

ШИМКОВА І.В.

**ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ
З ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА
КОНСТРУКЦІЙНИХ
МАТЕРІАЛІВ**

**ВІННИЦЯ
2020**



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ МИХАЙЛА КОЦЮБІНСЬКОГО**

Факультет математики, фізики, комп'ютерних наук і технологій

**Кафедра образотворчого, декоративного мистецтва, технологій
та безпеки життєдіяльності**

**ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ
З ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА
КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ**

ВІННИЦЯ – 2020

УДК 620.22 + 669.018
ББК 34.2 + 34.5
Ш 61

Рецензенти:

Петрук В.Г., доктор технічних наук, професор – Вінницький національний технічний університет

Цвілик С.Д., кандидат педагогічних наук, доцент – Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського

Шимкова І.В. Лабораторний практикум з технології конструкційних матеріалів: Навчальний посібник для студентів спеціальності 014 Середня освіта (Трудове навчання та технології) та 015 Професійна освіта (Сфера обслуговування). Вінниця: ВДПУ, 2020. 155 с.

Подано теоретичні відомості і методичні рекомендації щодо виконання лабораторних робіт з основних методів виробництва конструкційних матеріалів, вивчення структури залізобетонних сплавів, діаграм подвійних сплавів, режимів термічної обробки сталі. Також розглядаються технології виробництва деталей машин та устаткування (ливарним способом, обробка тиском, зварюванням, паянням).

Лабораторний практикум призначений для здобувачів вищих педагогічних закладів освіти спеціальностей 014 Середня освіта (Трудове навчання та технології) та 015 Професійна освіта (Сфера обслуговування), може бути корисним здобувачам технічних звань ПТНЗ, технічних коледжів.

Іл. 43. Табл. 8. Бібліогр. 21 назв.

*Рекомендовано до друку на засіданні Вченої ради факультету математики, фізики, комп'ютерних наук і технологій
Протокол № 6 від «18» лютого 2020 року*

З М І С Т

Вступ		4
Лабораторна робота № 1	Вивчення процесу кристалізації	5
Лабораторна робота № 2	Макро- і мікроскопічний методи дослідження металів і сплавів	12
Лабораторна робота № 3	Визначення характеристик міцності і пластичності металів	23
Лабораторна робота № 4	Визначення твердості металів і сплавів	29
Лабораторна робота № 5	Визначення ударної в'язкості металів	39
Лабораторна робота № 6	Вивчення механізмів холодної пластичної деформації	45
Лабораторна робота № 7	Рекристалізація металів	51
Лабораторна робота № 8	Побудова діаграм стану подвійних сплавів термічним методом	55
Лабораторна робота № 9	Аналіз діаграм стану подвійних сплавів	58
Лабораторна робота № 10	Виробництво чавуну	63
Лабораторна робота № 11	Теоретичні основи виробництва сталі	68
Лабораторна робота № 12	Вивчення діаграми стану залізо-цементит	71
Лабораторна робота № 13	Вивчення мікроструктур вуглецевих сплавів у рівноважному стані	76
Лабораторна робота № 14	Визначення величини зерна в сталі	82
Лабораторна робота № 15	Визначення критичних точок сталі методом пробних гартувань	86
Лабораторна робота № 16	Вивчення впливу режимів відпалювання і нормалізації на властивості вуглецевої сталі	91
Лабораторна робота № 17	Вплив температури нагрівання і швидкості охолодження при гартуванні на твердість вуглецевої сталі	96
Лабораторна робота № 18	Визначення прогартуваності сталі методом торцевого гартування	100
Лабораторна робота № 19	Відпускання і старіння вуглецевої сталі	107
Лабораторна робота № 20	Вивчення мікроструктури, твердості і глибини цементованого шару	113
Лабораторна робота № 21	Вплив термічної обробки на твердість конструкційної легированої сталі	115
Лабораторна робота № 22	Вибір матеріалу для виготовлення металорізальних інструментів та їхня термічна обробка.....	119
Лабораторна робота № 23	Виробництво кольорових металів	124
Лабораторна робота № 24	Ливарне виробництво	127
Лабораторна робота № 25	Ручне електродугове зварювання сталей	130
Лабораторна робота № 26	Точкове електроконтактне зварювання сталей	136
Лабораторна робота № 27	Паяння та лудіння металів	139
Список літератури		143
ДОДАТКИ		144

ВСТУП

Мета лабораторного практикуму – закріпити і поглибити теоретичні знання; розвинути вміння застосовувати теоретичні знання для розв’язання конкретних практичних завдань, здатність аналізувати результати експерименту, зіставляти їх з теоретичними положеннями і розрахунками; набути практичні навички для самостійного проведення різних методів контролю, дослідження структури та властивостей металів і сплавів, а також вивчити будову і принцип дії необхідних для цього пристосувань, інструментів та лабораторного обладнання; ознайомитися з технологією проведення основних операцій термічної та хіміко-термічної обробки металів і сплавів; ознайомитися з технологією основних видів ливарного виробництва, а також паяння, лудіння і зварювання металів і сплавів.

Навчальний час, що відводиться для виконання кожної лабораторної роботи, буде використаний з максимальною ефективністю лише за умови проведення попередньої високоорганізованої і якісної самостійної роботи студентів.

Порядок підготовки до виконання лабораторної роботи такий:

- уточнити і записати в зошит тему роботи, її мету, прилади, обладнання і матеріали, програму підготовки до виконання роботи, контрольні запитання та літературу;

- вивчити теоретичний матеріал до лабораторної роботи згідно з вказаними літературними джерелами. Якщо ж виявиться, що їх недостатньо, ознайомитись і з додатковими;

- виконати в письмовій формі контрольні завдання, зазначені в розділі “Програма підготовки до виконання роботи”. Відповіді повинні бути короткі, чіткі, але досить точно і повно розкривати суть питання.

Звіт про виконану роботу необхідно підготувати до наступного заняття в лабораторії і наданий для перегляду викладачу перед початком занять.

В лабораторії студентам необхідно дотримуватися таких правил техніки безпеки:

- приступати до виконання лабораторної роботи можна тільки з дозволу викладача, після проведеного ним інструктажу з техніки безпеки;

- на занятті студент виконує тільки ту роботу, що зазначена викладачем;

- перехід на інше робоче місце, без дозволу викладача, не допускається;

- включення й вимикання лабораторного устаткування проводиться тільки викладачем, навчальним лаборантом або з їхнього дозволу студентами;

- при виконанні лабораторної роботи необхідно бути гранично уважним, зосередженим, не проявляти поспіху, неухважності;

- працювати в лабораторії у відсутності викладача або лаборанта, а також у невстановлений час без дозволу викладача – забороняється;

- категорично забороняється студентам виконувати в навчальній лабораторії експериментальні роботи, не пов’язані з навчальним лабораторним практикумом, під час відсутності викладача.

Лабораторна робота № 1 ВИВЧЕННЯ ПРОЦЕСУ КРИСТАЛІЗАЦІЇ

Мета: Провести експериментальне спостереження за процесом переходу з рідкого стану в твердий аморфної і кристалічної речовини

Обладнання, матеріали та інструменти

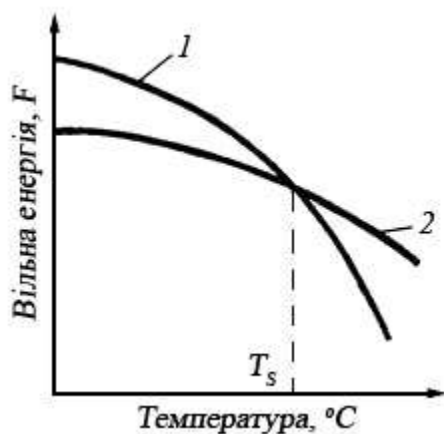
Вольтметр типу В7-21, секундомір, термопара, штатив, щипці, тиглі з досліджуваними кристалічними і аморфними речовинами, бінокулярний мікроскоп, розчини солей, пробірки, електроплитка, піпетка, лінійка, термометр.

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Кристалізацією називається процес утворення кристалів як з рідкої фази (первинна кристалізація), так і зі твердої фази (вторинна кристалізація). Першим описав процес кристалізації сталі з рідкої фази Д.К. Чернов у своїй класичній роботі “Дослідження, що стосуються структури литих сталевих болванок”, опублікованої в 1878 р.

Твердий стан кристалічних тіл, у тому числі й металів, характеризується геометрично правильним розташуванням у них атомів, а рідкий – безладним (точніше відносно безладним).

Кристаліти (зерна)¹, з яких складаються метали, характеризуються анізотропією властивостей, тобто фізичні властивості в кристалі залежать від напрямку дослідження, у той час як в аморфних тілах (скло, каніфоль, ебоніт, целюлоза), які є ізотропними, властивості в різних напрямках однакові. При плавленні металів відбувається руйнування так званої кристалічної решітки, що є сукупністю закономірно розташованих атомів у металі, а при кристалізації - утворення кристалічної решітки.



енергії металу в рідкому (1)
і твердому станах (2) від
температури

Енергетичні умови процесу кристалізації металів легко пояснити, виходячи з відомого положення термодинаміки, що всяке фазове перетворення супроводжується зменшенням вільної енергії, тобто всі перетворення, що самовільно відбуваються в природі, а отже, кристалізація і плавлення обумовлені тим, що новий стан у нових умовах є енергетично більш стійким, має менший запас вільної енергії.

Як відомо, вільна енергія системи (для рідких і твердих тіл) дорівнює

$$F = U - TS,$$

де U – повна енергія; T – абсолютна температура; S – ентропія системи.

На рис. 1.1 наведені криві, що показують характер зміни вільної енергії рідкого й твердого металу залежно від температури.

Аналіз цих кривих свідчить, що при переохолодженні рідкої фази нижче T_s (теоретична температура кристалізації (плавлення), при якій $F_{тв} = F_{р}$) почнеться процес кристалізації, тому що тверда фаза має при цих температурах меншу вільну енергією. Отже, при низьких температурах тверде тіло є більш стабільним.

Під *ступенем переохолодження* ΔT розуміють різницю між теоретичною й фактичною температурою кристалізації ($\Delta T = T_T - T_{\phi}$). Так, наприклад, теоретична (рівноважна) температура затвердіння сурми дорівнює 631° ; оскільки до початку

¹ Зерном (кристалітом) звичайно називають кристал, що не має правильної кристалічної форми (див. рис.)

кристалізації рідина була переохолоджена до 590° , то ступінь переохолодження $\Delta T = 631^{\circ} - 590^{\circ} = 41^{\circ}$. У металів і сплавів здатність до переохолодження невелика. Вона звичайно не перевищує $10 \dots 20^{\circ}\text{C}$ (виключення становить сурма). У них число виникаючих зародків (*ч.з.*) надзвичайно сильно росте зі збільшенням переохолодження. Ні при яких одержуваних на практиці швидкостях охолодження не вдається перевести рідкий метал в аморфний стан. Що стосується механізму кристалізації, то ще в 1878 р. Д. К. Чернов указав, що кристалізація складається із двох елементарних процесів: зародження в рідині дрібних кристалічних частинок (зародків) і росту цих частинок. Пізніше в результаті дослідження процесу кристалізації на прозорих органічних речовинах і частково на легкоплавких металах, узятих у малих кількостях, установлено, що при даній величині переохолодження число виникаючих зародків (*ч.з.*) і швидкість росту кристалів (*ш.р.*) є величинами постійними протягом усього часу процесу кристалізації.

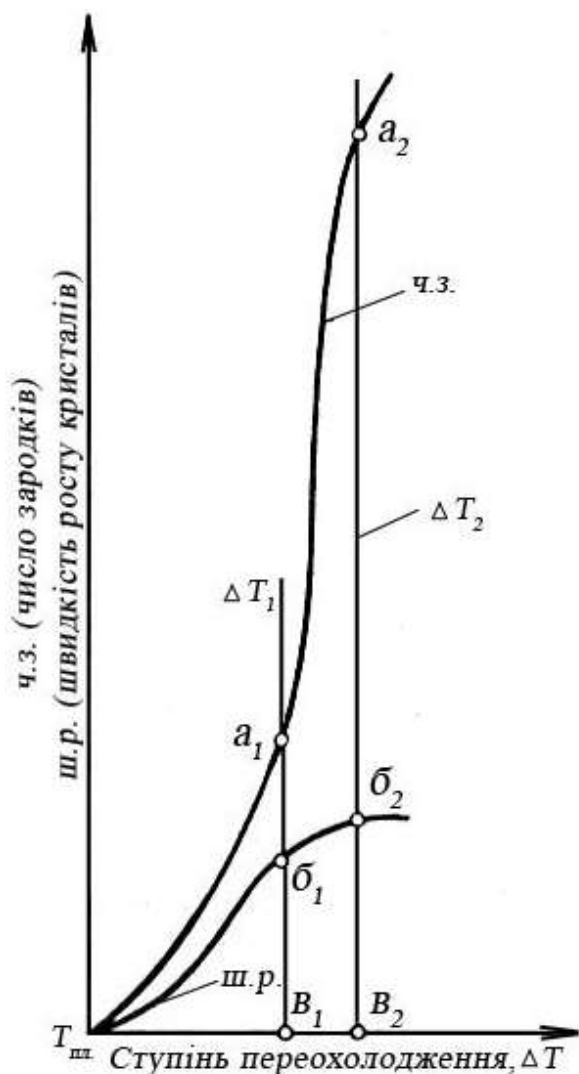


Рис. 1.2. Принципова схема залежності ч.з. і ш.р. від ступеня переохолодження для випадку кристалізації металів

Графічний вираз цієї залежності, характерний для випадку кристалізації металів, наведено на рис. 1.2.

Швидкість виникнення зародків визначається числом зародків (*ч.з.*), що виникають в одиниці об'єму (1 мм^3) за одиницю часу (1 сек.). Зародки (центри кристалізації) можуть виникати безпосередньо в рідкій фазі внаслідок неоднорідності розподілу енергії між атомами й наявності флуктуації густини (мимовільне утворення зародків), а також на поверхнях включень домішок, що є присутніми у рідині в зв'язку з умовами проведення плавлення або спеціально введеними (немимовільне утворення центрів кристалізації).

Як показали роботи В. І. Данилова, присутність дрібних твердих частинок у рідкій фазі значно впливає на зародження центрів кристалізації.

Швидкість росту кристала (*ш.р.*) — це лінійне переміщення зростаючої грані кристала в міліметрах за одиницю часу.

Величина отриманих кристалів N залежить від співвідношення величин *ш.р.* і *ч.з.* при даному ступені переохолодження й може бути виражена формулою

$$N = \alpha \sqrt{\frac{\text{ш.к.}}{\text{ч.з.}}},$$

де α — коефіцієнт пропорційності.

Наприклад, для ступеня переохолодження, рівного ΔT_1 (рис. 1.2), кристали після затвердіння будуть великі, тому що число зародків (*ч.з.*) мале (відрізок a_1b_1), а швидкість кристалізації (*ш.к.*) велика (відрізок b_1b_1).

При переохолодженні, рівному ΔT_2 , кристали будуть дрібніші, тому що при тій же майже *ш.к.*, що й у першому випадку (відрізок $b_2b_2 \approx b_1b_1$), *ч.з.* значно більше (відрізок a_2b_2).

Отже, змінюючи ступінь переохолодження, можна одержати зерна різної величини, а від величини зерен залежать механічні властивості сплавів.

Теорія об'ємної кристалізації Таммана, яка передбачає, що кристалізація починається одночасно в усьому об'ємі зливка й, що розвиток процесу кристалізації відбувається в ізотермічних умовах у результаті переохолодження металу, справедлива тільки для дуже малих об'ємів рідин, а також і для кристалізації в твердому стані (наприклад, перлітної кристалізації сталі), і обмежено може бути застосована для пояснення процесу кристалізації реальних зливоків великої ваги.

