

1. Дослідити під мікроскопом і схематично зарисувати структури сталей з різною концентрацією вуглецю. Визначити за структурою, які із зразків є технічним залізом, доевтектоїдною, евтектоїдною та заевтектоїдною сталлю.

2. В доевтектоїдній сталі підрахувати площу, яку займає перліт на розглянутій ділянці поверхні шліфа, орієнтовно визначити концентрацію вуглецю і марку сталі.

3. Виміряти твердість сталей різних марок.

4. Вивчити мікроструктуру білих чавунів, визначити, який із зразків є доевтектичним, евтектичним, заевтектичним чавуном.

5. Дослідити мікрошліфи графітізованих чавунів у нетравленому стані і за формою графіту визначити вид чавунів (сірий, ковкий, високоміцний).

6. Розглянути мікроструктуру графітізованих чавунів після травлення і визначити характер структури їх металевої основи.

7. Оформити звіт про роботу.

Зміст звіту

Звіт має включати:

1. Мету роботи.
2. Стислий виклад теоретичних основ роботи.
3. Схеми мікроструктур технічного заліза, доевтектоїдної, евтектоїдної і заевтектоїдної сталей з позначенням структурних складових, вмісту вуглецю і марки сталі.
4. Розрахунки вмісту вуглецю для доевтектоїдних сталей за площею, зайнятою перлітом.
5. Дані про твердість HRB сталей з різним вмістом вуглецю.
6. Схеми мікроструктур білих чавунів (доевтектичного, евтектичного і заевтектичного) з позначенням структурних складових і вмісту вуглецю (за даними викладача).
7. Схеми мікроструктур сірого, ковкого, високоміцного чавунів з позначенням графітних частинок, структурних складових металеві основи та марки чавуну (за даними викладача).

Контрольні запитання

1. Які залізовуглецеві сплави належать до сталей, які до чавунів?
2. Як поділяються сталі за концентрацією вуглецю?
3. Яку структуру мають доевтектоїдні, евтектоїдна та заевтектоїдні сталі в рівноважному стані?
4. Як за структурою в рівноважному стані визначити концентрацію вуглецю в доевтектоїдній сталі?
5. Що таке перліт?
6. Як впливає концентрація вуглецю на механічні властивості сталі? Поясніть причини.
7. За яким принципом маркуються якісні сталі?
8. За якою ознакою чавуни поділяються на білі і графітізовані?
9. Яка структура доевтектичних, евтектичного і заевтектичних білих чавунів?
10. За якими ознаками класифікуються графітізовані чавуни?
11. Як впливає форма графітних включень на властивості графітізованих чавунів?

12. Якою може бути мікроструктура металевої основи графітизованих чавунів? Як вона впливає на їх властивості?

13. За яким принципом маркуються графітизовані чавуни різних видів?

14. Де в промисловості використовують чавуни?

Література: [1, с. 131-142, 146-154], [2, с. 105-109, 291-302], [3, 131-134, 144-155], [4, с 112-130,], [5], [6], [18-21].

Лабораторна робота 5

ПОБУДОВА ДІАГРАМИ ІЗОТЕРМІЧНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ АУСТЕНІТУ

Мета роботи – ознайомитися з магнітним методом побудови діаграми ізотермічного розпаду аустеніту. Вивчити перетворення, що відбуваються у сталі при охолодженні та вплив хімічного складу сталі на ці перетворення.

Обладнання, прилади, матеріали

1. Анізомер
2. Експериментальні дані для побудови діаграми ізотермічного розпаду аустеніту.

Теоретичні основи роботи

При нагріві сталі до температур вище критичної точки A_{c1} утворюється аустеніт, який при цих температурах є стійким і може зберігатися необмежено довго. Охолодження до температури, нижчої за критичну, викликає розпад аустеніту на ферито-карбідну суміш. При цьому відбуваються два процеси – зміна типу кристалічної ґратки та перерозподіл вуглецю. Аустеніт (твердий розчин вуглецю в Fe_γ), який має ґратку ГЦК, розпадається на ферит (твердий розчин вуглецю в Fe_α) з ґраткою ОЦК та цементит (хімічна сполука Fe_3C). Ці фази сильно відрізняються за вмістом вуглецю – у фериті вуглець майже не розчинюється (не більше 0,03 %), а цементит містить 6,67 % С. Отже перетворення ґраток супроводжується дифузією вуглецю, що забезпечує його перерозподіл між феритом і цементитом.

Для евтектоїдної сталі, аустеніт якої містить 0,8 % С, реакцію розпаду аустеніту можна записати таким чином



Відповідно до діаграми Fe-Fe₃C, в рівноважному стані нижче точки A₁ (727 °С) аустеніт існувати не може. Але в реальному випадку при переохолодженні до температур нижче A₁ розпад аустеніту відбувається не миттєво.

Кінетику розпаду аустеніту, переохолодженого нижче A₁, вивчають за допомогою приладу, який називається анізометром. Дія цього приладу заснована на тому, що аустеніт – це парамагнітна фаза, тоді як ферит – феромагнітна.

Зразки сталі нагрівають вище критичної точки A_{c3} (A_{cm}) для утворення стабільного аустеніту і переносять у ванну з температурою нижче 727 °С (700, 600, 550, 400 °С і т.д.). Ванну розміщують між полюсами магніту. Перенесені зразки видержують у ванні при постійній температурі (*ізотермі*) до повного розпаду аустеніту (або припинення розпаду).

Поки аустеніт не розпадається, парамагнітні зразки не взаємодіють з магнітним полем. З початком виділення фериту зразок повертається в магнітному полі^{*)}. Чим вище ступінь розпаду аустеніту, тим більший кут повороту зразка.

Між кутом повороту зразка та кількістю аустеніту, що розпався, можна встановити зв'язок і побудувати криві розпаду залежно від часу видержки для кожної ізотерми (*кінетичні криві*).

Для евтектоїдної сталі такі криві наведені на рис. 5.1, а. На цих кривих точки a₁, a₂, a₃ позначають час початку розпаду аустеніту, точки b₁, b₂, b₃ – кінець його розпаду при температурах 700, 550 та 300 °С відповідно.

Кінетичні криві використовують для побудови *діаграми ізотермічного перетворення аустеніту* (*ізотермічним* називають процес, що відбувається при постійній температурі). Цю діаграму будують в координатах “температура ізотерми – час видержки” (рис. 5.1, б).

Час видержки відкладають в логарифмічному масштабі.

.....
^{*)} Цементит, який теж виділяється при розпаді аустеніту, стає феромагнітним тільки нижче 210 °С і не впливає на магнітні характеристики сталі у верхньому інтервалі температур.