Як показали роботи, проведені школою акад. Н.Т. Гудцова, що ґрунтуються на дослідженнях А. С. Лаврова й Д. К. Чернова, у реальних умовах затвердіння великих зливоків переохолодження виявити дослідами не вдається. Кристалізація зливка починається на стінках форми й послідовно просувається до центра, де об'єми металу, що твердіють з різних сторін, зближуються. Ріст кристалів без переохолодження можливий тільки за рахунок відводу від них теплоти кристалізації через стінки форми й раніше затверділі шари, тобто послідовно. Крім стінок форми, на процес кристалізації значно впливають тверді завислі тугоплавкі частинки домішок, що перебувають у рідкому сплаві. Ці частинки, що є "зародками" кристалізації (немимовільне утворення зародкових центрів), сприяють одержанню дрібнозернистої структури. Їхня роль не враховується теорією Таммана; тому в дійсності число зародків може не відповідати кривій *ч.з.* (рис. 1.2), що відповідає мимовільному виникненню центрів кристалізації.

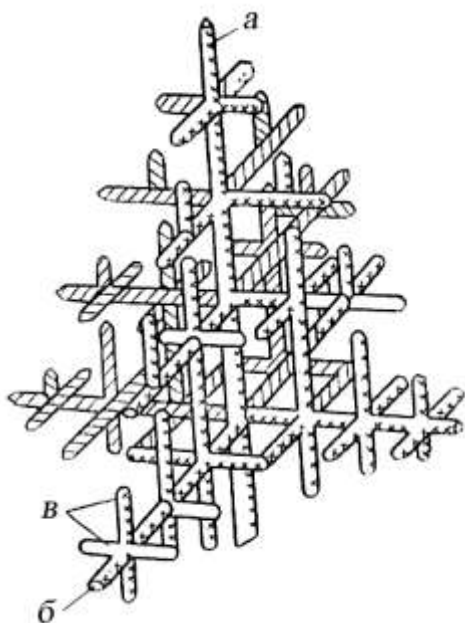


Рис 1.3. Схема росту дендрита
(за Д. К. Черновим)



Рис. 1.4. Зливок сурми; кристалізація
у вигляді дендритів. $\times 1/4$

При затвердінні можуть виникати кристали самої різноманітної форми й розмірів. Це залежить від умов охолодження зливка, а також від того, з якою температурою метал попадає в форму і яка була температура перегріву сплаву, і від ряду інших факторів.

Взагалі то у природі спостерігаються дві форми кристалізації: нормальна і дендритна. При нормальній кристалізації кристал росте шляхом більш або менш рівномірного нарощування граней. При дендритній (деревоподібній) формі спочатку утворюються з розплаву основні осі кристалізації, від яких, в свою чергу, ростуть осі другого порядку – в перпендикулярному до першого напрямку. Далі кристалізуються осі третього, четвертого і т.д. порядків. Нормальна кристалізація властива звичайно солям, дендритна – всім металам і деяким солям.

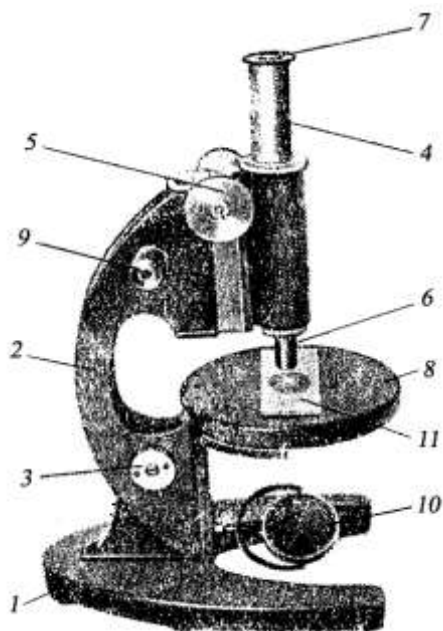


Рис 1.5. Біологічний мікроскоп МА

закономірностями, що і метали; при цьому прозорий стан останніх дозволяє вести спостереження ходу кристалізації за допомогою звичайного біологічного мікроскопа. Утворення кристалів з розчину солей викликається випаровуванням розчинника, а за самим процесом кристалізації легко спостерігати при наявності нескладної апаратури.

Процес кристалізації солей вивчається за допомогою біологічного мікроскопа (рис. 1.5), що складається з: плити 1, з'єднаної зі стовпчиком 2 шарніром 3, у результаті чого верхню частину мікроскопа можна нахилити, що досить зручно при роботі сидячи; тубуса 4, що може пересуватися нагору й долилиць обертанням гвинта 5; об'єктива 6; окуляра 7; предметного столика 8; мікрометричного гвинта 9 і дзеркала 10.

Грубе наведення мікроскопа на фокус роблять шляхом піднімання (але не опускання) тубуса за допомогою гвинта 5, дивлячись при цьому одним оком в окуляр. Точне фокусування здійснюється обертанням мікрометричного гвинта 9. Спостереження за допомогою мікроскопа ведуть при збільшенні не більше 100.

На предметний столик мікроскопа встановлюють плоске скло 11, на яке нанесена велика крапля майже насиченого розчину солі. Найбільш зручно спостерігати за кристалізацією розчину солі азотнокислого свинцю – $Pb(NO_3)_2$.

На рис. 1.6 показана схема ходу променів у мікроскопі при дослідженні краплі розчину. Промені від природного або штучного джерела світла 1, відбившись від плоского або ввігнутого дзеркала 2, проходять через краплю 3 в об'єктив 4, освітлюючи її. Отримане в об'єктиві зображення краплі розглядається за допомогою окуляра 5.

Процес кристалізації досліджуваної краплі розчину солі азотнокислого свинцю можна умовно розділити на три періоди.

У міру випаровування рідини концентрація розчину змінюється, і розчин поступово приходить до стану насичення. Найбільше випаровування буде біля країв краплі, звідки й починається кристалізація.

Найчастіше при кристалізації металів і солей утворюється дендритна структура. Дендрит – деревоподібний кристал. На рис. 1.3 показана схема росту дендрита (за Д. К. Черновим). Кристалізація йде в такий спосіб: спочатку утвориться головна вісь кристала – *a* (вісь першого порядку). Потім перпендикулярно до головної осі в сторони відростають осі *b* (осі другого порядку), від яких, у свою чергу, ростуть бічні осі *c* (осі третього порядку) і т.д.

У результаті утвориться деревоподібний кристал, що є (у випадку кристалізації металу з утворенням кубічної решітки) скелетом витягнутого квадратного октаедра.

На рис. 1.4 показаний зливоч сурми, що закристалізувався у вигляді дендритів.

Метали є непрозорими тілами, внаслідок чого неможливо візуально спостерігати за ходом процесу їхньої кристалізації. У той же час ряд солей кристалізуються з насичених водних розчинів за тими ж

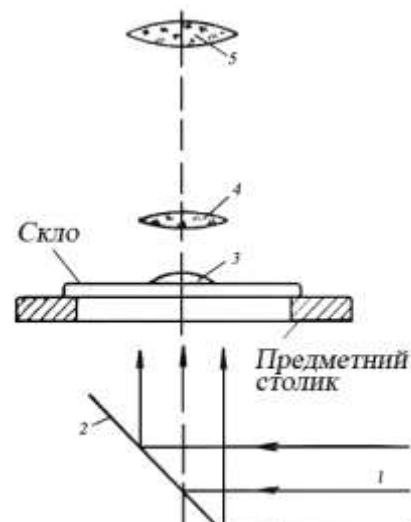


Рис. 1.6. Схема ходу променів у біологічному мікроскопі

Протягом першого періоду кристалізації на краях краплі утворюється кірка, що складається із дрібних кристалів *A* правильної форми (рис. 1.7), тому що сильне переохолодження викликає велику кількість зародків кристалізації.

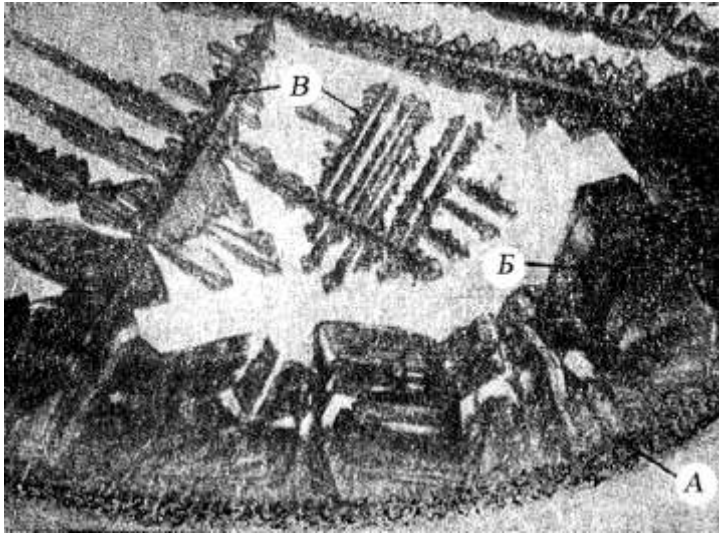


Рис. 1.7. Будова затверділої краплі розчину солі $Pb(NO_3)_2$. X 50

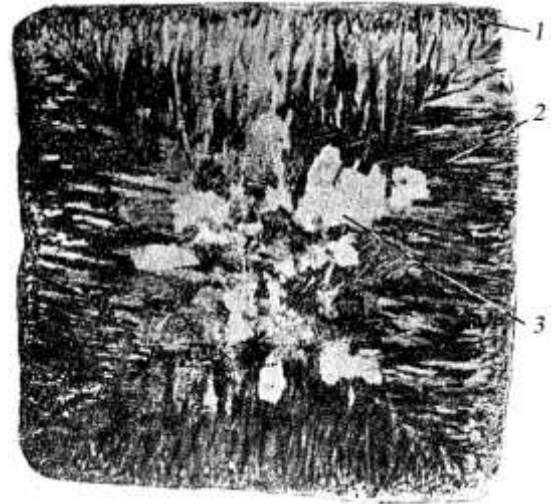


Рис. 1.8. Макроструктура поперечного перерізу зливка сплаву інвар

У другий період кристалізації ростуть великі, так звані стовбчасті кристали *B*. Напрямок їх нормальний до країв краплі. Тут ми маємо більшу швидкість кристалізації й обмежене число зародків.

У третій період кристалізації, коли крапля стає тонкою й випаровування із середини йде значно швидше, виникають нові кристали *B*, безладно орієнтовані і мають явно виражену форму дендритів.

Процес кристалізації солі досить схожий із процесом затвердіння металевого зливка. На рис. 1.8 показана макроструктура поперечного перерізу зливка сплаву інвар (62,78% Fe, 36,2% Ni, 0,37% Cu й 0,65% Mn). На поверхні зливка – невеликий шар дрібних рівноосних зерен *1*, глибше розташований шар стовбчастих (витягнутих) зерен *2*. У центрі зливка – безладно розташовані грубі зерна *3*.

Часто процес переходу речовини із рідкого стану в твердий вивчають за допомогою кривих охолодження, що будуються за результатами термічного аналізу. Термічний аналіз ґрунтується на фіксації теплового ефекту перетворення, оскільки фазові перетворення відбуваються з виділенням або поглинанням деякої кількості тепла. Схема установки для проведення термічного аналізу приведена на рис. 1.9.

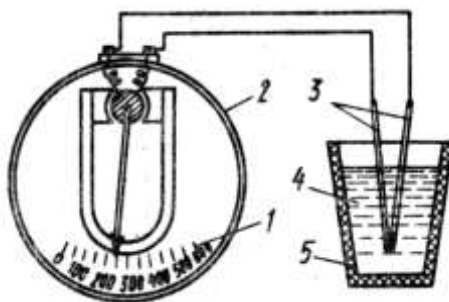


Рис. 1.9.
Установка для проведення термічного аналізу: 1 – шкала гальванометра; 2 – гальванометр; 3 – термопара; 4 – досліджуваний метал; 5 – тигель

В електропечі розміщують тигель *5* з досліджуваним сплавом *4*. Потім в розплавлений сплав занурюють термопару *3* таким чином, щоб кінець термопари не дотикався стінок тигля і відключають піч: через рівні проміжки часу фіксують покази гальванометра *2*. Для відліку часу, звичайно, використовують секундомір.

Покази гальванометра і секундоміра записують у табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Час, с	mV	Температура, С	Час, с	mV	Температура, °С

Після закінчення вимірювань за допомогою спеціальних таблиць переводять мілівольти в градуси і будують криву охолодження в координатах температура – час. Одержана крива наочно показує, як змінюється характер ходу кривої з часом. Точки згину, спроектовані на вісь ординат, відповідають температурам критичних точок.

ПРОГРАМА ПІДГОТОВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Вивчити теоретичний матеріал за даним посібником та зазначеними нижче літературними джерелами.
2. Виконати письмово такі завдання:
 - а) зарисувати основні типи елементарних кристалічних комірок та вказати для них координаційне число і коефіцієнт компактності;
 - б) описати енергетичні умови процесу кристалізації;
 - в) зарисувати схему механізму кристалізації металів і пояснити її;
 - г) зарисувати схему дендритного кристала і пояснити суть дендритної кристалізації;
 - д) зарисувати схему будови сталюого зливка спокійної сталі і пояснити з яких зон він складається і чому;
3. Вивчити будову і принцип дії бінокулярного мікроскопа.

ЗАВДАННЯ Й МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

Завдання 1. *Провести спостереження за процесом кристалізації розчину солей.*

Для вивчення процесу кристалізації в даній роботі використовуються насичені водні розчини солей (зазначені викладачем) і бінокулярний біологічний мікроскоп. Кристалізація розчину солей викликається випаровуванням розчинника. В міру випаровування рідини концентрація розчину змінюється, і розчин поступово приходить до стану насичення. Найбільш інтенсивне випаровування буде біля країв краплі, звідки і починається кристалізація. Тут утворюється зона, яка складається з дрібних кристалів правильної форми. Далі ростуть більші за величиною стовбчасті кристали. Напрямок їх росту перпендикулярний до країв краплі. В кінці процесу кристалізації вся крапля стає тонкою і випаровування з середини йде значно швидше, виникають нові кристали, безладно орієнтовані.

Перш, ніж приступити до виконання роботи, необхідно налаштувати бінокулярний мікроскоп і приготувати розчини солей.

Нормальну кристалізацію краще спостерігати при кристалізації насиченого розчину азотнокислого срібла, а дендритну – хлористого амонію. При цьому солі розчинити у воді, що має температуру 70...80°C (на 100 см³ води додається 40...50 г солі). В роботі використовується гарячий розчин.

За допомогою піпетки нанести на предметне скло краплю досліджуваного розчину і спостерігати за процесом кристалізації. Вивчення кристалізації проводити в такій послідовності:

1. Гарячий розчин піпеткою нанести на холодне скло (кімнатної температури) і спостерігати за краплею. Зарисувати початок утворення центрів кристалізації, а потім проводити зарисовки ходу кристалізації і кінцевий стан після її закінчення.

2. Гарячий розчин нанести на підігріте приблизно до 60...70°C скло (для підігріву скляної пластинки її розміщують на листку азбесту, що розташований в пісчаній бані). При цьому кристалізація повинна відбуватися повільніше, ніж в першому випадку, а отже, і

кристали повинні бути більшими. Зарисовка ходу кристалізації здійснюється аналогічно до першого випадку.

3. Розчин хромпіка $K_2Cr_2O_7$ підігріти в пісчаній бані до $80...90^{\circ}C$ і нанести на підігріте скло (приблизно до $70...80^{\circ}C$); при цьому кристалізація викликається “прививкою” – шляхом дотику до краю краплі будь-яким тонким холодним предметом – мідною дротиною і т.п. У цьому випадку повинна спостерігатися кристалізація з утворенням дендритної структури.

Усі характерні етапи кристалізації зарисувати в тій же послідовності, що і в попередніх випадках.

4. Описати отримані схеми кристалізації, зробити необхідні висновки і пояснення.