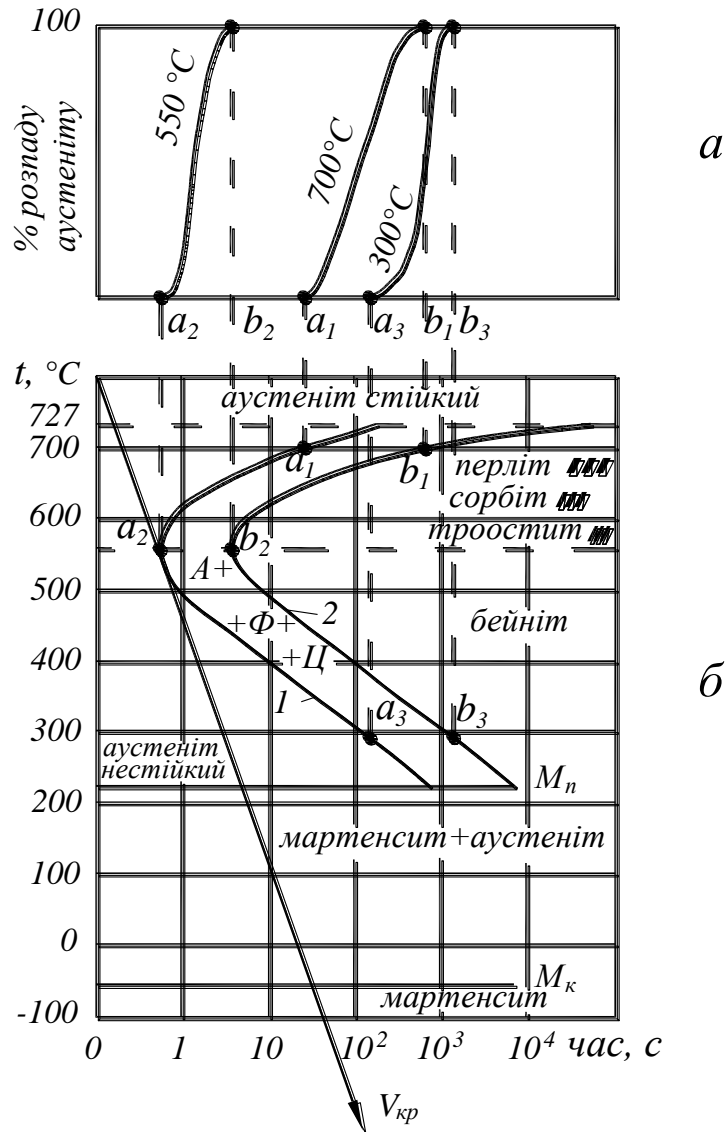


Рис. 5.1. Побудова діаграми ізотермічного розпаду аустеніту евтектоїдної сталі (Ф – ферит, Ц – цементит, А – аустеніт); а – кінетичні криві розпаду; б – діаграма розпаду

Для отримання діаграми наносять горизонтальну лінію, що відповідає температурі 727 °С (критична точка A_1), і температури ізотерм, на які переносять точки початку (a) і кінця (b) розпаду аустеніту (вертикальні штрихові лінії на рис. 5.1, б).

Точки початку розпаду з'єднують лінією 1, точки кінця – лінією 2. На діаграму також наносять температури початку і кінця мартенситного перетворення (M_n і M_κ).

Як видно з рис. 5.1, б, за своєю формою побудована крива нагадує літеру С, тому таку діаграму часто називають *С-подібною*, а криві – *С-подібними кривими*.

При охолодженні аустеніту до температури $M_{\text{п}}$ або нижче дифузійні процеси повністю пригнічуються, і утворення структури, яка складається з фериту і цементиту, стає неможливим. У цьому разі відбувається бездифузійне перетворення аустеніту у структуру, що має назву *мартенсит*.

Якщо у рівноважному стані розчинність вуглецю у Fe_{α} при температурі 20 °С не перевищує 0,006 %, то його кількість у мартенситі теоретично може бути такою ж, як і у вихідному аустеніті. Отже, *мартенсит* – це пересичений твердий розчин проникнення вуглецю у Fe_{α} . Атоми вуглецю спотворюють ґратку Fe_{α} , тому мартенсит є нерівноважною структурою.

Характерною особливістю мартенситу є його висока твердість. Це зумовлюється перш за все пересиченням α -твердого розчину вуглецем: чим більше в сталі вуглецю, тим вища твердість мартенситу. В процесі мартенситного перетворення також відбувається подрібнення блоків і збільшення густини дислокацій.

Для розвитку мартенситного перетворення необхідно безперервно охолоджувати сталь нижче температури $M_{\text{п}}$. При досягненні температури $M_{\text{к}}$ перетворення аустеніту у мартенсит завершується. Положення точок $M_{\text{п}}$ і $M_{\text{к}}$ не залежить від швидкості охолодження, а зумовлюється хімічним складом аустеніту. Чим більше в аустеніті вуглецю і легувальних елементів, тим нижчі температури $M_{\text{п}}$ і $M_{\text{к}}$.

Мартенсит може утворюватися з аустеніту тільки за певної умови – при охолодженні зі швидкістю *критичною* і вище. *Критична швидкість* $V_{\text{кр}}$ – це найменша швидкість, при охолодженні з якою утворюється чисто мартенситна структура (відсутні продукти дифузійного розпаду). Графічним зображенням критичної швидкості охолодження є дотична до лінії початку розпаду аустеніту (рис. 5.1).

Введення до сталі легувальних елементів зсуває С-подібні криві вправо, тобто підвищує стійкість аустеніту і зменшує критичну швидкість охолодження. Це дозволяє проводити гартування легуваних сталей у мінеральній оливці, тоді як вуглецеві сталі, що мають вищі критичні швидкості охолодження, необхідно гартувати у воді, яка охолоджує більш інтенсивно, ніж олива.

С-подібні криві мають велике значення для практики термічної обробки сталі. Вони дозволяють визначити критичну швидкість

охолодження сталі, а також характер структур, які утворюються при різних умовах охолодження.

Слід відзначити, що в реальних випадках найчастіше охолодження відбувається безперервно, що дещо змінює вигляд діаграм ізотермічного перетворення. Це враховується в так званих *термокінетичних* діаграмах розпаду, які будують аналогічним методом за умови безперервного охолодження.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з будовою і роботою анізометра.
2. За експериментальними даними табл. 5.1 побудувати діаграму ізотермічного розпаду аустеніту для евтектоїдної вуглецевої сталі, прийнявши $M_{\Pi} = 240 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $M_{\text{K}} = -60 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Таблиця 5.1

Дані для побудови діаграми ізотермічного перетворення аустеніту сталі з 0,8 % С

Температура ізотермічної видержки, $^{\circ}\text{C}$	Тривалість інкубаційного періоду, с	Загальна тривалість розпаду, с
700	60	960
650	3	17
550	1	5
400	10	180
300	180	1620

3. За експериментальними даними табл. 5.2 побудувати діаграму ізотермічного розпаду аустеніту для сталі з 0,8 % С, левованої 3 % нікелю, прийнявши $M_{\Pi} = 180 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $M_{\text{K}} = -100 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Дані для побудови діаграми ізотермічного перетворення
аустеніту сталі з 0,8 % С і 3 % Ні

Температура ізотермічної видержки, С	Тривалість інкуба- ційного періоду, с	Загальна тривалість розпаду, с
700	100000	Дуже тривалий
650	1850	100000
550	12	10000
400	300	30000
300	5000	180000

Для побудови С-подібних кривих слід користуватися допо-
міжними даними табл. 10.3 та координатними осями, як на
рис. 5.3.

Допоміжні дані для побудови діаграми

Число	Логарифм	Число	Логарифм	Число	Логарифм
1	0	60	1,78	5000	3,6
3	0,48	180	2,25	10000	4,0
5	0,7	300	2,48	30000	4,48
10	1,0	960	2,98	100000	5,0
12	1,2	1620	3,21	180000	5,25
17	1,23	1800	3,25		

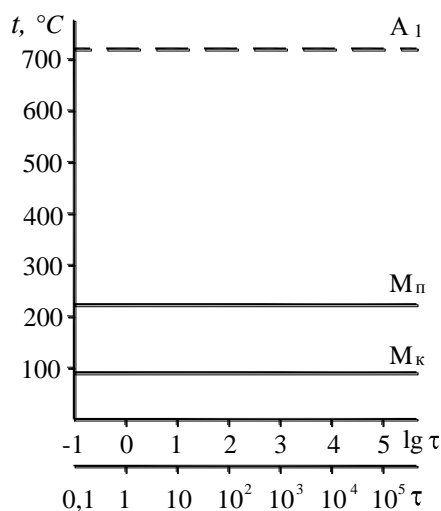


Рис. 5.3 – Приклад координатних осей для побудови С-подібної діаграми для
евтектоїдної сталі

4. Оформити звіт про роботу.

Зміст звіту

Звіт має включати:

1. Мету роботи.
2. Стислий виклад теоретичних основ роботи.
3. Діаграми ізотермічного перетворення аустеніту для вуглецевої та легованої евтектоїдних сталей з нанесеними на них критичними швидкостями охолодження та позначенням мікроструктур у різних областях діаграми.
4. Таблиці 5.1 та 5.2.
5. Висновки.

Контрольні запитання

1. Що таке аустеніт і при яких температурах він є рівноважною структурою?
2. Що відбувається з аустенітом при охолодженні до температури нижче критичної точки A_1 ?
3. Які структури утворюються при розпаді аустеніту в різних температурних інтервалах? Дайте характеристику цих структур.
4. Як впливає характер ферито-карбідної суміші на властивості сталі?
5. За яких умов охолодження відбувається бездифузійне перетворення аустеніту?
6. Що таке мартенсит?
7. Що таке критична швидкість охолодження?
8. Як впливають легувальні елементи на положення С-подібних кривих, на критичну швидкість охолодження?
9. Як будують діаграму ізотермічного розпаду аустеніту?
10. Яке практичне значення має діаграма ізотермічного перетворення аустеніту?

Література: [1, с. 160-168], [2, с. 165-174], [3, с. 165-182], [4, с. 139].

Лабораторна робота 6

ГАРТУВАННЯ ТА ВІДПУСК СТАЛІ

Мета роботи – ознайомитися з практикою гартування сталі і вивчити вплив хімічного складу та охолоджувального середовища на структуру і властивості сталі після термічної обробки, проаналізувати структурні перетворення при відпуску, вивчити структуру і властивості загартованої сталі залежно від температури відпуску і визначити роль легувальних елементів в процесах, що відбуваються при відпуску.

Обладнання, прилади, матеріали

1. Зразки вуглецевої сталі 40 і легованої сталі 40Х у відпаленому стані.
2. Твердомір Роквелла.
3. Металографічний мікроскоп.
4. Лабораторні електропечі.
5. Ванни для гартування з водою і оливою.
6. Мікрошліфи сталей 40 і 40Х у вихідному відпаленому стані і після нагріву вище A_{c3} з наступним охолодженням у різних середовищах (у воді, оливі, на повітрі).
7. Мікрошліфи загартованих сталей після відпуску при різних температурах.
8. Електронно-мікроскопічні фотографії сталей після відпуску.

Теоретичні основи роботи

Гартування – це термічна обробка, що полягає у нагріванні сталі до температури, яка перевищує критичну, видержці при цій температурі і охолодженні зі швидкістю вище критичної.

Мета гартування – підвищити твердість і міцність сталі за рахунок одержання мартенситної структури з рівномірним розподілом вуглецю. *Мартенсит* – це пересичений твердий розчин проникнення вуглецю у Fe_{α} .

Для здійснення процесу гартування необхідно призначити температуру нагріву, нагрівальне середовище, час видержки при цій температурі і охолоджувальне середовище.

Температура нагріву

Температура нагріву під гартування залежить від хімічного складу сталі і визначається положенням критичних точок A_{c1} і A_{c3} .

Доевтектоїдні сталі для гартування слід нагрівати до температури на 50-60 °С вище A_{c3} (вище лінії GS , рис 7.1). У цьому випадку сталь з вихідною структурою перліту і фериту при нагріві набуває аустенітної структури, яка при наступному охолодженні зі швидкістю вище критичної перетворюється на мартенсит. У разі гартування від температур вище A_{c1} , але нижче A_{c3} (з міжкритичного інтервалу), у структурі поряд з мартенситом буде і ферит, що зберігся при нагріванні. Ферит знижує твердість і міцність сталі, внаслідок цього гартування доевтектоїдних сталей від температур, що відповідають інтервалу (A_{c1} - A_{c3}), не використовують.

Заевтектоїдні сталі під гартування необхідно нагрівати до температури на 50-60 °С вище A_{c1} (лінія PSK). Після гартування від такої температури сталь отримує структуру мартенситу з деякою кількістю вторинного цементиту, що має високу твердість. Присутність цементиту у структурі загартованої заевтектоїдної сталі підвищує її твердість та зносостійкість, тобто гартування від указаної температури забезпечує необхідні властивості, оскільки ці сталі за своїм призначенням належать до інструментальних.

Заевтектоїдні сталі недоцільно нагрівати вище температури A_{c3} . Перш за все, це призводить до зростання зерен аустеніту, збільшення гартівних напружень, інтенсивного окиснення та знеуглецьовування поверхні деталі. Крім того, при підвищенні температури відбувається розчинення вторинного цементиту, аустеніт більше насичується вуглецем, температура кінця мартенситного перетворення знижується, і в структурі збільшується кількість залишкового аустеніту, що знижує твердість.

Інтервал температур нагріву під гартування різних сталей показаний на рис. 6.1.

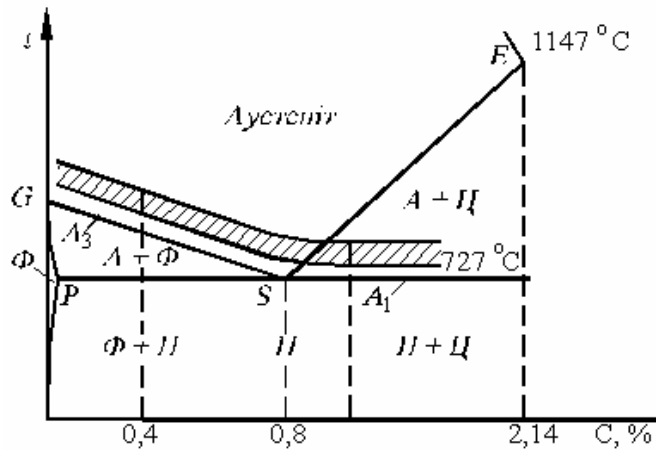


Рис. 6.1. Інтервал температур нагріву під гартування (заштрихована смуга)

Таким чином, доєвтектоїдні сталі під гартування необхідно нагрівати до температури $t = A_{c3} + (50-60) \text{ }^\circ\text{C}$, а заєвтектоїдні – до температури $t = A_{c1} + (50-60) \text{ }^\circ\text{C}$.

Для вуглецевих сталей критичні точки A_{c1} та A_{c3} можна орієнтовно визначити за діаграмою Fe-Fe₃C, для легованих ці дані наведені у довідниках.

Тривалість видержки

При нагріванні у повітрі відбувається інтенсивне окиснення та знеуглецьовування поверхні деталей. Щоб цього уникнути, нагрівання проводять у захисних газових середовищах (контрольовані атмосфери), у вакуумі, соляних ваннах, розплавленому металі.

Видержки деталі у печі або ванні, необхідна для прогрівання маси металу і завершення фазових перетворень, залежить від нагрівального середовища, розмірів деталі, складу сталі. В першому наближенні тривалість видержки у газовому середовищі (повітрі) можна визначити з розрахунку 1 хвилина на 1 мм товщини або діаметра деталі. Співвідношення видержок у різних нагрівальних середовищах приблизно таке: якщо прийняти час видержки у газовому середовищі за 1, то у розплавлених солях вона дорівнюватиме 0,5, у розплавлених металах – 0,25.

Швидкість охолодження

Швидкість охолодження при гартуванні повинна бути такою, щоб забезпечити формування мартенситу і не викликати великих гартівних напружень, які можуть призвести до утворення тріщин або до короблення деталі.

Для отримання мартенситної структури по всьому перерізу деталі необхідно, щоб швидкість охолодження і поверхні, і серцевини була вище за критичну $V_{кр}$. Інакше в поверхневому шарі і в серцевині деталі після гартування буде отримана різна структура, а отже, і різні властивості.