Завдання 2. *За результатами термічного аналізу побудувати криву охолодження чистого металу, металевого сплаву та аморфної речовини (воску).*

1. Тигель, що містить чистий метал (олово, свинець або цинк) масою $150...200$ г розмістити в муфельній печі, де метал розплавити. При цьому бажано досягти перегрівання на $50...70^{\circ}C$. Для попередження окислення на поверхню металу насипати шар подрібненого деревного вугілля і закрити тигель кришкою або листовим азбестом.

2. Через отвір у кришці розмістити спай термопару у кварцовій трубці, яка перебуває в розплаві.

3. Відключити піч, дочекатися коли температура почне падати, і через рівні проміжки часу записати покази гальванометра в самостійно складену таблицю.

Примітка: У даній роботі для економії часу охолодження розплаву провести не в печі, а на повітрі. Для цього потрібно тигель з досліджуваним металом спеціальними щипцями вийняти з печі і встановити на підставку. Після чого розмістити в розплаві термопару і провести вимірювання через кожні 10 с.

4. Вимірювання проводити до температури, що на $100...120^{\circ}C$ нижча за температуру кристалізації.

5. За допомогою спеціальних таблиць перевести мілівольти в градуси і дані записати в таблицю.

6. За отриманими даними побудувати криву охолодження чистого металу, відкладаючи по осі ординат температуру, а по осі абсцис – час.

7. Правильність побудови кривої охолодження перевірити за допомогою правила фаз і пояснити характер фазових перетворень, які відбуваються при охолодженні металу.

8. Визначити температури критичних точок.

9. Побудувати криву охолодження металевого сплаву і аморфної речовини (воску). Для цього провести дослідження згідно пунктів 1...7. Віск слід нагрівати не вище $80^{\circ}C$. Після закінчення вимірювань не забувайте звільнити термопару.

10. Після аналізу одержаних кривих охолодження зробити висновки відносно процесів переходу з рідкого стану у твердий чистого металу, металевого сплаву і аморфної речовини.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що називається кристалізацією, рівноважною або теоретичною температурою кристалізації, переохолодженням, елементарною кристалічною коміркою, координаційним числом, коефіцієнтом компактності, періодом кристалічної решітки, модифікуванням, ізо트로пією, анізо트로пією, алотропією? Які речовини називаються кристалічними, а які аморфними, їхні основні ознаки і відмінності?

2. Охарактеризувати типи зв'язку у твердих тілах.

3. Охарактеризувати енергетичні умови та механізм процесу кристалізації.

4. Охарактеризувати фізичну суть процесів плавлення і кристалізації металів.

5. Охарактеризувати дефекти кристалічної будови і причини їх виникнення.

6. Охарактеризувати схему кристалізації сталюого зливка. Який зв'язок між величиною зерна, числом центрів кристалізації і ступенем переохолодження?

Лабораторна робота № 2 МАКРО- І МІКРОСКОПІЧНИЙ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ

- Мета:** 1. Ознайомитися: з методами дослідження будови металів і сплавів; методами макроскопічного аналізу; із будовою металографічного мікроскопа та методикою дослідження мікроструктури металів і сплавів, виготовленням шліфів.
2. Вивчити характерні види макроструктур.
3. Навчитися користуватися металографічним мікроскопом для дослідження мікроструктури.

Обладнання, матеріали та інструменти

Зразки сталі з нерівномірним розподілом сірки і фосфору, а також після зварювання і з дефектами, що порушують суцільність металу; шліфувальний і фільтрувальний папір; гумовий валик; глянцева бромосрібна фотопапир; спирт; реактиви (5%-ний водний розчин сірчаної кислоти і реактив Гейна); посудини для травлення; гіпосульфід.

Металографічний мікроскоп, зразки досліджуваних металів, травник, шліфувальний верстат, набір шліфувального паперу, паста ДОІ, альбом фотографій мікроструктур сталей і чавунів.

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Властивості металів і особливо сплавів досить різноманітні й обумовлюються, насамперед, хімічним складом, а потім внутрішньою будовою (структурою).

Для вивчення внутрішньої будови металів і сплавів застосовують прямі й непрямі (побічні) методи. До числа *прямих методів* відносяться:

1) дослідження макроструктури неозброєним оком за виглядом зламів або шліфованих і протравлених макрошліфів;

2) дослідження мікроструктури за допомогою оптичного мікроскопа зі збільшенням до 1500 разів, а також із застосуванням електронного мікроскопа зі збільшенням до 20 тис. раз;

3) дослідження атомно-кристалічної структури за допомогою рентгено-структурного аналізу, що має роздільну здатність порядку 10^{-8} см.

До числа *непрямих методів* відносяться: магнітний, дилатометричний, вимірювання електроопору й інші фізичні методи дослідження, які, хоча й не дають прямого зображення структури, але все-таки дозволяють розкрити кінетику перетворень, що відбуваються в них.

Крім того, існують методи дослідження структури шляхом визначення твердості, мікротвердості, механічних і технологічних властивостей, а також проведення хімічного й спектрального аналізів тощо.

Макроструктурним аналізом або коротко **макроаналізом** називається метод дослідження будови металів і сплавів неозброєним оком або при невеликих збільшеннях - до 30 разів. Будова металів, виявлена за допомогою макроаналізу, називається **макроструктурою**.

Метод макроскопічного аналізу дозволяє:

1) досліджувати злам для встановлення характеру руйнування;
2) виявити дефекти, що порушують суцільність металу - рихлість, газові пухирці, тріщини, усадочні раковини, флокени, розшарування, свищі й інші дефекти в литих заготовках або отриманих обробкою тиском, а також у зварних швах;

3) визначити характер первинної кристалізації й дендритної структури в злитках або литих деталях;

4) визначити хімічну неоднорідність сплаву (ліквацію, зокрема, ліквацію вуглецю й

шкідливих домішок сірки й фосфору), шлакові включення, неметалічні включення;

5) визначити неоднорідність будови сплаву, викликану попередньою обробкою тиском;

6) визначити неоднорідність складу й структури, що виникає після термічної або хіміко-термічної обробки, наприклад, зону цементації в сталі.

У завдання даної лабораторної роботи не входить ознайомлення з усіма видами дефектів, що зустрічаються в сталях, і методами їхнього визначення. Перераховане вище сприяє розумінню того, що в металах існують різноманітні фактори, що порушують правильну будову металів.

Вивчення зламів - найбільш простий і доступний метод мікроаналізу (зламом називається поверхня, по якій відбулося руйнування зразка або деталі). За допомогою цього методу можна визначити: форму й розміри зерен, різновид зламу, характер руйнування тощо. Наприклад, за поверхнею зламу можна судити про те, по тілу зерен чи по межах зерен відбулося руйнування металу, дрібнозернистий злам свідчить про більш високі механічні властивості, ніж грубозернистий, виявлення білих плям (флокенив) у зламі сталі є одним з найкращих методів виявлення цього дефекту.

Злам дозволяє виявити різні дефекти металу (порожнини, тріщини, газові пухирці) і дефекти обробки. За зламом можна визначити глибину загартованого шару. Загартований зразок ламають і за видом зламу роблять висновок про глибину загартованої зони: загартований шар має волокнистий злам, а незагартована зона - кристалічний.

Будова зламу показано на рис. 2.1. Ділянку зламу, що перебуває на відстані від джерела зародження тріщини, називають зоною розвитку тріщини.

Ділянку зламу, що прилягає до закінчення тріщини біля поверхні зразка, і яка протилежна до джерела зародження тріщини, називають зоною доламу.

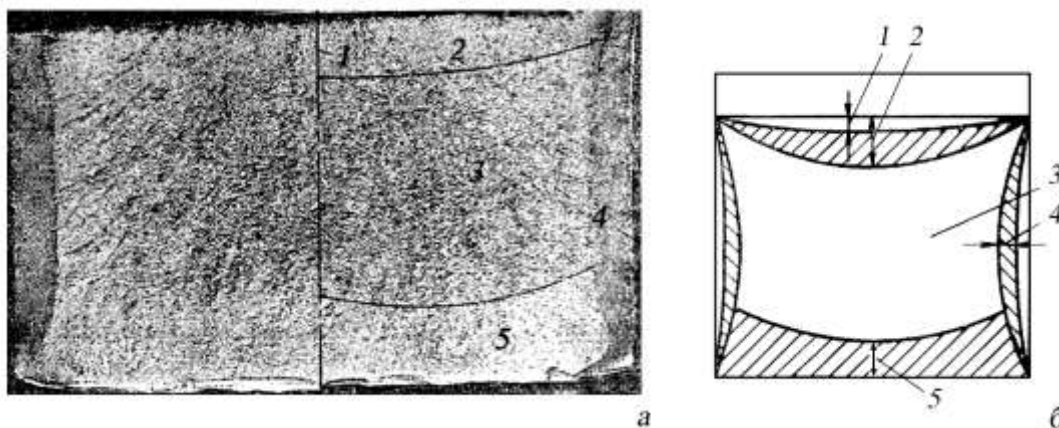


Рис. 2.1. Будова зламу: а - вид зламу; б - схема елементів зламу; 1 - джерело руйнування; 2 - зона зародження тріщини; 3 - зона розвитку тріщини; 4 - витяжка зламу; 5 - зона доламу

Витяжка зламу оцінюється величиною максимальної деформації двох бічних площин, паралельних напрямку прикладеного зусилля; вимірюється в міліметрах; залежить від абсолютних розмірів зразка, відношенням його ширини до висоти, механічних властивостей металу й температури випробування.

Розрізняють *тріщини первинні*, тобто такі, що поширюються з джерела руйнування, і утворюючи поверхню руйнування, і *вторинні*, тобто такі, що поширюються з окремих центрів руйнування, розташованих на поверхні зламу. Вторинні тріщини є поперечними відносно площини первинного зламу.

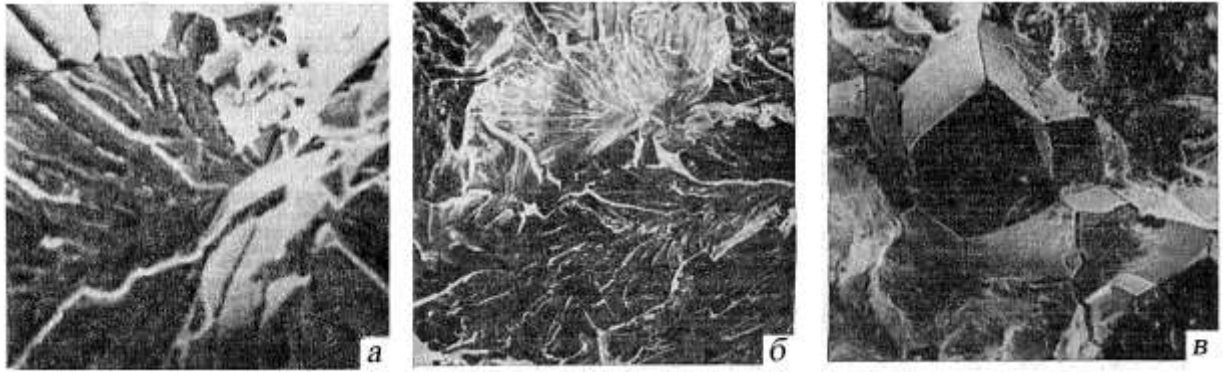


Рис. 2.2. Фасетки: а – фасетки сколу (РЕМ. X 1000), що значно переважають за розмірами фасетки інших типів, мають неправильну форму і чіткі межі, утворені сходинками сколу, а також характерні елементи будови – струмкоподібні візерунки, язички; б, в – фасетки квазісколу (в – ПЕМ. X 1200); мають малі розміри (значно менші, ніж розміри зерна) і нечіткі межі, окреслені гребенями відриву; за будовою поверхні подібні до фасеток сколу, спостерігаються при внутрішньозеренному квазікрихкому руйнуванні на окремих ділянках поверхні зламу, що межує з ділянками в'язкого руйнування

Поверхня руйнування характеризується наявністю таких елементів: фасеток (рис. 2.2), ямок (рис. 2.3), сходинок (рис. 2.4, а), струмкоподібного візерунку (рис. 2.4, б, в), гребенів відриву (рис. 2.5).

Фасетки – елементи поверхні руйнування, що мають слабо розвинутий мікрорельєф і чіткі межі; в межах фасетки руйнування розвивається в одному напрямі. В світловому мікроскопі фасетки виглядають як блискучі ділянки, в растровому електронному мікроскопі (РЕМ) і просвічуючому електронному мікроскопі (ПЕМ) – як ділянки однакового кольору (ступені почорніння). Спостерігаються при міжзеренному крихкому і в'язкому або внутрішньозеренному крихкому і квазікрихкому руйнуванні.



Рис. 2.3. Ямки: а – рівновісні ямки, що спостерігаються при розтягу вздовж осі (ПЕМ. X 1200); б – витягнуті ямки, що спостерігаються при розклинюючому відриві (злам, “розщеплення”); в – ямки неправильної форми, що спостерігаються при зародженні мікропор на джерелах руйнування, які мають протяжні геометричні розміри (ПЕМ. X1200)



Рис. 2.4. Сходинки, струмкоподібний візерунок: а – сходинки, які є елементами поверхні крихкого або квазікрихкого руйнування. РЕМ. X 800. Утворюються при з'єднанні двох поверхонь руйнування, розміщених на різних рівнях; можуть виникати також в результаті сколу вздовж меж мікродвійників, можуть бути прямолінійної або вигнутої форми; найбільш часто сходинки проявляються при з'єднанні двох фасеток сколу (сходинки сколу). Спостерігаються при внутрішньозеренному крихкому руйнуванні; б, в – струмкоподібний візерунок (б – ПЕМ. X 1500);

в – ПЕМ. X 3000) – елемент будови поверхні фасеток сколу і квазісколу (сходинки сколу)

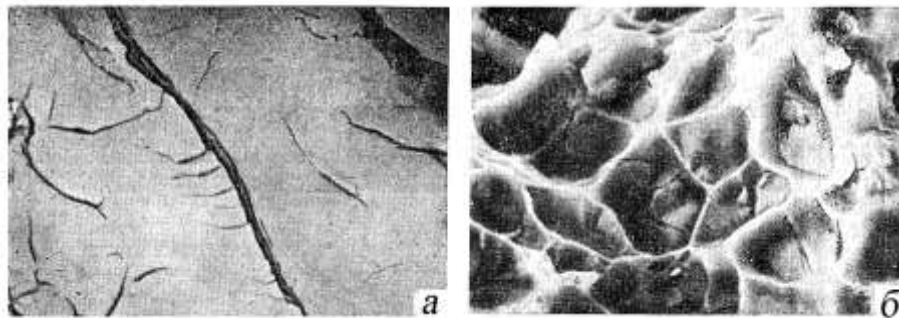


Рис. 2.5. Гребені відриву (а – ПЕМ. x10000; б – ПЕМ. x4200). Утворюються в результаті пластичної деформації і руйнування перемичок між іншими елементами зламу (ямками, фасетками квазісколу). Є протяжними виступами, що виступають над поверхнею руйнування. Спостерігаються при внутрішньозеренному в'язкому і квазікрихкому руйнуванні.

Ямки – елементи поверхні руйнування чашкоподібної форми, що є поверхнями мікропор, які утворюються в процесі пластичної деформації (стадія текучості) металу (джерелом зародження мікропор можуть служити частинки неметалевих включень або вторинних фаз, мікронеоднорідності густини по межах зерен, субзерен і на площинах зсуву); форма ямки залежить від напрямку прикладання максимального напруження по відношенню до поверхні руйнування і форми джерела руйнування; глибина ямки залежить від густини розподілу джерел зародження мікропустот і величини локальної пластичної деформації металу на ділянці руйнування (рис. 2.3).

Для опису мікробудови зламів використовуються такі поняття.

Скол - механізм крихкого руйнування: поділ металу по площинах, що збігаються із кристалографічними площинами зерен (внутрішньозеренний скол) або плоскими ділянками границь зерен (міжзеренний скол). Характеризується поверхнею руйнування, що складається з фасеток, сумірних з розмірами зерен і практично відсутніми ознаками пластичної деформації (рис. 2.6, а).

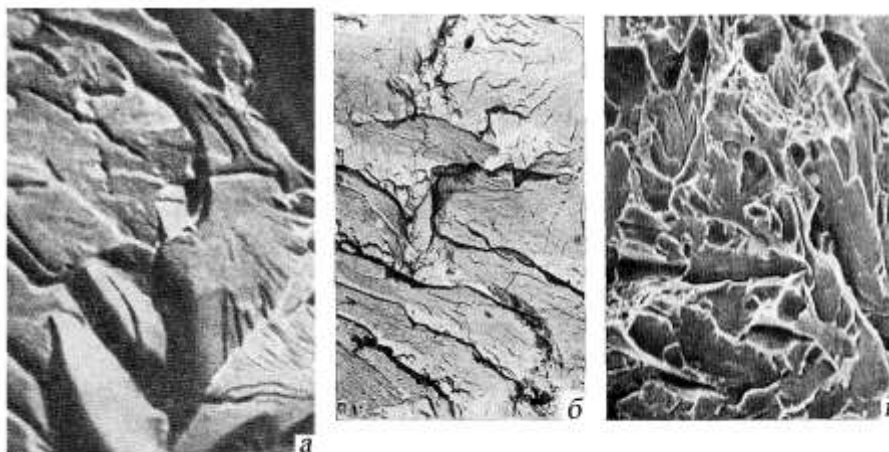


Рис. 2.6. Види мікробудови зламів: а – скол (ПЕМ. X 800); б, в – квазіскол (ПЕМ. X 1000; в - ПЕМ. X 1000)

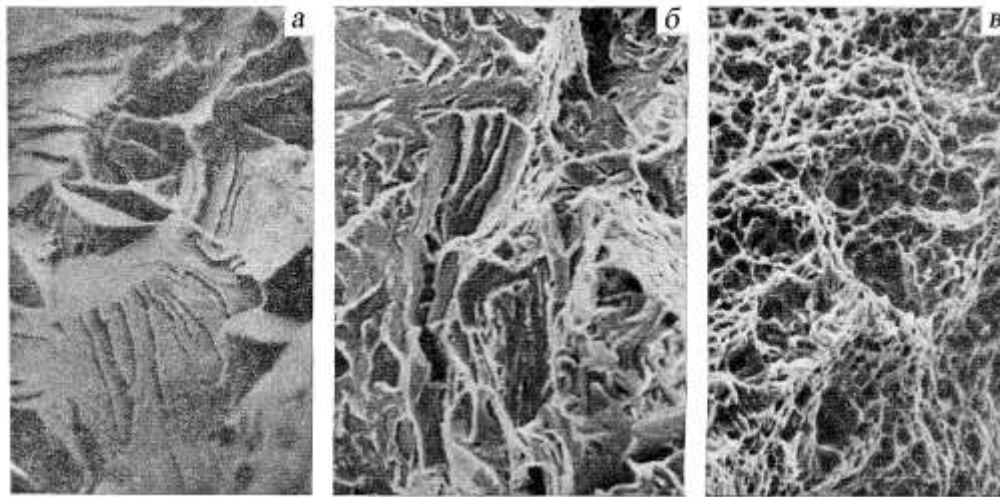


Рис. 2.7. Внутрішньозеренний злам (РЕМ. х 1000):

а – крихкий злам, що є поверхнею руйнування, яка утворюється при роз'єднанні металу по тілу зерен шляхом сколу; в зламї спостерігаються плоскі ділянки – фасетки сколу з характерною будовою; б – квазікрихкий злам, що є поверхнею руйнування, яка утворюється при роз'єднанні металу по тілу зерен шляхом квазісколу; в зламї спостерігаються плоскі ділянки – фасетки квазісколу з характерною будовою; на відміну від фасеток сколу фасетки квазісколу мають меншу площу і більш розвинутий мікрорельєф; в – в'язкий злам, що є поверхнею руйнування, яка утворюється при роз'єднанні металу по тілу зерен шляхом об'єднання мікропустот; спостерігаються ділянки з розвинутим мікрорельєфом – ямки і гребені

Квазіскол – механізм внутрішньозеренного квазікрихкого руйнування, що характеризується поділом металу по площинах, що не збігається із кристалографічними площинами зерен. Характеризується поверхнею руйнування, що складається з фасеток, що мають розміри менші за розміри зерен, зі слабо вираженими ознаками локальної пластичної деформації (рис. 2.6, б, в).

У практиці розрізняють: *змішаний злам* - поверхня руйнування, що є поєднанням двох і більше видів зламів по морфології макробудови (рис. 2.9) або елементів мікробудови (рис. 2.10).

Дефект у зламї – дефект будови металу, що проявляється на поверхні руйнування й погіршує властивості металу (рис. 2.11).

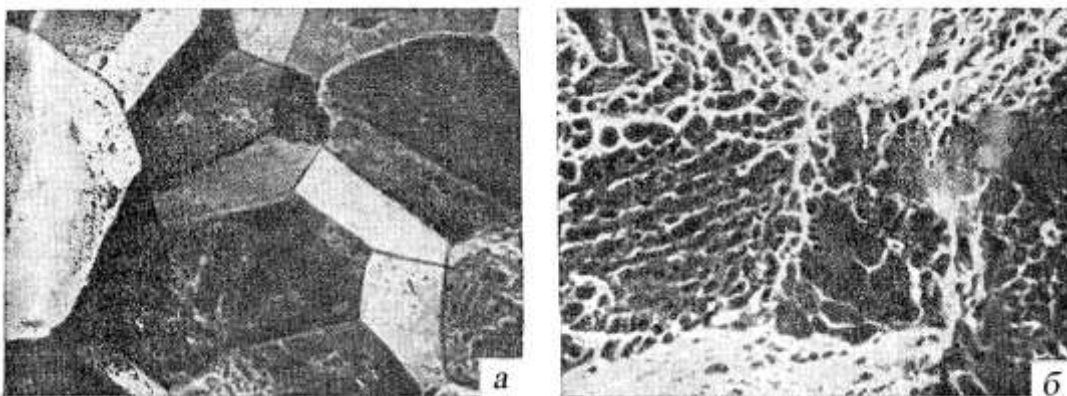


Рис. 2.8. Міжзеренний злам (РЕМ. х 1000): крихкий злам; поверхня руйнування по границях зерен або субзерен, що утворюється без деформації граничних об'ємів металу; крихке міжзеренне руйнування характеризується наявністю фасеток, що не мають ознак пластичної деформації; б – в'язкий злам; поверхня руйнування по границях зерен, утворюється шляхом об'єднання мікропустот – ямок – при деформації граничних об'ємів металу; при міжзеренному в'язкому руйнуванні поверхня зернограничних фасеток має ямковий мікрорельєф

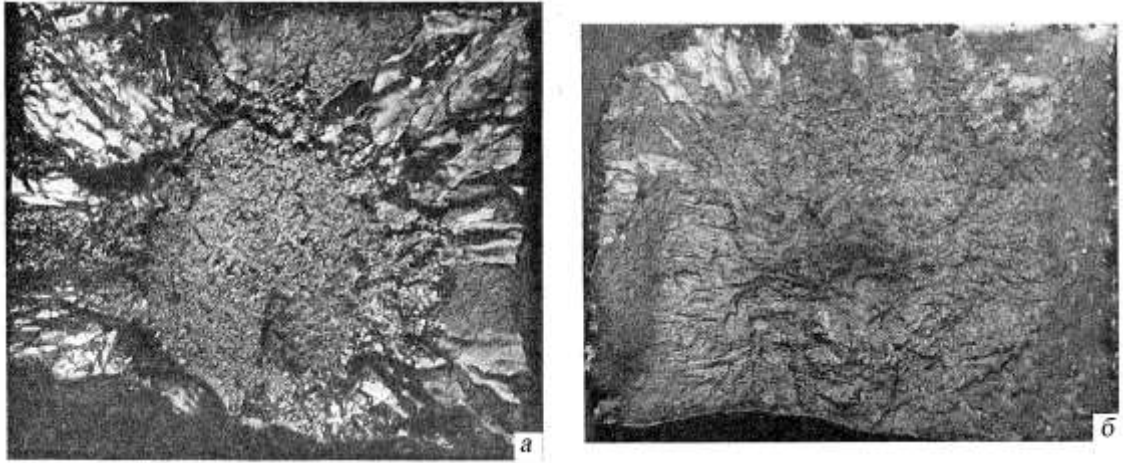


Рис. 2.9. Змішана макробудова зламу: а – стовбчаста будова по периферії і кристалічна в центральній зоні; б – кристалічна будова з волокнистими прожилками в центральній частині з ділянками стовбчастої і дендритної будови по периферії зламу

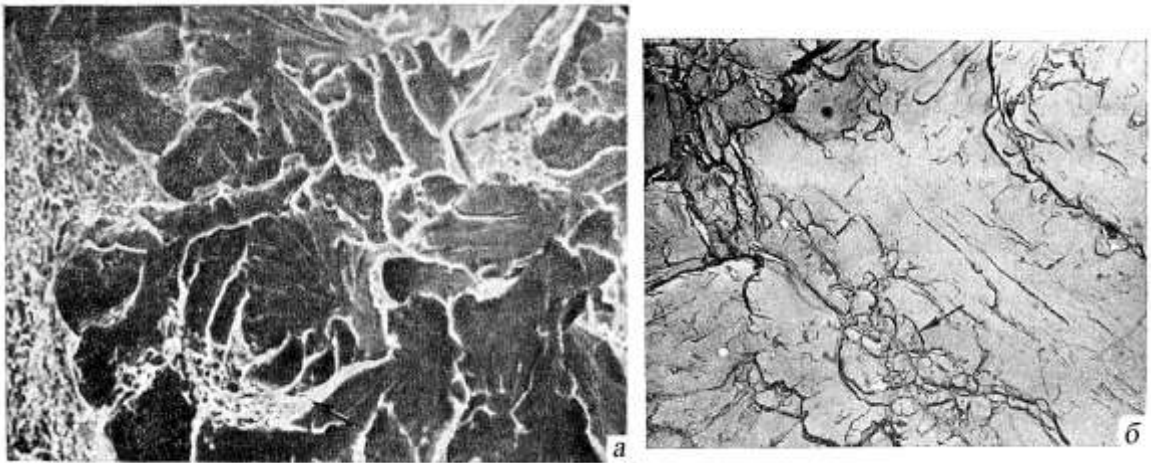


Рис. 2.10. Змішана будова зламу:
а – ПЕМ. X 2000; б – ПЕМ. X 2500; видно фасетки квазісколу, ділянки в'язкого руйнування, утворені за механізмом об'єднання мікропустот, гребні відриву, струмкоподібний візерунок

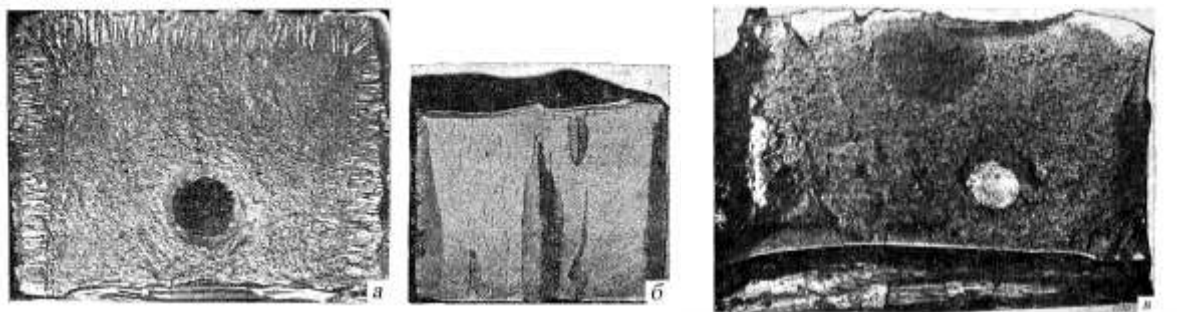


Рис. 2.11. Дефекти в зламах: а – зосереджена усадочна раковина; б – розширення; в – світла пляма

Але не всі дефекти й особливості будови металів можуть бути виявлені в зламі. Для виявлення дефектів, що порушують суцільність металів, виявлення хімічної неоднорідності сталі, виявлення неоднорідності сталі, що виникла в результаті гарячої обробки тиском і інших, застосовують макрошліфи.

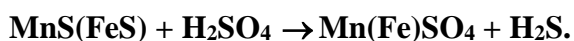
Не всі дефекти і особливості будови металів можуть бути виявлені в зламі.

Спеціальний зразок металу, вирізаний в певному місці деталі (заготовки), що має плоску шліфовану (іноді поліровану) поверхню, яка в залежності від мети дослідження протравлюється спеціальним реактивом називається **макрошліфом**.

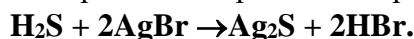
Макрошліфи мають звичайно великі розміри, тому відрізання заготовки для макрошліфа проводиться або на токарному верстаті, або механічною ножівкою. У випадку твердих сплавів заготовка відрізається тонким наждаковим каменем. Заторцювання площини макрошліфа роблять на токарному, фрезерному або плоскошліфувальному верстаті залежно від форми заготовки і її твердості. Заторцований макрошліф або відразу піддають травленню, або доводять вручну до більш гладкої поверхні, шліфуючи наждачним папером. При цьому водять по шліфі папером, а не навпаки. При переході з одного номера паперу на інший міняється напрямок шліфування на 90°. Процес виготовлення макрошліфа звичайно закінчується шліфуванням папером № 220...320. Макрошліфи не полірують, а для виявлення структури сплаву їх піддають травленню.

Для травників на сплав та ж, що й при мікротравленні (див. нижче), з тією лише різницею, що травлення макрошліфів проводять глибше більш міцними й сильно діючими реактивами.

Одним із поширених дефектів будови сталей є їхня хімічна неоднорідність або *ліквація*. Скупчення на окремих ділянках таких елементів, як сірка і фосфор, різко погіршують властивості сталі. Тому її якість залежить не тільки від концентрації шкідливих домішок, але і від їхнього розподілу в ній. Макроаналіз можна виявити в сталі дендритну і зональну ліквіацію вуглецю і шкідливих домішок – сірки, фосфору. При цьому макроаналіз дає якісну оцінку хімічної неоднорідності у великих перерізах (об'ємах). Характер розподілу сірки в сталі виявляють накладанням на поверхню макрошліфа фотографічного паперу, змоченого в 5%-ному розчині сірчаної кислоти. Сірка в сталі міститься у вигляді сульфідів MnS і FeS. На тих ділянках поверхні, де знаходяться сульфіди, при взаємодії з сірчаною кислотою відбувається реакція



Утворений сірководень вступає в реакцію з бромистим сріблом:



Сірчисте срібло має коричневе забарвлення. У зв'язку з цим поява на відбитку коричневих плям вказує на форму і характер розподілу сульфідів в сталі.