Критична швидкість охолодження зумовлюється хімічним складом сталі. Чим більше легувальних елементів містить сталь, тим менша її критична швидкість і тим легше одержати мартенсит при гартуванні. Реальна швидкість охолодження при гартуванні залежить від виду охолоджувача та розмірів деталі.

Як охолоджувальне середовище при гартуванні найчастіше використовують воду, водні розчини солей та лугів, мінеральну оливу. Вуглецеві сталі мають високу критичну швидкість ($V_{кр1}$ на рис. 6.2), тому їх охолоджують у воді, яка є дуже інтенсивним охолоджувачем ($V_{ох1} > V_{кр1}$, рис. 6.2).

Леговані сталі мають нижчу критичну швидкість охолодження ($V_{кр2}$ на рис. 6.2).

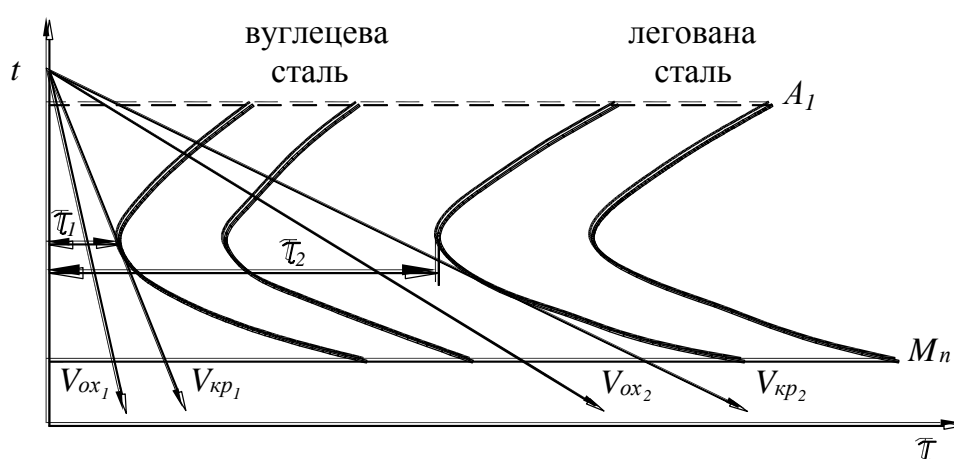


Рис. 6.2. Схематичні діаграми ізотермічного перетворення аустеніту вуглецевої і легованої сталей; $V_{ох1}$ — швидкість охолодження у воді; $V_{ох2}$ — швидкість охолодження в оливі

Тому навіть при охолодженні в оливі, яка відводить тепло з меншою швидкістю, ніж вода, V_{ox2} залишається вищою за критичну для легованої сталі ($V_{ox2} > V_{кр2}$, рис. 6.2). В той же час охолодження в оливі сприяє зниженню гартівних напружень. Отже, леговані сталі слід гартувати в оливі.

Твердість мартенситу, одержаного при гартуванні, зумовлюється кількістю вуглецю в сталі: чим більше вуглецю в мартенситі, тим вища його твердість (рис. 6.3).

При кількості вуглецю $> 0,5\%$ точка кінця мартенситного перетворення M_k у вуглецевих сталях стає нижчою за кімнатну температуру. В такому разі після охолодження в процесі гартування до кімнатної температури в структурі сталі поряд з мартенситом присутній аустеніт, який називають *залишковим*.

Температура кінця мартенситного перетворення знижується також під впливом легувальних елементів, тому в легованих сталях при однаковому вмісті вуглецю кількість залишкового аустеніту вища, ніж у вуглецевих.

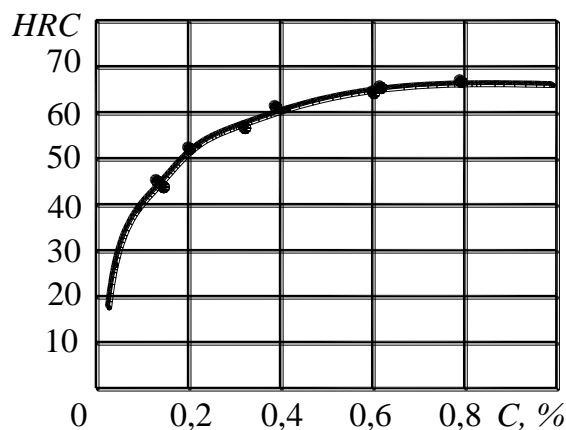


Рис. 6.3. Залежність твердості мартенситу від вмісту вуглецю

Значна кількість залишкового аустеніту викликає зниження твердості і призводить до нестабільності розмірів виробу, оскільки залишковий аустеніт в процесі експлуатації може розпадатися, наслідком чого є збільшення розмірів деталі.

Для того, щоб позбавитися залишкового аустеніту, загартовані вироби слід охолоджувати до температури нижче M_k . Така обробка називається *обробкою холодом*.

Відпуск – це термічна обробка, яка полягає у нагріві загартованої сталі до температур нижче критичної точки A_{c1} , видержці при

цих температурах і наступному охолодженні на повітрі (іноді в оливі). Відпуск обов'язково проводиться після гартування, а іноді для легованих сталей – і після нормалізації.

Мета відпуску – отримання необхідного комплексу властивостей (твердості, міцності, пластичності, ударної в'язкості) і часткове або повне зняття напружень.

Температура нагріву при відпуску залежить від того, які властивості необхідно одержати для тих чи інших виробів. Існують три види відпуску:

– низький (низькотемпературний) в інтервалі температур 150-250 °С;

– середній (середньотемпературний) в інтервалі температур 300-450°С;

– високий (високотемпературний) в інтервалі температур 500-650 °С.

Після гартування сталі утворюється мартенсит, який є пересиченим твердим розчином вуглецю в Fe_{α} . При нагріві вище 150 °С (низький відпуск) внаслідок переміщення атомів (іонів) вуглецю до вакансій і дислокацій мартенсит гартування перетворюється на *мартенсит відпуску*. При цьому напруження зменшуються приблизно на 30 %. Твердість і міцність після низького відпуску практично не змінюються. Низький відпуск використовують у тих випадках, коли потрібна висока твердість і зносостійкість виробу – для інструменту, а також деталей машин, які працюють в умовах тертя та зношування після поверхневого гартування та після цементації або нітроцементації з гартуванням.

При середньому відпуску відбувається розпад мартенситу. Надлишковий вуглець виділяється з пересиченого твердого розчину у вигляді високодисперсних частинок цементиту зернистої форми. Високодисперсна ферито-цементитна суміш, де цементит має зернисту будову, називається *трооститом відпуску*. Гартівні напруження у порівнянні з загартованим станом зменшуються ~ на 60 %. Твердість сталі після середнього відпуску нижче, ніж після гартування і низького відпуску. Суттєво зростають пружні властивості. Так, відношення $\sigma_{0,2} / \sigma_b$ наближається до 0,9. Деяко підвищуються пластичність і ударна в'язкість. Середній відпуск використовують для ресор і пружин, тобто таких виробів, які у процесі експлуатації працюють в умовах значних пружних деформацій.

При високому відпуску продовжується розпад мартенситу на

ферито-цементитну суміш і відбувається ріст цементитних частинок зернистої форми. Структура, що утворюється при високому відпуску, має назву *сорбіт відпуску*.

В процесі високого відпуску повністю знімаються гартівні напруження. Характеристики міцності знижуються, але залишаються на достатньому рівні, особливо границя текучості. Значно зростають пластичність і ударна в'язкість, знижується поріг холодноламкості. Таким чином, після гартування і високого відпуску досягається поєднання достатньо високої границі текучості і високих значень пластичності і ударної в'язкості. Одержання такого комплексу властивостей забезпечує високу конструкційну міцність.