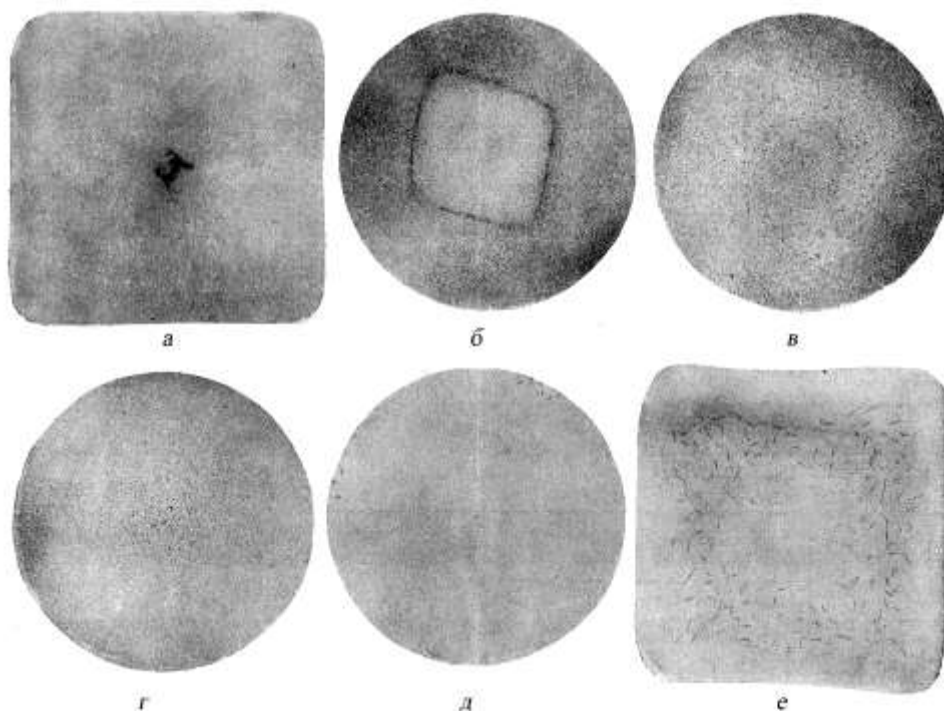


Рис. 2.12. Дефекти макроструктури сталі: а – залишки раковини зсідання; б – ліквіаційний квадрат; в – загальна пористість; г – центральна пористість; д – підіркові пухирці; е – флокени.

Для визначення ліквіації фосфору в сплавах на основі заліза звичайно використовують реактив Гейна, який складається із 35 г CuCl₂, 53 г NH₄Cl і 1000 мм H₂O. При травленні

шліфа відбувається обмінна реакція - залізо переходить в розчин, а мідь осаджується на шліфі. На ділянках, що містять більшу кількість фосфору, осаджується менше міді, і ці ділянки травляться сильніше. Після травлення шліф промивають струменем води, змиваючи мідь ватним тампоном. Ділянки зі скупченням фосфору мають більш темний колір, ніж інший метал. Цей же реактив одночасно виявляє і ліквідацію сірки.

На рис. 2.12 наведено декілька найбільш характерних макроструктур металів (сплавів).

На рис. 2.13, а показаний відбиток за Бауманом знятий з макрошліфа поздовжнього перерізу сталевого зливка. Чітко видно нерівномірний розподіл (макроліквіація) сірки по перерізу зливка.

На рис. 2.13 також показана макроструктура поздовжнього перерізу колінчастого вала із правильним (рис. 2.13, б) і неправильним (рис. 2.13, в) розташуванням волокон у сталі. Колінчастий вал (рис. 2.13, б) виготовлений шляхом правильного згину заготовки. Волокна сталі розміщені згідно з конфігурацією вала.

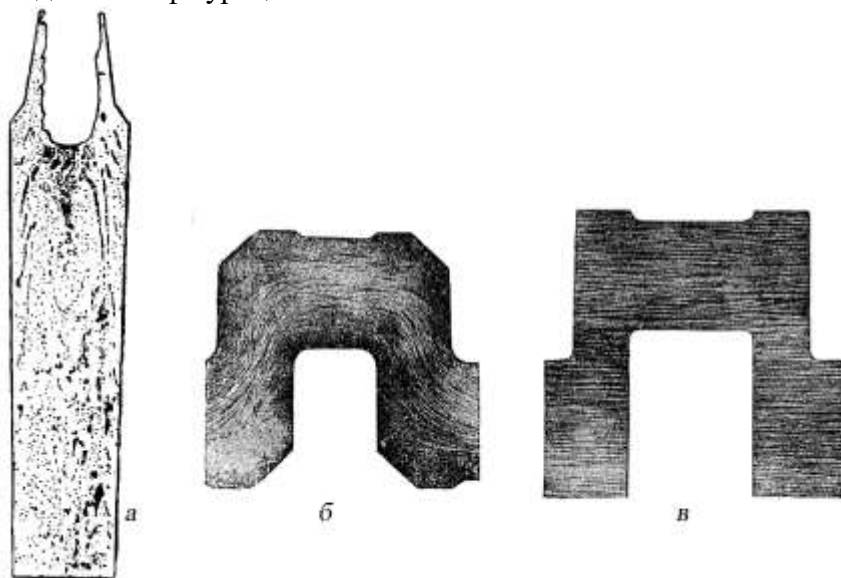


Рис. 2.13. Макроструктура поздовжнього перерізу зливка (а), поздовжнього перерізу колінчастого вала з правильним (б) і неправильним (в) розміщенням волокон в сталі

Колінчастий вал (рис. 2.13, в) виточений із заготовки, викуваної зі зливка шляхом витяжки його уздовж осі. Волокна сталі розташовані паралельно осі вала, що спричиняє різке зниження ударної в'язкості сталі в місці переходу від щоби до шийки вала.

Найбільш частим і характерним є застосування мікроаналізу для контролю зварних з'єднань. Його проводять на макрошліфах, які травлять у спеціальниках травниках.

Дефектами зварних з'єднань є:

- 1) непровар – місцеве несплавлення металу внаслідок неповного розплавлення країв заготовок;
- 2) підріз зони оплавлення – місцеве заглиблення вздовж лінії сплавлення зварного шва;
- 3) тріщини (поздовжні, поперечні, розгалужені, мікротріщини, сітка тріщин) зварного з'єднання, розрив у зварному шві і прилеглих до нього зонах;
- 4) пори зварного шва – порожнини округлої форми заповнені газом;
- 5) неметалеві включення – шлакові, окисні і інші частинки в металі шва.

Мікроскопічним аналізом (мікроаналізом) називається дослідження структури металів і сплавів за допомогою оптичного мікроскопа при збільшенні від 50 до 2000 раз. Його використовують для визначення форми і розмірів кристалічних зерен; для виявлення змін внутрішньої будови сплаву, що відбуваються під впливом різних режимів термічної або

хіміко-термічної обробки, пластичної деформації; для виявлення мікротріщин, неметалевих вкраплень; для виявлення фазового і хімічного складу структурних складових, базуючись на характерній для них формі і харак-терному забарвленню спеціальними реактивами.

Мікроаналіз складається з таких етапів:

- а) приготування мікрошліфів;
- б) травлення мікрошліфів;
- в) дослідження дефектів структури металів та сплавів під мікроскопом.

Виготовлення мікрошліфів розпочинається з підготовки зразка, який вирізають з готового виробу або заготовки. Вибір місця вирізання зразка диктується метою металографічного дослідження. Наприклад, якщо необхідно визначити природу дефекту в металі, тоді зразок вирізається таким чином, щоб площа шліфу перетинала цей дефект.

Відрізання зразка для мікрошліфу проводиться ножівкою або на токарному верстаті. Досліджувану поверхню заторцьовують на площину за допомогою абразивного матеріалу або напилка.

Отриману плоску поверхню зразка шліфують на спеціальному шліфувальному (наждачному) папері з абразивними зернами різних розмірів. Шліфувати можна вручну або на механічному верстаті.

Відшліфований зразок піддається поліруванню, під час якого усуваються подряпинки від шліфування і поверхня зразка стає блискуче дзеркальною. Шліфи полірують на плоскій коловій поверхні, покритій сукном, яка обертається електродвигуном. Сукно змочують водою з дрібним порошком окису алюмінію або хрому.

Після полірування шліф промивають водою, потім спиртом, і сушать, прикладаючи (не витираючи) до фільтрувального паперу.

Поверхня правильно відшліфованого і відполірованого зразка повинна бути плоскою і блискучою (дзеркальною). *Зразок металу, спеціально підготовлений для дослідження його структури під мікроскопом, називається мікрошліфом.*

Полірований шліф металу під мікроскопом має вигляд світлого кола. Щоб виявити структуру, відполіровану поверхню піддають травленню, наприклад, якою-небудь кислотою, розчиненою в етиловому спирті або воді (ступінь дисоціації кислот в етиловому спирті менший, ніж у воді, тому і травлення поверхні шліфу в кислоті, розчиненій у спирті, відбувається більш повільно і рівномірно). Для травлення мікрошліф занурюють на нетривалий час (найчастіше на декілька секунд) у реактив. Іноді доцільно наносити реактив на поверхню шліфа піпеткою. Час травлення різний для різних сплавів. Розглядаючи протравлений шліф під мікроскопом, можна визначити чи достатньо витравлена структура. Якщо структура проглядається нечітко, тоді шліф травлять додатково.

Слід звернути увагу на те, що якщо в результаті шліфування і полірування на поверхні мікрошліфу утворилася плівка деформованого металу, то спочатку вона буде травитися погано, але при усуненні цієї плівки інтенсивність травлення збільшується. Повторне полірування і травлення полегшують отримання мікро-шліфів належної якості.

Поверхня шліфу, зануреного в реактив (електроліт) є багатоелектродним гальванічним елементом, що складається з великої кількості мікроскопічних електродів. Структурні елементи сплаву, які мають найбільший електровід'ємний електродний потенціал, відіграють роль мікроскопічних анодів і розчиняються, утворюючи впадини на поверхні шліфа, а ділянки, що є катодами, залишаються незмінними. У результаті травлення на поверхні шліфу утворюються виступи і заглибини, які характеризують мікроструктуру сплаву (рис. 2.14).

Мікроструктуру, звичайно, розглядають під спеціальним металографічним мікроскопом, специфічною особливістю якого є спостереження об'єкта у відбитому світлі. Якщо, наприклад, відпалену доевтектоїдну сталь, структура якої складається з фериту і перліту, протравити 4% розчином пікринової кислоти в спирті, то під мікроскопом перліт буде мати вид темних зерен, а ферит - світлих. Оптично різну забарвленість перліту і фериту можна пояснити тим, що від фериту в об'єktiv променів відбилось значно більше, ніж від перліту, тобто зерна перліту мають менш рівну поверхню і багато променів внаслідок їх

розсіювання не потрапило в об'єктив. Отже, дія реактиву на різні структурні складові різна. Перліт, маючи двофазну структуру, піддається більшому електрохімічному розчиненню, ніж ферит. На цій різниці в стані поверхні і кількості відбитих променів і базується виявлення структури сплаву.

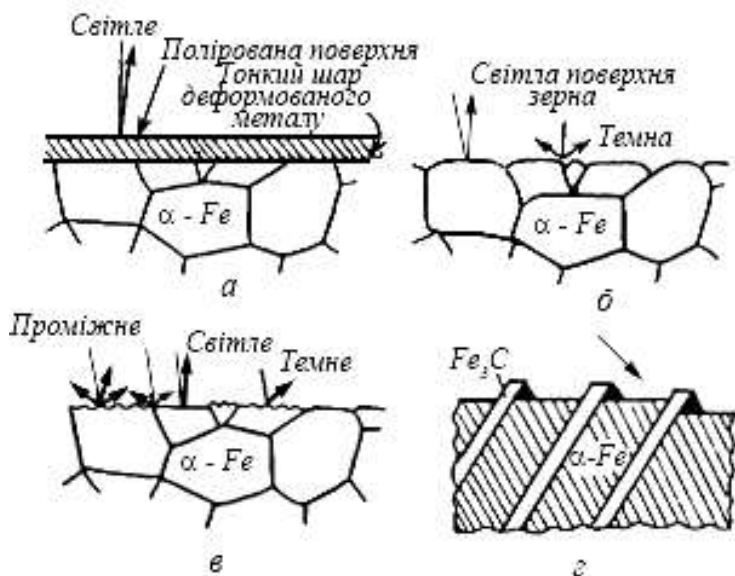


Рис. 2.14.
Схема виявлення мікроструктури в процесі травлення: а – недостатнє травлення; б – легке травлення; в – сильне травлення; з – різна розчинність цементиту (Fe_3C) і фериту ($\alpha - Fe$) в реактиві

Таким чином, мета травлення полягає в тому, щоб шляхом різного впливу на сплав (травленням, окисленням при нагріванні тощо) штучно викликати в ньому неоднакове відбивання світла різними структурними складовими, щоб одержати різкі межі, що відділяють одне зерно від іншого.

Чим менше зерно структури, тим швидше травиться шліф, оскільки чим більша кількість гальванічних мікроелементів на одиницю поверхні, тим інтенсивніше йде розчинення.

ПРОГРАМА ПІДГОТОВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Вивчити теоретичний матеріал за даним посібником та зазначеними нижче літературними джерелами.
2. Вивчити методику виготовлення макро- і мікрошліфів та методику їхнього травлення.
3. Вивчити будову і принцип дії металографічного мікроскопа.
4. Зарисувати схему виявлення мікроструктури при травленні і пояснити її.
5. Дати письмові відповіді на контрольні запитання.

ЗАВДАННЯ Й МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

Завдання 1. Визначення ліквіації сірки

1. Поверхню макрошліфу після шліфування шліфувальним папером для усунення пилу і бруду протерти ватою, змоченою спиртом.
2. Фотопапір змочити на світлі 3-5% водним розчином сірчаної кислоти протягом 5-10 хв.
3. Мокрий папір трохи підсушити між листками фільтрувального паперу.
4. Підсушений фотопапір ретельно накласти на підготовлений макрошліф і злегка притиснути гумовим валиком. При цьому усуваються бульбашки повітря і газів, що скупчилися між поверхнею макрошліфа і фотопаперу. Час витримки паперу на макрошліфі

не повинен перебільшувати 3 хв. Зсув фотопаперу по макрошліфу не допустимий, оскільки це призведе до спотворення відбитка.

5. Знятий фотопапір спочатку витримати в гіпосульфіді, промити у воді, висушити, а потім вивчити і дати аналіз макроструктури.

Завдання 2. Визначення ліквіації вуглецю (глибини загартованого шару)

1. Поверхню макрошліфу протерти ватою, змоченою в спирті.
2. Макрошліф занурити шліфованою поверхнею в реактив Гейна (час витримки не менше 30 с).
3. Макрошліф вийняти із реактиву і мокрою ватою (або фільтрувальним папером) усунути шар міді з поверхні; просушити, вивчити і зробити аналіз.

Завдання 3. Вивчення типових поверхонь руйнування зразків

Використовуючи альбом з фотографіями поверхонь руйнування, вивчити поверхні руйнування тих зразків, що є в лабораторії, зарисувати їх і описати. Визначити характер руйнування.

Завдання 4. Дослідження мікроструктури сталевих зразків

1. Виготовити мікрошліф.
Оглянути зразок, вибрати поверхню для шліфування. Провести послідовне шліфування зразка у взаємно перпендикулярних напрямках за допомогою шліфувального паперу від крупно- до дрібнозернистого. Відполірувати зразок на полірувальному верстаті (на повстяному або фетровому крузі із суспензією абразиву). Після полірування шліф промити водою, потім спиртом і просушити, прикладаючи до шліфувального паперу.
2. Протравити мікрошліф.
Вибрати необхідний реактив. Протравити підготовлений (відполірований) шліф. Промити шліф у проточній воді, промити в спирті, просушити фільтрувальним папером і розмістити в ексікаторі для зберігання.
3. Налаштувати мікроскоп до роботи і дослідити мікроструктуру підготовленого мікрошліфу.
Після закінчення роботи вимкнути мікроскоп із сітки, скласти мікрошліфи в ексікатор, накрити мікроскоп накидкою.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що називається макроструктурою і макрошліфом? Яким способом вивчають макроструктуру? З якою метою використовують аналіз макроструктури? Як підбирають і готують макрошліфи для макроаналізу?
2. Як виявляють ліквіацію сірки і фосфору в сплавах на основі заліза?
3. Які дефекти можна виявити аналізуючи поверхню руйнування?
4. Які дефекти можна виявити при аналізі поверхонь руйнування?
5. Що таке злам? Які види зламів виникають при руйнуванні металу? Зарисуйте схему будови зламу.
6. Що таке скол, квазіскол, фасетки, ямки, гребені відриву, сходинки? Вкажіть характерні ознаки і відмінності: фасеток сколу і квазіскол; гребенів відриву; сходинок; внутрішньозеренного крихкого, квазікрихкого і в'язкого зламів; міжзеренного крихкого в'язкого і мішаного зламів.
7. Що називається мікрошліфом і мікроструктурою? Як проводиться вирізання заготовок для мікрошліфів? Які їх розміри і як здійснюється попередня підготовка поверхні? Як проводять шліфування, полірування і травлення мікрошліфів? Чим закінчується цей процес? Чому структура металу проявляється на шліфі тільки після травлення?
8. Пояснити різницю у принципі дії металографічного і біологічного мікроскопів?