Вищі механічні властивості загартованої і високовідпущеної сталі у порівнянні з нормалізованою зумовлені тим, що структура, яка формується при розпаді мартенситу, має зернистий характер, а при розпаді аустеніту в процесі нормалізації – пластинчасту будову.

Термічна обробка, яка полягає в гартуванні з високим відпуском, одержала назву *покращення*. Така термічна обробка використовується для деталей, що в процесі експлуатації зазнають ударних, циклічних, знакозмінних навантажень (шатун, вал, вісь, клапан та ін).

Легувальні елементи суттєво впливають на структурні перетворення при відпуску. Вони уповільнюють процес розпаду мартенситу і гальмують укрупнення карбідних частинок.

У високолегованих сталях, що мають велику кількість вуглецю, розпад мартенситу з наступним укрупненням карбідів і пов'язане з цим зниження твердості затримуються до температури 600 °С і вище.

Порядок виконання роботи

1. На кожну групу з 3-4 студентів отримати зразки сталей 40 та 40Х у відпаленому стані.
2. Використовуючи довідник, ознайомитися з хімічним складом сталей 40 і 40Х, вибрати для них температуру нагріву під гартування, визначити час видержки при температурі нагріву.
3. Виміряти твердість зразків до гартування.
4. Вивчити мікроструктуру зразків обох сталей до гартування.

5. Завантажити по три зразка кожної сталі у піч, нагріту до необхідної температури, і видержати при цій температурі потрібний час.

6. Охолодити по одному зразку кожної сталі у воді, оліві і на повітрі. Слід мати на увазі, що термообробка з охолодженням на повітрі – це нормалізація, а не гартування, і використовується в даній роботі для оцінки впливу охолоджувального середовища на структуру і властивості.

7. Виміряти твердість загартованих зразків.

8. Вивчити мікроструктуру термооброблених зразків за допомогою металографічного мікроскопа.

9. Завантажити по одному зразку вуглецевої і легованої сталі у печі з температурами 200, 400, 600 °С, видержати їх протягом 20 хв і потім охолодити на повітрі.

10. Виміряти твердість відпущених зразків.

11. Вивчити мікроструктуру сталей, відпущених при різних температурах.

12. Оформити звіт про роботу.

Зміст звіту

Звіт має включати:

1. Мету роботи.
2. Стислий виклад теоретичних основ роботи.
3. Дані про твердість сталей 40 та 40X у вихідному стані і після термічної обробки, внесені в табл. 7.1.

Таблиця 6.1

Твердість сталей 40 і 40X у відпаленому стані і після термообробки за різними режимами

Марка сталі	Твердість у відпаленому стані		Температура нагріву під гартування, °С	Твердість після нагріву та охолодження					
				у воді		в оліві		на повітрі	
	HRB	HBW		HRC	HBW	HRC	HBW	HRB	HBW
40									
40X									

4. Схематичне зображення мікроструктури сталі різних марок у відпаленому стані і після термічної обробки за різними режимами.

5. Аналіз впливу охолоджувального середовища на структуру і властивості сталі різних марок.

6. Результати вимірювання твердості, зведені у табл. 6.2.

7. Графік зміни твердості вуглецевої і легованої сталей залежно від температури відпуску.

8. Схематичне зображення мікроструктури загартованої і відпущеної при різних температурах сталі обох марок.

Таблиця 6.2

Твердість сталей 40 і 40Х в загартованому стані і після відпуску при різних температурах

Марка сталі	Твердість, HRC			
	до відпуску	після відпуску при температурах, °С		
		200	400	600
40				
40Х				

9. Висновки.

Контрольні запитання

1. Що таке гартування сталі?
2. До яких температур необхідно нагрівати під гартування доєвтектоїдну і заєвтектоїдну сталі і чому?
3. Які нагрівальні середовища використовуються при нагріві під гартування?
4. Як визначити час видержки при нагріві під гартування?
5. Що таке мартенсит?
6. Що таке критична швидкість охолодження?
7. Які охолоджувальні середовища використовують для гартування сталі?
8. Що таке відпуск?
9. З якою метою проводиться відпуск?
10. При якій температурі проводять низький, середній і високий відпуск?

11. Як змінюються структура і властивості сталі після низького відпуску? Укажіть області використання низького відпуску.

12. Як змінюються структура і властивості сталі після середнього відпуску? Визначте області застосування середнього відпуску.

13. Які структурні перетворення відбуваються при високому відпуску?

14. Що таке покращення сталі? Які властивості має сталь після покращення? Наведіть приклади деталей, які піддають гартуванню з високим відпуском.

15. Як впливають легувальні елементи на структурні перетворення при відпуску?

Література: [1, с. 175-181], [2, с. 179-184], [3, с. 200-215], [4, с. 41-51], [6, с. 41-50], [1, с. 183-187], [2, с. 185-192], [3, с. 215-217], [4, с. 143-145]

Лабораторна робота 7

ОБРОБКА МЕТАЛІВ ТИСКОМ: ПРОЦЕСИ ПРИ ХОЛОДНІЙ ПЛАСТИЧНІЙ ДЕФОРМАЦІЇ

Мета роботи – експериментально визначити вплив холодної пластичної деформації на структуру і властивості сталі, вивчити зміну мікроструктури і властивостей холоднодеформованої сталі при наступному нагріві.

Обладнання, прилади, матеріали

1. Циліндричні зразки сталі 10 у відпаленому стані.
2. Гідравлічний прес.
3. Штангенциркуль.
4. Твердомір Роквелла.
5. Металографічний мікроскоп.
6. Лабораторні електропечі.
7. Мікрошліфи зразків сталі 10 у відпаленому, деформованому стані і після наступного нагріву до різних температур.

Теоретичні основи роботи

Деформація, її види і механізм

Деформація – це зміна розмірів і форми твердого тіла під впливом зовнішніх сил або внутрішніх напружень.

Розрізняють *пружну і пластичну деформацію*. Пружна деформація зникає після зняття навантаження і не викликає залишкових змін у структурі і властивостях металу. Пластична деформація після зняття навантаження залишається і призводить до змін структури металу, а отже, і його властивостей. Починається пластична деформація при напруженнях, що перевищують границю текучості.

Пластична деформація металів і сплавів здійснюється шляхом послідовного переміщення у ґратці лінійних дефектів – *дислокацій*. Під впливом діючого напруження дислокація легко ковзає від однієї атомної площини до другої, поки не вийде на поверхню кристала. Наслідком цього процесу є зсув однієї частини кристала відносно іншої на одну міжатомну відстань, тобто відбувається деформація. Після виходу дислокації на поверхню деформація не припиняється, оскільки до ковзання підключаються все нові і нові дислокації, які виникають в процесі деформації. Таким чином, пластична деформація є результатом ковзання дислокацій.

Деформація буває *холодною та гарячою*.

Зміна структури та властивостей при холодній пластичній деформації

При холодній пластичній деформації значно збільшується концентрація точкових дефектів (вакансій та міжвузлових атомів) і на 3-5 порядків підвищується густина дислокацій. До деформації в полікристалічних металах вона дорівнює 10^6 - 10^9 см⁻², а після деформації може досягати 10^{12} см⁻².

Значне підвищення густини дислокацій викликає *наклеп* металу. *Наклеп* – це зміна механічних властивостей металу, яка полягає у збільшенні міцності (σ_B , $\sigma_{0,2}$) та твердості (HRB) і зменшенні пластичності (δ , ψ) та ударної в'язкості (КСУ). При збільшенні ступеню деформації міцність зростає, а пластичність та ударна в'язкість знижуються, тобто метал окричується (рис. 7.1).

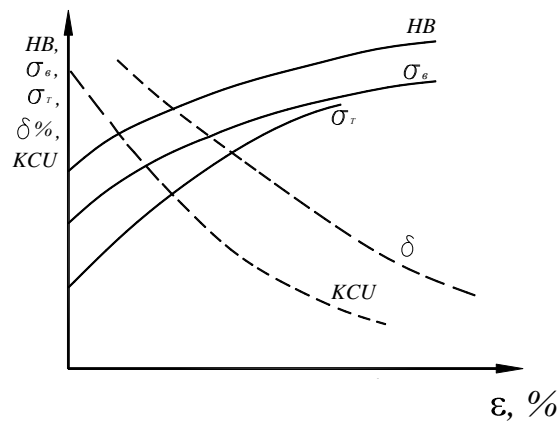


Рис. 7.1. Зміна властивостей залежно від ступеня холодної пластичної деформації ε , %

Великі ступені деформації призводять до витягування зерен вздовж напрямку деформації і до повороту кристалічних ґраток в зернах і утворення їх переважної орієнтації відносно діючих зовнішніх деформаційних сил. Структура, яка характеризується спільною орієнтацією кристалічних ґраток в зернах, називається *текстурою деформації*. Для того, щоб утворилася чітка текстура по всьому об'єму металу, необхідна деформація 70-90 %.

Текстура призводить до *анізотронії властивостей*, тобто властивості вздовж і поперек зовнішніх сил відрізняються. Для конструкційних матеріалів анізотропія механічних властивостей частіше за все небажана. Для металів і сплавів, у яких головними є фізичні властивості, наприклад, задані в певному напрямку електричні або магнітні характеристики, анізотропія має велике позитивне практичне значення.

Зміна структури та властивостей холоднодеформованого металу при нагріві

Внаслідок окрихчення холоднодеформований метал непридатний для наступної переробки у виріб методами холодної пластичної деформації. Для усунення наклепу та повернення властивостей до рівня, який він мав перед деформацією, холоднодеформований метал необхідно нагріти.

При нагріванні відбуваються зміни в структурі і властивостях металу (рис. 7.2).

Залежно від температури нагріву у наклепаному металі відбуваються такі процеси: повернення, первинна рекристалізація, зби-

ральна рекристалізація

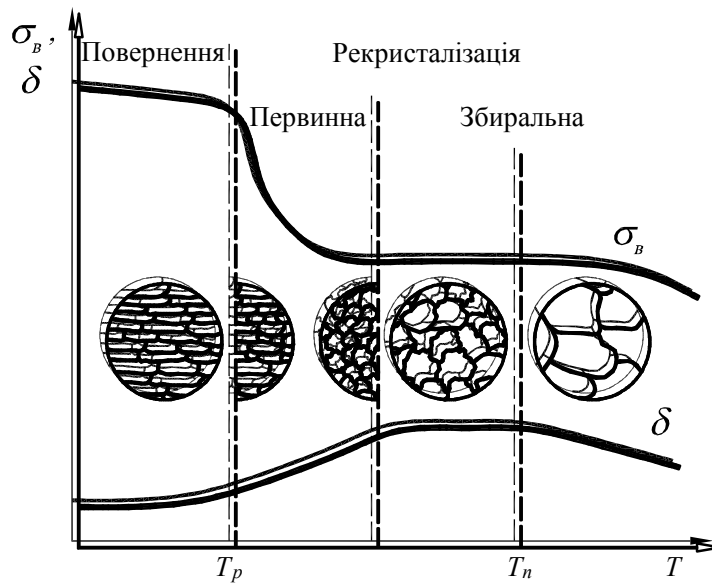


Рис. 7.2. Зміна властивостей і структури холоднодеформованого металу при нагріві (схема): T_p – температура рекристалізації; T_n – температура перегріву

При нагріві до порівняно невисоких температур (нижче $0,2-0,3 T_{пл}$) починається процес повернення. *Повернення* – це підвищення структурної досконалості деформованого металу за рахунок зменшення концентрації точкових дефектів і перерозподілу дислокацій. При цьому у структурі зберігаються деформовані зерна (без зародження нових) і висока густина дислокацій. Внаслідок цього механічні властивості (міцність, твердість, пластичність, ударна в'язкість) практично не змінюються. В той же час змінюються фізичні характеристики, які залежать від точкових дефектів, наприклад, електроопір.

Подальше підвищення температури нагріву (вище $0,35 T_{пл}$) збільшує рухливість атомів, що приводить до суттєвих змін як структури, так і властивостей металу. При досягненні певної температури починається *первинна рекристалізація* – утворення і ріст нових, рівноважних зерен у деформованих зернах. Ця температура називається *температурою рекристалізації* (T_p), або точніше *температурним порогом рекристалізації*.

При первинній рекристалізації значно зменшується густина дислокацій (з $10^{11}-10^{12}$ до $10^6-10^8 \text{ см}^{-2}$), повністю знімаються внутрішні напруження металу. Ці структурні зміни приводять до усунення наклепу – зменшуються характеристики міцності та твердості і значно підвищується пластичність. Отже, внаслідок нагріву вище температури T_p відбувається знеміцнення металу та наближення

усіх властивостей до вихідних значень (перед деформацією).

Підвищення температури супроводжується ростом дрібних зерен, що утворилися в деформованому металі внаслідок первинної рекристалізації. Процес укрупнення рекристалізованих зерен називається *збиральною рекристалізацією* (рис. 7.2). Подальше підвищення температури (вище температури перегріву $T_{\text{п}}$, рис. 7.2) прискорює ріст зерен і вони стають все грубішими. Це може призвести до утворення дуже великих зерен, наслідком чого є зниження і міцності, і пластичності.

Температура рекристалізації пов'язана з температурою плавлення металу співвідношенням

$$T_{\text{р}} = a \cdot T_{\text{пл}} \text{ (К)}, \quad (7.1)$$

де: a – коефіцієнт, який залежить від хімічного складу сплаву; $T_{\text{пл}}$ – абсолютна температура плавлення, К.

Чим вище чистота металу, тим менший коефіцієнт a , тобто тим нижча температура рекристалізації. Для металів технічної чистоти $a = 0,4$, для чистих металів $a = 0,2$, для дуже складних за хімічним складом металів цей коефіцієнт підвищується до 0,8.

Температура рекристалізації залежить від ступеня деформації і швидкості нагріву. Чим менший наклеп і більша швидкість нагріву деформованого металу, тим вища температура рекристалізації.

Для повного зняття наклепу після холодної пластичної деформації метал нагрівають вище температури рекристалізації на 100-150 °С з метою забезпечення більшої швидкості та повноти завершення процесів. Така термічна обробка називається *рекристалізаційним відпалом*. Його температура

$$t_{\text{рв}} = t_{\text{р}} + (100-150) \text{ °С}, \quad (7.2)$$

де температура рекристалізації $t_{\text{р}}$ наведена в °С.

Холодна і гаряча деформація

Деформацію поділяють на холодну і гарячу саме за співвідношенням температур деформації і рекристалізації. Холодна деформація здійснюється при температурі, нижчій за температуру рекристалізації, і приводить до зміцнення (наклепу) металу. Гаряча деформація виконується при температурі, вищій за температуру рекристалізації, і тому зміцнення металу, викликане деформацією, як правило, встигає усунути за рахунок рекристалізації, яка розвива-

ється безпосередньо при температурі деформації. Однак процес рекристалізації можна подавити прискореним охолодженням деформованого металу. Це явище використане в методі термомеханічної обробки (ТМО).

Особливістю гарячедеформованого металу є утворення волокнистої структури, яка є результатом витягування у стрічку вздовж напрямку деформації роздроблених дендритів литої структури, ліквідаційних зон, неметалевих включень. Слід підкреслити, що, незважаючи на протікання рекристалізації, волокниста структура металу після гарячої деформації зберігається.