Лабораторна робота № 3

ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК МІЦНОСТІ І ПЛАСТИЧНОСТІ МЕТАЛІВ

Мета: Набути практичні навички з техніки випробувань сплавів на розтяг; навчитися визначати показники міцності і пластичності за діаграмою розтягу і результатами дослідження зразків.

Обладнання, матеріали та інструменти

Розривна машина, штангенциркуль, молоток, кернер, зразки металів для випробувань.

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Метали та сплави мають найрізноманітніші властивості, які прийнято поділяти на фізичні, хімічні, технологічні, експлуатаційні або службові і механічні.

Фізичними називаються властивості, що визначають поведінку матеріалів у фізичних полях: теплових, гравітаційних, електромагнітних і радіаційних. До фізичних властивостей відносять колір, температуру плавлення і т.д.

Під **хімічними** властивостями розуміють здатність металів і сплавів вступати в хімічну взаємодію з іншими речовинами, протистояти окисленню і руйнуванню під дією зовнішнього середовища (вологи, повітря, кислоти, луку та ін.), а також протидіяти проникненню всередину газів і хімічно активних речовин. Характерним прикладом хімічної взаємодії середовища і металів є корозія.

Технологічні властивості характеризують здатність металу піддаватися технологічній обробці, метою якої є надання йому певної форми, розмірів і властивостей. До них відносять здатність металу піддаватися обробці різанням, зварюватися, прогартовуватися, ливарні властивості та ін. Технологічні властивості визначають за допомогою технологічних проб.

Експлуатаційні або службові властивості характеризують поведінку матеріалів в умовах експлуатації. Залежно від умов роботи машини або конструкції визначають холодостійкість, жаростійкість, жароміцність тощо.

Механічні властивості характеризують поведінку матеріалів під впливом різного роду зовнішніх навантажень. У переважній більшості випадків ці властивості є найважливішими. Тому всі відповідальні деталі в основному виготовляються із металів, але не із пластмас, скла чи деревини, оскільки метали мають кращі механічні властивості, ніж неметали, а отже, можуть забезпечити більшу надійність деталей машин, механізмів та різних конструкцій.

Більшість деталей машин під час експлуатації зазнає дії зовнішніх сил. При цьому характер дії зовнішніх сил може бути різний. Іноді зовнішня сила діє постійно протягом тривалого проміжку часу, або статично, іноді – протягом короткого проміжку часу і має ударний характер. В останньому випадку навантаження має динамічний характер. Нарешті, можлива тривала дія сили, що багаторазово повторюється. В цьому випадку зусилля має пульсуючий повторно-змінний або циклічний характер.

Щоб оцінити величину навантажень, що діють на деталі працюючих машин без врахування розмірів деталі, введено поняття механічного напруження.

Напруження, які виникають під дією зовнішніх навантажень, звичайно розглядають як питому характеристику внутрішніх сил. **Напруження** – значення внутрішніх сил, віднесені до одиниці площі перерізу, на яку ці сили діють.

Виникаючі в тілі напруження залежать від величини прикладених зовні сил (чим ці сили більші, тим більші виникають напруження) і від розмірів тіла (чим більша площа поперечного перерізу тіла, тим менші напруження в ньому виникають при одному і тому ж значенні прикладених сил). У випадку одновісного розтягу стержня напруження σ в його

поперечному перерізі визначається відношенням діючої (перпендикулярно до перерізу) розтягуючої сили F до площі поперечного перерізу стержня S :

$$\sigma = P/S.$$

Напруження викликають деформацію деталей. Розрізняють пружну і пластичну деформацію. Причому метал, що піддається дії зовнішніх сил, спочатку зазнає пружної деформації, а потім, із збільшенням навантаження, пластичної.

Пружною називають таку деформацію, що зникає після того, як навантаження, що її спричинило, знімається. Залишкових змін структури і властивостей металу пружна деформація не викликає.

Пластичною називають таку деформацію, що не зникає після того як навантаження знімається. Пластична деформація викликає необоротні зміни структури і властивостей металу.

Характер деформації тіла залежить від виникаючих в ньому напружень.

Для того щоб вибрати, який метал може бути використаний для виготовлення тієї або іншої деталі чи конструкції, необхідно знати його механічні властивості. Щоб судити про ці властивості метали піддають випробуванням на спеціальних приладах і машинах.

Випробування механічних властивостей вирізняються великою різноманітністю, залежно від того, яким способом діють навантаження на досліджуваний зразок металу. Є спеціальні машини і прилади для впливу на метал повільно діючими, статичними навантаженнями або швидкими ударними, динамічними; на цих машинах можна випробовувати зразки на розтяг, стиск, згин, кручення, удар тощо.

Для проведення механічних випробувань металів з них попередньо виготовляють зразки встановлених розмірів і форм. Результати випробувань прийнято вимірювати певними одиницями. Це необхідно для того, щоб отримані після випробування дані можна було легко порівняти. Для практичних цілей особливе значення мають випробування на розтяг, так як цим способом визначаються такі важливі властивості металів, як міцність, пружність, пластичність.

Міцністю називається здатність металу чинити опір дії зовнішніх сил, не руйнуючись. При випробуванні на розтяг міцністю можна назвати опір, який метал здатний чинити при його розриві.

Для випробування міцності металів застосовують розривні машини різної конструкції і будови. Основними частинами розривної машини є механізми, що служать для розтягу зразка, і прилад, який вимірює величину зусилля, прикладеного до зразка. На рис. 3.1 зображена розривна машина найбільш поширеного типу. Вона може працювати на розтяг, стиск і згин. Машина має такі основні частини:

а) механізм навантаження, що складається із електродвигуна 7, встановленого на станині; коробки швидкостей 10, захватів; ходового гвинта 5; важіль 11 служить для перемикання коробки швидкостей, яка дає дві швидкості деформації; рукоятка 6 служить для швидкого пересування нижнього захвата 2 і ходового гвинта 5;

б) силівимірювальний механізм, що складається із системи важелів, маятника 12 з вантажем, рейки 13, діаграмного апарата 14 і шкали 4 із стрілкою.

Досліджуваний зразок закріплюється в захватах. Закладання зразка відбувається шляхом піднімання або

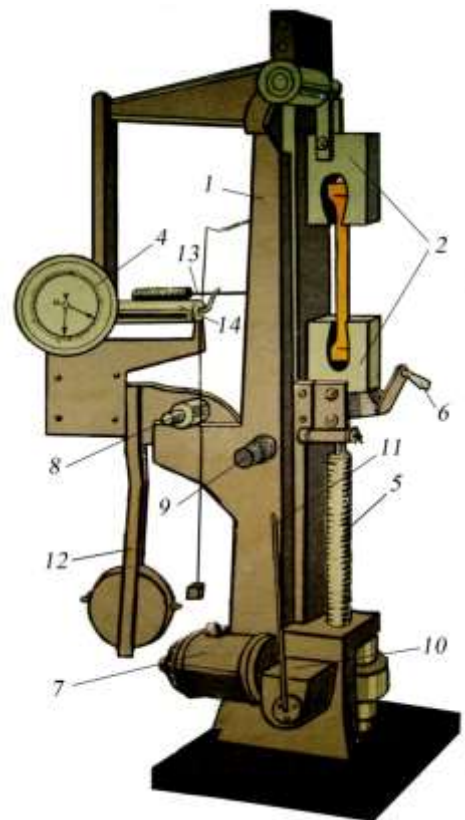


Рис. 3.1. Машина для випробування металів на розтяг

опускання нижнього захвата до необхідного положення. Підйом або опускання нижнього захвата здійснюється обертанням рукоятки 6. Після встановлення зразок дещо навантажують, пересуваючи (обертаючи) гвинт 5 рукояткою 6. Зразок навантажують за допомогою електродвигуна 7 або вручну рукояткою 6. При користуванні двигуном рукоятку 6 необхідно зняти. Вмикають і вимикають двигун перемикачем 8.

Перед випробуванням стрілку на шкалі 4 необхідно встановити на нуль. Шкалу маятника і вантаж вибирають залежно від передбачуваного максимального навантаження.

Верхній захват закріплений на станині нерухомо, а нижній захват за допомогою електродвигуна повільно опускається під час випробувань, піддаючи зразок розтягу. Навантаження на зразок у будь-який момент випробування може бути визначене за положенням стрілки на вимірювальній шкалі 4.

Щоб виключити вплив розмірів зразків, випробування на розтяг проводять на стандартних зразках (рис. 3.2) з певним співвідношенням між розрахунковою довжиною l_0 і початковим діаметром d_0 . Найбільш широко застосовують зразки круглого перерізу: довгі з $l_0/d_0 = 10$ або короткі з $l_0/d_0 = 5$ (де d_0 – вихідний діаметр зразка).

Якщо дозволяє профіль металу, зразок виточують на токарному верстаті, надаючи йому такі розміри: діаметр 20 мм і довжину 200 мм або діаметр 10 мм і довжину 100 мм.

Ці розміри встановлені тільки для основної або робочої частини зразка, яка піддається дії навантажень.

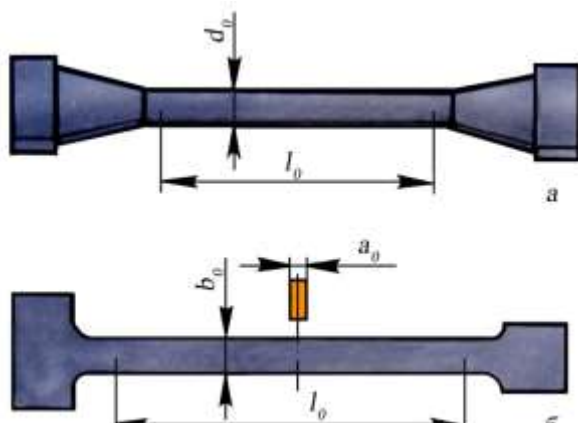


Рис. 3.2. Зразки металу для випробування на розтяг: а – круглий, б – плоский

Головки зразків, призначені для установки в захвати машини, і заокруглення перехідної частини мають також певні розміри. На рис. 3.2 зображені типові зразки для випробування на розтяг. Робоча частина зразків обробляється з більшою точністю і має гладеньку поверхню. Довжина зразка l_0 , що вибирається при вирахуванні результатів випробувань, називається *розрахунковою довжиною*.

Якщо профіль металу не дозволяє виготовити зразки вказаних розмірів, наприклад якщо це листовий метал, для випробування виготовляють плоскі зразки. Дослідження міцності труб, тонких прутків і

проволоки проводиться в натуральному вигляді, тобто без виготовлення зразків. В цьому випадку міцність визначають відношенням найбільшого навантаження P , що передувало розриву зразка до площі початкового поперечного перерізу S_0 . Таким способом можна знайти показники, зручні для порівняння міцності різних металів при будь-якому розмірі і перерізі зразків.

Відношення величини максимального навантаження P_v до площі початкового поперечного перерізу зразка S_0 називається межею міцності при розтягу даного металу: $\sigma_v = P_v/S_0$.

Відомості про межу міцності на розтяг деяких чистих металів приведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1. Межа міцності деяких металів при випробуванні на розтяг

Метал	σ_v	Метал	σ_v	Метал	σ_v	Метал	σ_v
Свинець	1,8	Алюміній	8 – 11	Мідь	22	Нікель	50
Олово	2,0	Цинк	15	Залізо	25	Вольфрам	150

Пружністю називається здатність металів змінювати форму під дією навантаження і відновлювати форму після припинення дії навантаження. Характеристику цієї властивості можна отримати при випробуванні на розтяг таким чином. Для того щоб визначити, яку пружність має даний метал, на розривній машині поступово збільшують навантаження на

зразок і спостерігають за його видовженням. До тих пір поки навантаження не досягне певної величини; видовження зразка кожен раз зникає при зніманні навантаження. Отже, в цих умовах зразок залишається розтягнутим тільки під дією навантаження, а після знімання його повертається до попередньої довжини, тобто веде себе, як всі пружні тіла.

Коли навантаження досягне певної величини, видовження зразка після знімання навантаження повністю уже не зникає. Зразок залишається дещо розтягнутим або, як говорять, отримує залишкове видовження. Випробування металу на пружність і полягає в знаходженні того найбільшого навантаження P_1 після знімання якого зразок металу ще виявляється здатним відновлювати свою початкову довжину.

Щоб мати можливість порівнювати пружність різних металів, необхідно враховувати розміри зразка. Тому, як і при визначенні межі міцності на розтяг, потрібно знайти відношення максимального навантаження P_1 до площі початкового поперечного перерізу зразка S_0 .

Знайдена таким шляхом величина називається межею пружності, тобто межею пружності називається відношення найбільшого навантаження, що не викликає залишкового видовження зразка до площі його початкового поперечного перерізу $\sigma_{пр} = P_1/S_0$.

Звичайно, для визначення навантажень, що допускаються на різні робочі деталі машин, знання межі пружності металу, із якого виготовлені ці деталі, є абсолютно необхідним, оскільки навантаження вище межі пружності приводить до зміни форми деталей і до виходу їх із ладу.

Величина межі пружності у металів дуже різна. Наприклад, у свинцю вона складає $\sigma_{пр} = 0,25 \text{ кг/мм}^2$, у міді - $2,5 \text{ кг/мм}^2$, у деяких сталей - 30 і більше кг/мм^2 .

Пластичністю називається здатність металу, не руйнуючись, змінювати форму під дією навантаження і зберігати змінену форму після того, як навантаження перестав діяти.

Пластичність металів визначається також при випробуванні на розтяг. Під дією навантаження зразки різних металів видовжуються різною мірою, а їхній поперечний переріз стає меншим. Чим більше зразок здатний видовжуватися, а його поперечний переріз звужуватися, тим більш пластичний метал досліджуваного зразка.

В той же час крихкі метали під дією навантаження руйнуються без зміни форми. При випробуванні на розривній машині руйнування крихких зразків відбувається без видовження, раптово.

Крихкість є негативною властивістю. В техніці використовують не тільки міцний, але в певній мірі і пластичний метал.

При випробуванні на розтяг пластичність характеризується показниками відносного видовження і відносного звуження.

Величина відносного видовження визначається таким чином. Спочатку вираховується загальне видовження зразка при розриві, тобто із його довжини в момент розриву l_k вираховується початкова довжина l_0 (див рис. 3.2, 3.3), Отримана різниця $l_k - l_0$ могла б служити показником пластичності металів тільки в тому випадку, якби довжина зразків для випробування була завжди однаковою.

При різній же початковій довжині зразків величина їх видовження для порівняння пластичності металів є недостатньою, так як довгі зразки із одного і того ж металу будуть видовжуватися при розриві більше, ніж короткі.

Тому, щоб мати можливість порівнювати пластичність різних металів, необхідно враховувати, яка початкова довжина зразка, і яке він отримав видовження при розриві відносно початкової довжини.

Відносне видовження прийнято позначати δ і чисельно виражати в процентах по відношенню до початкової довжини зразка.

Отже, загальний вираз для розрахунку величини відносно видовження має такий вигляд:

$$\delta = (l_k - l_0) 100\% / l_0,$$

де l_k - довжина зразка в момент розриву; l_0 - початкова довжина зразка.