Порядок виконання роботи

1. На кожену групу з 3-4 студентів одержати зразок сталі 10 у відпаленому стані.
2. Вивчити мікроструктуру сталі до деформації.
3. Виміряти твердість і визначити висоту сталевих зразків до деформації.
4. Піддати деформації зразки при зусиллях 50, 75 і 100 кН (кожна група студентів деформує виданий викладачем зразок при певному зусиллі).
5. Виміряти твердість і визначити висоту зразків після деформації з певним зусиллям.
6. Визначити ступінь пластичної деформації (ε) за формулою

$$\varepsilon = \frac{h_0 - h}{h_0} \cdot 100\% \quad (7.3)$$

де h_0 – висота зразка до деформації; h – після деформації.

7. Вивчити мікроструктуру зразків сталі 10 після деформації з різними ступенями.
8. Завантажити у печі з температурами 200, 500 і 700 °С сталеві зразки, деформовані при максимальному зусиллі (100 кН), видержати при цих температурах протягом одного й того ж часу (час видержки обирається залежно від перерізу зразка), охолодити на повітрі.
9. Виміряти твердість зразків після термічної обробки.
10. Вивчити мікроструктуру сталі після нагріву до 200, 500 і 700 °С, звернути увагу на розвиток рекристалізаційних процесів.
11. Визначити температуру рекристалізації сталі 10.
12. Оформити звіт про роботу.

Зміст звіту

Звіт має включати:

1. Мету роботи.
2. Стислий виклад теоретичних основ роботи.
3. Результати вимірювання твердості сталевих зразків до деформації, після деформації з різними ступенями, після наступного нагріву до певних температур. Результати занести до табл. 7.1.
4. Графік зміни твердості залежно від ступеня холодної пластичної деформації $HRB = f(\epsilon)$.
5. Графік зміни твердості деформованої сталі залежно від температури нагріву $HRB = f(t)$. Визначити температуру рекристалізації.
6. Схематичне зображення структури сталі до деформації, після деформації, після рекристалізації.
7. Висновки.

Таблиця 7.1

Твердість сталі 10 до деформації,
після деформації і після наступного нагріву

Зусилля деформації P , кН.	Ступінь деформації, ϵ , %	Твердість, HRB				
		до де- формації	після де- формації	після деформації і нагріву до температури, °C		
				200	500	700
50				—	—	—
75				—	—	—
100						

Контрольні запитання

1. Що таке деформація?
2. Які існують види деформації?
3. Який механізм пластичної деформації металів?
4. До яких змін у структурі металів приводить пластична деформація?
5. Що називається текстурою деформації?
6. Що таке наклеп, коли він виникає і чим обумовлений?
7. Як змінюються механічні характеристики металу при збільшенні ступеня холодної пластичної деформації?

8. Що таке анізотропія властивостей і яке її практичне значення?
9. Яким чином можна усунути наклеп?
10. Які зміни відбуваються у мікроструктурі металу на стадії повернення і як вони впливають на властивості?
11. Що таке температура рекристалізації і як її визначити?
12. Що таке первинна рекристалізація і коли вона має місце?
13. Як змінюється мікроструктура і властивості металу внаслідок первинної рекристалізації?
14. Що відбувається при збиральній рекристалізації?
15. Як здійснити рекристалізаційний відпал і коли він необхідний?
16. Яка пластична деформація є холодною, а яка гарячою?

Література: [1, с. 70-72, 77-88], [2, с.122-140], [3, с. 69-74], [5, с. 36-38], [8, с. 54-61].

Лабораторна робота 8

ЛИТТЯ В ПІЩАНО-ГЛИНИСТУ ФОРМУ І ОТРИМАННЯ ВИЛИВКА

Мета роботи – опанувати технологічний процес виготовлення відливків в піщано-глинистих формах.

Обладнання, прилади, матеріали

1. Модельно-опочне оснащення.
2. Формова суміш.
3. Плавильна піч.
4. Шихтові матеріали.

Теоретичні основи роботи

Ливарне виробництво – це виготовлення фасонних заготовок або деталей шляхом заливки розплавленого металу у форму, порожнина якої відповідає конфігурації деталі. Заготовку, одержану способом лиття, називають відливком або виливком.

Процес отримання відливків в піщаних формах складається із сукупності багатьох технологічних операцій. Форма, як правило, складається з нижньої та верхньої напівформ, що виробляють за моделями у ливарних опоках. Розплавлений метал заливають к порожнину ливарної форми, що являє собою систему елементів з робочою порожниною, при заливці якої розплавленим металом формується відливок.

Ливарна опока – пристосування для утримання формувальної суміші при виготовленні форми. Для утворення порожнини, отвору або складних контурів відливка у форму встановлюють *ливарні стрижні*, що виготовляють в стрижневих ящиках. Для підведення розплавленого металу у порожнину ливарної форми, її заповнення і живлення відливка під час твердіння використовують *ливникову систему*, що складається із ливникової чаші, стояка, шлаковловлювача і живильників. *Ливникова чаша* – це приймач рідкого металу, що заливається у форму. Вона приймає на себе частину напору металу і деякою мірою затримує шлак. *Стояк* – вертикальний канал, що з'єднує ливникову чашу з іншими елементами ливникової системи. *Шлаковловлювач* призначений для затримання неметалевих включень розплаву. *Живильник* – горизонтальний канал, що забезпечує доступ розплаву в порожнину ливарної форми.

Для виготовлення піщаних форм використовують *модельно-опочне оснащення* і формувальні матеріали. *Модельно-опочний комплект* складається з моделі відливка, моделей елементів ливникової системи, стрижневого ящика, модельної плити, опок та ін. (рис. 8.1).

Ливарні моделі – це пристосування (металеві або дерев'яні) за допомогою яких одержують зовнішні контури, що відповідають конфігурації одержуваних відливків. Розміри моделі перевищують розміри відливка на величину усадки. Для полегшення процесу формування та вилучення з форми моделі роблять роз'ємними та з так званими формувальними нахилами. При ручному формуванні найчастіше використовують дерев'яні моделі.

Стрижневі ящики виконують дерев'яними або металевими і використовують для виготовлення стрижнів, необхідних для утворення у відливках порожнин або отворів.

Опоки являють собою металеві рамки, які утримують формувальну суміш для виготовлення ливарної форми та її транспортування.

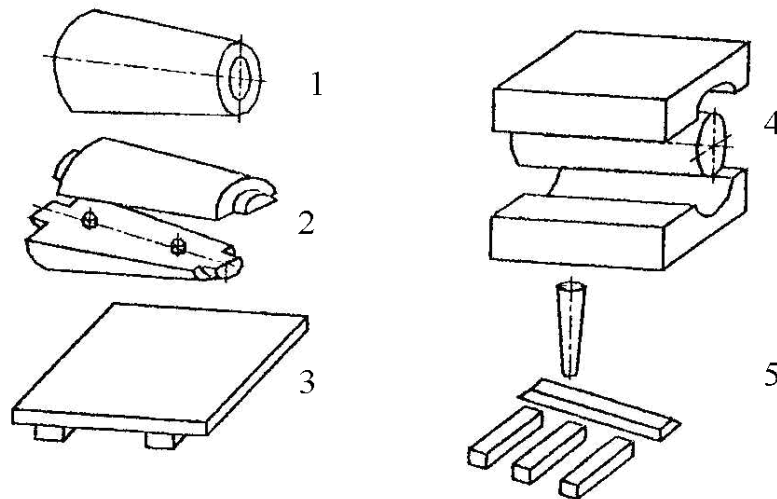


Рис. 8.1. Відливок і модельний комплект: 1 – відливок; 2 – модель; 3 – підмодельна дошка; 4 – ящик із стрижнем; 5 – моделі елементів ливникової системи

Формовими матеріалами називають матеріали, з яких виготовляють форми та стрижні.

Порядок виконання роботи

1. На модельну плиту встановити нижню опоку, в яку покласти нижню половину ливарної моделі, якщо модель роз'ємна, або просто ливарну модель і живильник.

2. Опоку заповнити просіяною формовою сумішшю, як це показано на рис. 8.2.

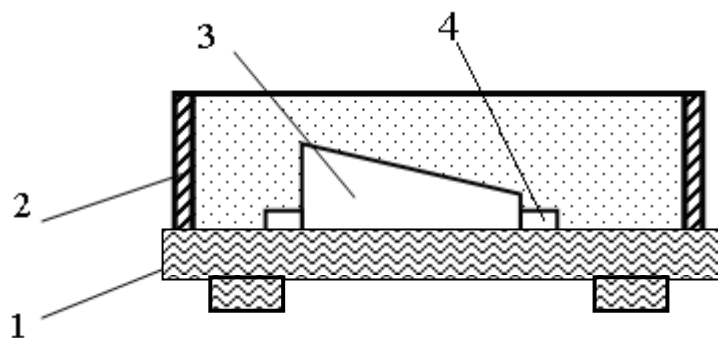


Рис. 8.2 – Формування нижньої напівформи: 1 – модельна плита; 2 – нижня опока; 3 – нижня половина ливарної моделі; 4 – живильник

3. Формову суміш ущільнити набивкою, а після досипки суміші – трамбовкою. Зайву формову суміш вище бортів опоки зчистити лінійкою. Для відведення газів із форми зробити вентиляційні канали.

4. Виготовлену нижню напівформу повернути на 180°. На нижню опоку поставити верхню опоку, опоки центрувати між собою за допомогою штирів.

5. На нижню половину моделі поставити верхню половину моделі, на живильник – шлаковловлювач, а на нього – стояк.

6. Верхню опоку заповнити просіяною формовою сумішшю. Формову суміш ущільнити, а після засипки суміші – трамбовкою так, як в нижній напівформі (рис. 8.3).

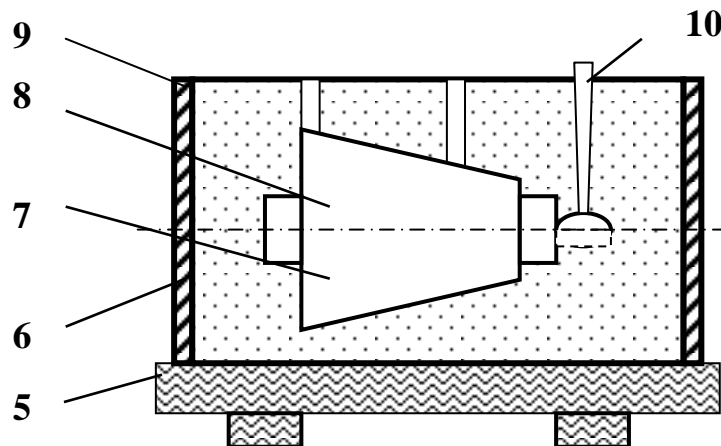


Рис. 8.3. Формування верхньої напівформи: 5 – модельна плита; 6 – нижня опока; 7 – нижня половина моделі; 8 – верхня половина моделі; 9 – верхня опока; 10 – модель стояка

7. Вийняти модель стояка з форми. Зняти верхню напівформу з нижньої та повернути її на 180° площиною роз'єму догори.

8. Моделі відливка та елементів ливникової системи розштовхати та вилучити з форми.

9. Встановити стрижень (якщо це потрібно) та скласти форму (рис. 8.4).

10. Зібрану форму залити рідким металом.

11. Відливок після охолодження вибити та очистити.

12. Написати звіт про проведену роботу.

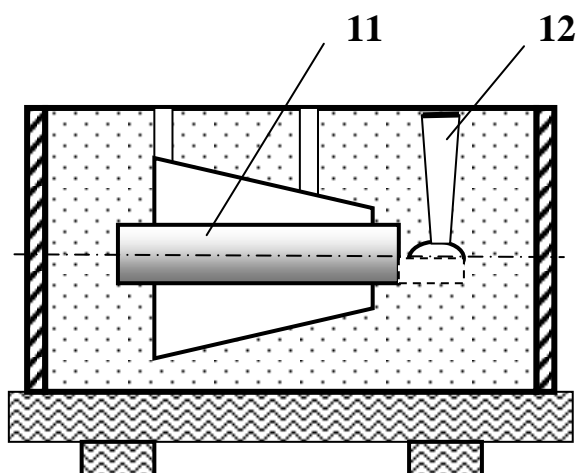


Рис. 8.4. Складена ливарна форма: 11 – стрижень;
12 – ливникова система

13. Оформити звіт про роботу.

Зміст звіту

Звіт має включати:

1. Мету роботи.
2. Стислий виклад теоретичних основ роботи.
3. Описання етапів виготовлення ливарної форми.
3. Рисунки: відливка; модельного комплекту.
4. Аналіз дефектів відливка.

Контрольні запитання

1. У чому полягає суть одержання литої заготовки?
2. Що таке модельний комплект і з чого він складається?
3. Що таке ливарна модель?
4. Яке призначення стрижня?
5. Для чого призначена ливникова система?
6. Що таке опока і яке її призначення?
7. Яка послідовність технологічного процесу одержання відливків в піщано-глинистих формах?

Література [1, с. 96-99; 14, с. 54-76]

Література

1. Матеріалознавство : підручник / С. С. Дяченко, І. В. Дощечкіна, А. О. Мовлян, Е. І. Плешаков. – Х. : Вид-во ХНАДУ, 2007. – 440 с.
2. Материаловедение: Учебник для вузов / Под ред. Б. Н. Арзамасова, Г.Г. Мухина. – М. : МГТУ им. Баумана, 2002. – 450 с.
3. Лахтин Ю. М. Материаловедение : учебн. для машиностр. вузов / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. – М. : Машиностроение, 1990. – 528 с.
4. Попович В. Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство: Навчальний посібник для вищих навчальних закладів: у 2-х кн. Книга 1. - Львів: Видавництво «Папуга», 200. — 204 с.
5. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Практикум: Навчальний посібник / Попович В., Кондир А., Плешаков Е. та інші. – Львів: Видавництво «Папуга», 2004. – 422 с.
6. Мохарт А.В. Термічна обробка металів / А.В. Мохарт, М.Г. Чумак. - Київ: Видавництво «Лебідь», 2002. – 572 с.
7. Кузін О.А. Металознавство та термічна обробка металів/ Підручник для вузів / О.А. Кузін, Р.А. Яцюк. - Київ: Видавництво «Лебідь», 2002. – 304 с.
8. Башнин Ю.А. Технология термической обработки стали. Учебник для вузов / Ю.А. Башнин, Б.К. Ушаков, А.Г. Секей. – М.: Металлургия, 1986. – 424 с.
9. Современные материалы в автомобилестроении. Справочник / В.С. Дорфман, И.И. Летчфорд, Э.Н. Либерман и др. – М.: Машиностроение, 1997. – 266 с.
10. Солнцев Ю.П. Материаловедение: Учебник для вузов / Ю.П. Солнцев, Е.И. Пряхин, Ф. Войткун. – М.: МИСИС, 1999. – 600 с.
11. Арзамасов Б.Н. Конструкционные материалы. Справочник / Б.Н. Арзамасов и др. - М.: Машиностроение, 1990. - 688 с.
12. Марочник сталей и сплавов / В.Г. Сорокин, А.В. Волосникова, С.А. Вяткин и др. / Под общ. Ред. В.Г. Сорокина. – М. : Машиностроение, 1989. – 640 с.
13. ГОСТ 10243-75. Сталь. Методы испытаний и оценки макроструктуры.

14. Технология конструкционных материалов: Учебник / Г.А. Прейс и др. – К. : Выща шк., 1991. – 391с.