Відносне звуження – це відношення зменшення площі поперечного перерізу зразка при розриві до початкової площі поперечного перерізу. Величина звуження, що позначається ψ , визначається за формулою:

$$\psi = (S_0 - S_k) \cdot 100\% / S_0,$$

де S_0 - площа поперечного перерізу до початку випробування; S_k – площа поперечного перерізу в місці розриву зразка.

Показники δ і ψ дозволяють судити про пластичність металів з достатньою повнотою. Числові величини відносного видовження деяких металів приведені в табл. 3.2

Таблиця 3.2. Відносне видовження деяких металів в %

Метал	δ	Метал	δ	Метал	δ	Метал	δ
Цинк	20	Олово	40	Свинець	45	Нікель	50
Алюміній	40	Залізо	45	Мідь	50	Вольфрам	0

Отже, випробування на розтяг дозволяють визначити такі важливі механічні характеристики металів як міцність, пружність і пластичність. Ці показники можна отримати одночасно із діаграми розтягу, яка автоматично викреслюється особливим механізмом розривної машини.

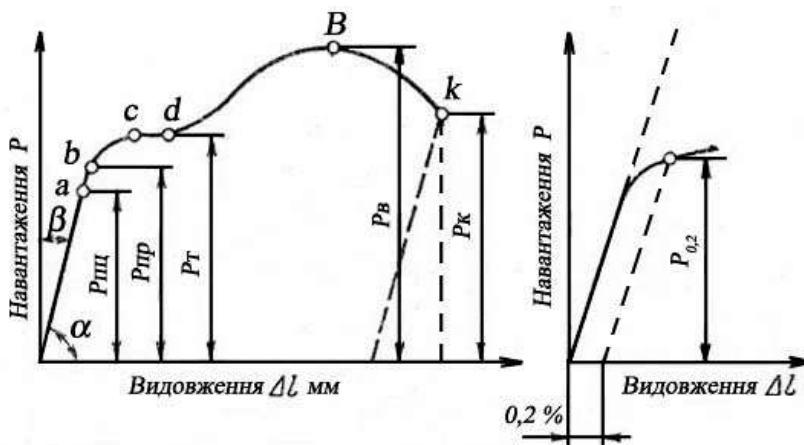


Рис. 3.4.
Діаграма розтягу
низьковуглецевої сталі і
схема визначення умовної
межітекучості ($\sigma_{0,2}$)

На рис. 3.4 показана діаграма розтягу низьковуглецевої сталі. По вертикалі на діаграмі відкладені значення величини навантаження, що прикладаються до зразка. На горизонтальній лінії – видовження зразка в різні моменти випробування. Будь-яка точка на кривій діаграми показує стан зразка в залежності від величини навантаження, тобто його напруження, що характеризується відношенням величини навантаження до початкової площі поперечного перерізу.

Відрізок прямої від початку координат до точки **a** показує, що між навантаженням, прикладеним до зразка і його видовженням, існує пропорційна залежність, тобто в скільки раз збільшилося навантаження, в стільки ж раз видовжився зразок.

Навантаженню в точці **a**, що визначає кінець прямолінійної ділянки діаграми, відповідає границя пропорційності. При більшому навантаженні пропорційна залежність між навантаженням і видовженням зразка порушується: видовження росте швидше, ніж навантаження.

Межа пропорційності це максимальне напруження, до якого зберігається лінійна залежність між навантаженням і деформацією

$$\sigma_{пц} = R_{пц} / S_0.$$

Оскільки при визначенні положення точки **a** на діаграмі можуть бути похибки, звичайно користуються умовною границею пропорційності, під якою розуміють напруження, що викликає певне відхилення від лінійної залежності, наприклад $\tan \alpha$ змінюється на 50% від свого початкового значення.

За точкою **b** діаграми розтягу можна визначити *межу пружності*. Однак на практиці користуються *умовною межею пружності*, під якою розуміють напруження, що викликає залишкову деформацію 0,005-0,05% від розрахункової довжини зразка. В позначенні умовної границі пружності вказують значення залишкової деформації $\sigma_{0,05} = P_{0,05} / S_0$.

При подальшому збільшенні навантаження криволінійна ділянка діаграми розтягу **bc** при випробуванні пластичних матеріалів може перейти в горизонтальну. Це свідчить про те, що метал деформується, "тече" без збільшення навантаження. За навантаженням точки **c** на діаграмі визначають фізичну границю текучості: $\sigma_T = P_T / S_0$.

Фізична межа текучості – напруження, при якому проходить збільшення деформації при постійному навантаженні.

При випробуванні більшості технічних металів і сплавів площадка текучості на діаграмі відсутня. В цьому випадку визначають *умовну межу текучості* за навантаженням, при якому залишкове видовження зразка складає 0,2% від його початкової довжини: $\sigma_{0,2} = P_{0,2} / S_0$.

Напруження, що відповідає найбільшому навантаженню, яке здатний витримати зразок, не руйнуючись, називається *тимчасовим опором розриву (межею міцності)*. Межа міцності визначається за формулою: $\sigma_B = P_B / S_0$.

Зменшення навантаження після точки **B** (рис. 4.4) пов'язане з утворенням місцевого звуження поперечного перерізу (шийки) у пластичних металів. На відріжку діаграми **вк**, навантаження падає, але напруження збільшується. Максимальне напруження перед руйнуванням зразка – дійсний опір розриву $\sigma_K = P_K / S_K$, де S_K – площа мінімального поперечного перерізу зразка після розриву.

ПРОГРАМА ПІДГОТОВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Вивчити теоретичний матеріал за даним посібником та приведеними нижче літературними джерелами.
2. Вивчити методику проведення випробування сплавів на розтяг.
3. Зарисувати діаграму розтягу низьковуглецевої сталі і вказати на ній характерні точки. Записати в зошит означення і формули для тих механічних характеристик, які можна визначити за діаграмою розтягу.
4. Зарисувати форму зразків для випробування на розтяг.

ЗАВДАННЯ Й МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

1. Вивчити будову і принцип дії розривної машини, її технічну характеристику. Ознайомитися з правилами техніки безпеки при роботі на машині.
2. Підготувати кожний зразок для випробування на розтяг, для чого:
 - а) переконатися, що на його робочій частині немає дефектів;
 - б) виміряти діаметр d_0 і довжину зразка l_0 , намітити попередньо на робочій частині кернером дві точки, що обмежують його розрахункову довжину (круглі зразки необхідно виміряти у двох взаємно перпендикулярних напрямках і трьох перерізах);
 - в) визначити площу поперечного перерізу зразка S_0 , m^2 , за розрахунковий діаметр прийняти найменше значення діаметра.
3. Провести випробування зразка на розривній машині і записати діаграму розтягу.
4. Виміряти після розриву зразка його діаметр в місці розриву d_K і довжину l_K (мм), прикладаючи обидві розірвані частини якомога щільніше одна до одної.
5. Визначити площу поперечного перерізу зразка в місці розриву S_K .
6. Дані вимірювань і розрахунків записати в табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Розмір зразків, мм						Навантаження, Н					Механічні властивості						
До випробування			Після випробування								$\sigma_{пц}$	$\sigma_{пр}$	$\sigma_T (\sigma_{0,2})$	σ_B	S_K	δ	ψ
l_0	d_0	F_0	l_k	d_k	F_k	$R_{пц}$	$R_{пр}$	$R_T (R_{0,2})$	R_B	R_K	МПа					%	

7. За одержаними значеннями $\sigma_T (\sigma_{0,2})$, σ_B , δ , ψ , (з використанням довідникової літератури) встановити приблизно марку сталі, з якої виготовлявся досліджуваний зразок.

8. Використовуючи довідникову літературу знайти і записати в зошит основні механічні властивості 10 різних марок конструкційних матеріалів (в самостійно складену таблицю).

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. На які п'ять груп поділяються властивості металів і сплавів? Які властивості матеріалів називаються фізичними, хімічними, експлуатаційними або службовими, технологічними, механічними? Навести приклади цих властивостей.

2. Описати будову і принцип дії розривної машини та методику проведення випробувань на розтяг.

3. Що називається міцністю, пластичністю, пружністю? Для чого потрібно знати ці механічні характеристики металів?

4. Які механічні характеристики металів можна визначити за діаграмою розтягу? Дати означення цих характеристик і записати формули, за якими вони визначаються.

5. Навести приклади значень границь міцності, відносних видовжень і звужень основних конструкційних матеріалів.

Лабораторна робота № 4 ВИЗНАЧЕННЯ ТВЕРДОСТІ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ

Мета: 1. Ознайомитися з методами визначення твердості металів.

2. Навчитися самостійно визначати твердість методами Брінелля і Роквелла.

Обладнання, матеріали та інструменти

Прес типу Брінелля; прилад типу Роквелла, мікроскоп Брінелля, пристрій для заточування зразків, комплекти досліджуваних зразків.

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

У лабораторних і заводських умовах застосовують різні способи визначення твердості металів для характеристики їхніх механічних властивостей. Твердість металів вимірюють за допомогою впливу на поверхню металу наконечника (індентора), виготовленого із матеріалу, що практично не деформується (алмазу, загартованої сталі або з твердого сплаву) з і має певну геометричну форму (кулька, конус, піраміда або голка). Існує декілька способів вимірювання твердості, що відрізняються за характером впливу індентора (наконечника). Твердість можна визначити втискуванням наконечника (спосіб втискування), дряпання поверхні (спосіб дряпання), ударом або ж за відскоком наконечника-кульки. Твердість, визначена дряпанням характеризує опір руйнуванню (для більшості металів шляхом зрізу);

твердість, визначена за відскоком, характеризує пружні властивості; твердість, визначена втискуванням, – опір пластичній деформації.

Найбільше застосування одержало вимірювання твердості втискуванням. У результаті втискування з достатньо великим навантаженням поверхневий шар металу, що перебувають під наконечником і поблизу від нього, зазнають пластичної деформації. Після того, як навантаження знімається, на поверхні зразка (виробу) залишається відбиток. Особливість цієї деформації в тому, що вона відбувається тільки у невеликому об'ємі, оточеному недеформованим металом. У таких умовах випробування, близьких до всебічного нерівномірного стискування, виникають головним чином дотичні напруження, а доля розтягуючи напружень незначна порівняно з напруженнями, що виникають при інших видах механічних випробувань (на розтяг, згин, кручення, стискування). При вимірюванні твердості втискуванням пластичну деформацію одержують не тільки пластичні метали, але і непластичні (наприклад, чавун), що при звичайних механічних випробуваннях (на розтяг, згин, кручення, стискування) руйнуються за крихким механізмом майже без макроскопічно помітної пластичної деформації.

Отже, твердість характеризує здатність матеріалу чинити опір місцевій пластичній деформації і є механічною властивістю металу, що відрізняється від інших його механічних властивостей способом вимірювання.

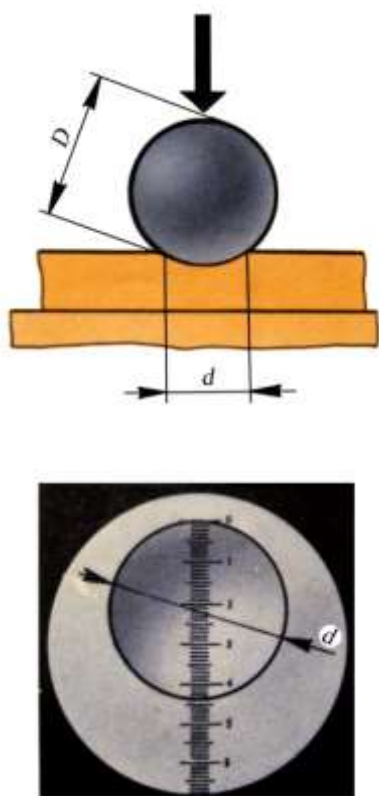


Рис. 4.1.
Схема визначення твердості
за Брінеллем

Малий об'єм деформованого металу, можливість проведення випробувань на поверхнях тіл різної форми і розмірів, на деталях невеликої товщини і в дуже тонких шарах металу, не користуючись спеціально виготовленими зразками, швидкість і простота випробування, а також можливість без руйнування виробу судити про його властивості внаслідок існування кількісної залежності між твердістю пластичних металів і іншими механічними властивостями (головним чином межі міцності σ_B) роблять випробування на твердість незамінним виробничим методом масового контролю металу.

Значення твердості, так само як і інших механічних властивостей, залежать від хімічного складу і структури металу, тому вимірювання твердості широко використовують у промисловості для оцінки властивостей деталей і якості термічної обробки.

Оскільки в процесі вимірювання твердості деталь не руйнується, тому цю властивість контролюють постійно, в той час як характеристики міцності і пластичності – вибірково.

Залежно від форми індентора (кулька, конус, піраміда) і величини, що вимірюється (відношення навантаження до площі одержаного відбитка), розрізняють три основних стандартних методи вимірювання твердості матеріалів: за Брінеллем, Роквеллом і Віккерсом.

Метод Брінелля (за іменем шведського інженера Ю.А.Брінелля) зводиться до того, що в досліджуваній метал під певним навантаженням втискується стальна загартована кулька діаметром 2,5; 5 або 10 мм (рис. 4.1), протягом певного часу. Після знімання навантаження на поверхні металу утворюється відбиток у вигляді сферичного сегмента діаметром d (м). Діаметр кульки D , що втискується в досліджувану поверхню, величину навантаження P і тривалість витримки під навантаженням залежно від твердості і товщини досліджуваного зразка вибирають за табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Залежність діаметру кульки й навантаження від матеріалу й товщини досліджуваного зразка

Метали	Інтервал твердості в числах Брінелля, МПа	Мінімальна товщина досліджуваного зразка, мм	Діаметр кульки, мм	Навантаження, Р		Співвідношення між навантаженням і діаметром кульки	Час витримки під навантаженням, с
				кгс	Н		
Чорні	1400	6...3	10	3000	29430	P=300D ²	10
		4...2	5	750	7357		
		Менше 2	2,5	187,5	1839		
	Менше 1400	Більше 6	10	1000	9810	P=100D ²	10
		6...3	5	250	2452		
		Менше 2	2,5	62,5	613		
Кольорові	Більше 1300	6...3	10	3000	29430	P=300D ²	30
		4...2	5	750	7357		
		Менше 2	2,5	187,5	1839		
	350...1300	Більше 6	10	1000	9810	P=300D ²	30
		6...3	5	250	2452		
		Менше 3	2,5	62,5	613		
	80...350	Більше 6	10	250	2452	P=25 D ²	60
		6...3	5	62,5	613		
		Менше 3	2,5	15,6	153		

Таблиця 4.2. Числа твердості при випробовуванні різними методами

За Роквеллом			За Брінеллем 10/30 000		За Віккерсом HV, МПа	За Роквеллом			За Брінеллем 10/30 000		За Віккерсом HV, МПа
HRB	HRC _e	HRA	Діаметр відбитка, мм	НВ, МПа		HRB	HRC _e	HRA	Діаметр відбитка, мм	НВ, МПа	
—	—	—	2,00	9460	—	98	22	62	4,00	2290	2260
—	—	—	2,05	8980	—	97	21	61	4,05	2230	2210
—	—	—	2,10	8570	—	97	20	61	4,10	2170	2170
—	—	—	2,15	8170	—	96	19	60	4,15	2120	2130
—	72	89	2,20	7820	12200	95	18	60	4,20	2070	2090
—	69	87	2,25	7440	11140	94	—	59	4,25	2010	2010
—	67	85	2,30	7130	10210	93	—	58	4,30	1970	1970
—	65	84	2,35	6830	9400	92	—	58	4,35	1920	1900
—	63	83	2,40	6520	8670	91	—	57	4,40	1870	1860
—	61	82	2,45	6270	8030	89	—	56	4,45	1830	1800
—	59	81	2,50	6000	7460	88	—	56	4,50	1790	1770
—	58	80	2,55	5780	6940	87	—	55	4,55	1740	1740
—	56	79	2,60	5550	6490	86	—	55	4,60	1700	1710
—	54	78	2,65	5320	6060	85	—	54	4,65	1670	1650
—	52	77	2,70	5120	5870	84	—	53	4,70	1630	1620
—	51	76	2,75	4950	5510	83	—	53	4,75	1590	1590
—	49	76	2,80	4770	5340	82	—	52	4,80	1560	1540
—	48	75	2,85	4600	5020	81	—	52	4,85	1520	1520
—	47	74	2,90	4440	4740	80	—	51	4,90	1490	1490
—	45	73	2,95	4290	4600	78	—	50	4,95	1460	1470
—	44	73	3,00	4150	4350	76	—	50	5,00	1430	1440
—	43	72	3,05	4010	4230	76	—	—	5,05	1400	—
—	41	71	3,10	3880	4010	75	—	—	5,10	1370	—
—	40	71	3,15	3750	3900	74	—	—	5,15	1340	—
—	39	70	3,20	3630	3800	72	—	—	5,20	1310	—
—	38	69	3,25	3520	3610	71	—	—	5,25	1280	—
—	37	69	3,30	3410	3440	69	—	—	5,30	1260	—
—	36	68	3,35	3310	3350	68	—	—	5,35	1230	—

—	35	68	3,40	3210	3200	67	—	—	5,40	1210	—
—	34	67	3,45	3110	3120	66	—	—	5,45	1180	—
—	33	67	3,50	3020	3050	65	—	—	5,50	1160	—
—	31	66	3,55	2930	2910	64	—	—	5,55	1140	—
—	30	66	3,60	2850	2850	62	—	—	5,60	1110	—
—	29	65	3,65	2770	2780	61	—	—	5,65	1090	—
—	28	65	3,70	2690	2720	59	—	—	5,70	1070	—
—	27	64	3,75	2620	2610	58	—	—	5,75	1050	—
—	26	64	3,80	2550	2550	57	—	—	5,80	1030	—
—	25	63	3,85	2480	2500	56	—	—	5,85	1010	—
100	24	63	3,90	2410	2400	54	—	—	5,90	990	—
99	23	62	3,95	2350	2350	53	—	—	5,95	970	—

Позначення твердості складається з літер **НВ** та числа одиниць твердості (розмірність величини (МПа або кг/мм²) опускається), наприклад, НВ 150.

Між межею міцності σ_b , МПа, різних металів і числом твердості **НВ** існує така наближена залежність: $\sigma_b = k \cdot \text{НВ}$, де k – коефіцієнт, що залежить від природи матеріалу.

Сталь з твердістю НВ:

1200 – 1750 $\sigma_b \approx 3,4 \cdot \text{НВ}$
 1750 – 4500 $\sigma_b \approx 3,5 \cdot \text{НВ}$

Мідь, латунь, бронза:

відпалена $\sigma_b \approx 5,5 \cdot \text{НВ}$
 наклепана $\sigma_b \approx 4,0 \cdot \text{НВ}$

Алюміній і алюмінієві сплави з твердістю:

200 – 450 $\sigma_b \approx 3,3-3,6 \cdot \text{НВ}$

Дуралюмін:

відпалений $\sigma_b \approx 3,6 \cdot \text{НВ}$
 після гартування і старіння $\sigma_b \approx 3,5 \cdot \text{НВ}$

Твердість за Брінеллем визначають на пресах з гідравлічним ручним приводом або важільними приладами з ручним або механічним приводом. У нашій роботі використовується важільний прилад з механічним приводом, загальний вигляд і схема якого показана на рис. 4.2.

Масивна станина 1 має внизу підйомний гвинт 2, на який встановлюються змінні опорні столики 3, для досліджуваних зразків. Підйомний гвинт 2 переміщується обертанням маховика 4 вручну. У верхній частині станини є шпindel 5; в цей шпindel вставляються змінні наконечники 3 з кульками різних діаметрів згідно з вимогами умов випробування. В головці станини розміщена пружина 7, на яку опирається шпindel 5. Пружина призначена для того, щоб прикласти до зразка попереднє навантаження 100 кг і запобігти цим самим зміщенню зразка під час випробування.

Прес працює так. Досліджуваний зразок, який повинен бути зачищений, мати рівну і гладеньку поверхню, встановлюється на столик 3 (рис. 4.2, б), відшліфованою поверхнею вверх. Поворотом вручну маховика 2 за годинниковою стрілкою столик приладу піднімається до кульки 6, закріпленій в оправці, до тих пір, поки маховик, що притискує кульку до зразка не почне провертатися, що відповідає прикладеному попередньому навантаженню в 100 кг.

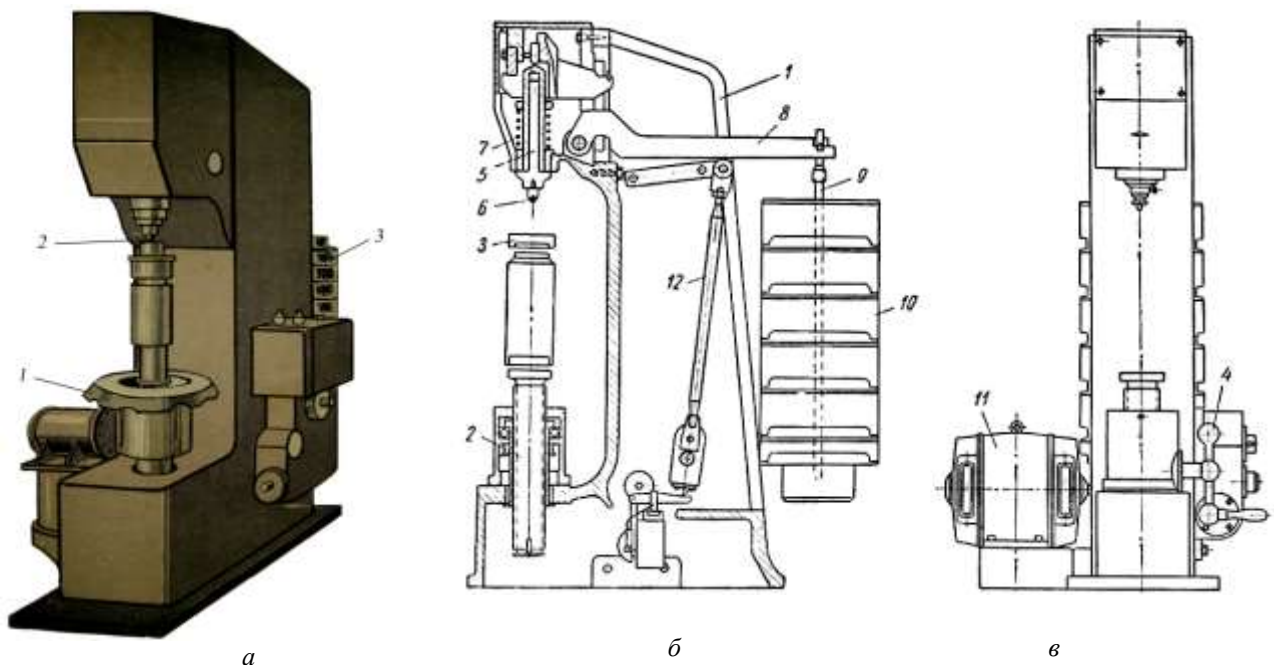


Рис. 4.2. Загальний вигляд (а) і схема преса Брінелля з механічним приводом (б, в)

Головне навантаження прикладається до зразка шляхом важільної системи. На довгому плечі основного важеля 8 є підвіска 9, на останню накладаються змінний вантаж 10. Комбінацією вантажів можна здійснити такі навантаження: 187,5 кг; 250; 500; 750; 1000 і 3000 кг. Прикладання навантаження відбувається автоматично. Обертання вала електродвигуна за допомогою черв'ячної передачі передається шатуну 12, при опусканні якого навантаження передається на шпindelь приладу. В момент прикладання головного навантаження загоряється сигнальна лампочка, яка знаходиться на передній панелі блоку керування приладом. При цьому блок керування приладом забезпечує точну величину навантаження і автоматично встановлює швидкість цього навантаження, його тривалість та виключає будь-яку можливість динамічного навантаження.

При досягненні необхідного навантаження обертання електродвигуна припиняється, а шатун 12 перемикає його напрям обертання в зворотній бік, внаслідок чого після вибраного часу перебування зразка під максимальним навантаженням, навантаження знімається зі шпинделя, і після повернення шатуна в початкове положення електродвигун автоматично вимикається.

Робота на пресі. В залежності від заданих умов випробування і роду зразків вибирають один із наконечників (додаються до приладу) в оправці яких знаходяться кульки діаметром 2,5; 5 або 10 мм і закріплюють його в шпинделі установочним гвинтом. Потім рукою, що розміщена на передній панелі блоку керування приладом, необхідну тривалість витримки під навантаженням.

Досліджуваній зразок встановлюється на столик відшліфованою поверхнею вверх і обертаючи маховик, піднімають його до наконечника з кулькою до тих пір, поки маховик не почне провертатися. Це свідчить про те, що попереднє навантаження в 100 кг прикладене повністю. Необхідно завжди повністю прикладати це навантаження, інакше хід шпинделя може виявитися недостатнім і результати випробування будуть неточними.

Далі вмикають електродвигун, обертання вала якого приводить в рух механізм шатуна і навантаження плавно передається на зразок. Це навантаження діє протягом певного часу, звичайно 10...60 с, залежно від твердості досліджуваного матеріалу (див. табл. 4.1), після чого вал двигуна, обертаючись в інший бік, відповідно переміщує коромисло і знімає навантаження. Регулюванням реле двигуна можна змінювати час прикладання навантаження.

Після автоматичного вимкнення двигуна поворотом маховика проти годинникової стрілки опускають столик приладу, знімають зразок і вимірюють діаметр одержаного відбитка.

Вимірювання діаметра відбитка проводиться за допомогою спеціальної лупи або мікроскопа, які звичайно дають збільшення від 10 до 50 разів (рис. 4.3, а).

Одержаний відбиток вимірюють лупою або мікроскопом в двох взаємно-перпендикулярних напрямках; діаметр відбитка визначається як середнє арифметичне із двох вимірювань.

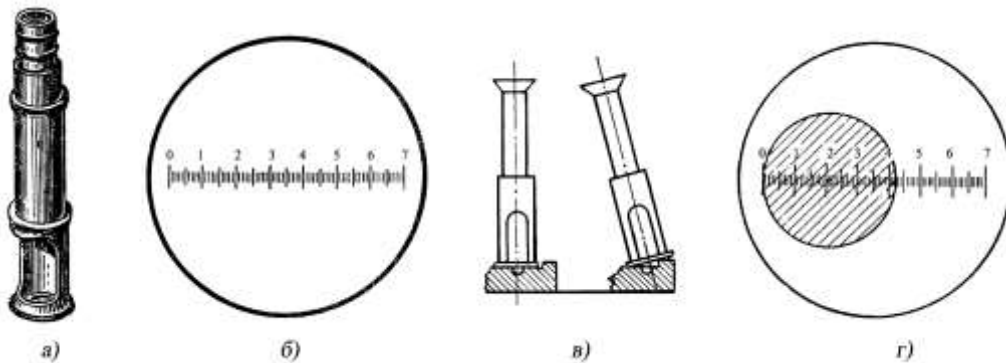


Рис. 4.3. Схема вимірювання діаметру відбитка мікроскопом Брінелля

При випробуванні кулькою діаметром 10 або 5 мм розмір відбитка вимірюється спеціальною лупою з поділками з точністю до 0,05 мм; при випробуванні кулькою діаметром 2,5 мм діаметр відбитка вимірюється спеціальним мікроскопом з точністю 0,01 мм.

Лупа (рис. 4.3, б) має шкалу, малі поділки якої рівні 0,05 мм. Лупу нижньою опірною частиною потрібно щільно встановити на досліджувану поверхню зразка над відбитком (рис. 4.3, в); якщо лупа не має спеціального джерела для освітлення поверхні, виріз (вікно) в нижній частині лупи потрібно повернути до світла. Повертаючи окуляр, необхідно добитися, щоб краї відбитка були чітко окреслені.

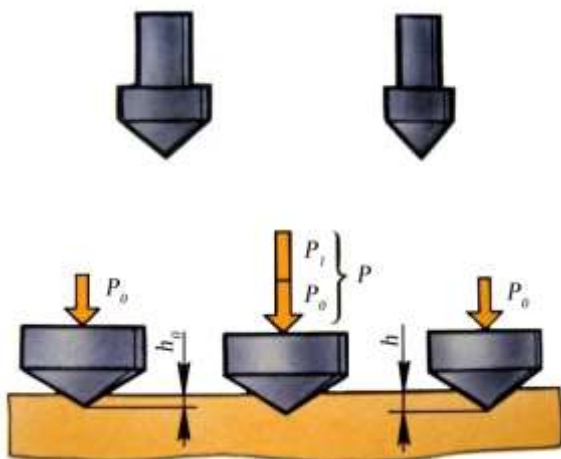


Рис. 4.4. Схема визначення твердості за Роквеллом

Пересуваючи лупу, потрібно один край відбитка сумістити з початком шкали (рис. 4.3, г); прочитати поділку шкали, з якою співпадає протилежний край відбитка. Даний відлік і буде відповідати розміру діаметра відбитка (на рис. 4.3, г, діаметр відбитка рівний 4,20 мм). Потім лупу або зразок повернути на 90° і виміряти діаметр відбитка вдруге. Середнє арифметичне цих двох вимірювань і буде діаметром відбитка.

Вимірювання твердості методом Роквелла (за іменем американського металурга С.П.Роквелла) виконують шляхом втискування у досліджувану поверхню спеціального наконечника (див. схему на рис. 4.4) під дією двох послідовно прикладених навантажень – попереднього 10 кг і загального (попереднє + головне 60, 100, або 150 кг). Різниця глибин, на які проникає наконечник під дією двох навантажень, характеризує твердість досліджуваного об'єкта.

В залежності від умов випробування можуть використовуватися такі наконечники: 1) сталевий конус діаметром 1,588 мм; 2) алмазний конус з кутом при вершині 120°.

Найбільш поширеними є такі комбінації наконечників і навантажень:

Шкала А. Алмазний наконечник у вигляді конуса з кутом біля вершини 120°; загальне навантаження 10 + 50 = 60 кг. Ця шкала застосовується для випробування металів з

твердістю більшою HRC 70 (як наприклад, надтвердих сплавів карбідів вольфраму тощо), для тонкого твердого листового матеріалу, а також для тих випро-бувань, при яких вимагається визначити твердість лише тонкого верхнього шару поверхні.

Шкала С. Алмазний наконечник у вигляді конуса з кутом біля вершини 120° ; загальне навантаження $10 + 140 = 150$ кг. Ця шкала застосовується для визначення твердості термічно обробленої сталі. Область застосування шкали С починається з HRC 20 і закінчується HRC 67. При випробуванні зразків з твердістю меншою за HRC 20 алмаз надто глибоко проникає в зразок, і результати одержуються недостатньо точними. При твердості зразка HRC 70 на кінець алмаза створюється надто великий тиск, і він може викришуватися.

Шкала В. Наконечник з кулькою діаметром 1,588 мм, загальне навантаження $10 + 90 = 100$ кг. Шкала В служить для випробування металів середньої твердості. У цієї шкали робоча ділянка знаходиться в межах від HRB 25 до HRB 100.

Твердість за Роквеллом число безрозмірне і виражається в умовних одиницях. В залежності від того, чим і при якому навантаженні відбувається випробування, тобто за якою шкалою А, В або С, число твердості позначається HRA, HRB, HRC. Наприклад, HRC 50 (твердість 50 за шкалою С).

Між значеннями HRA і HRC встановлена така залежність: $HRC = 2HRA - 104$.

Твердість за Роквеллом вимірюють на приладі (рис. 4.5), в нижній частині нерухомої станини якого встановлений столик 1.

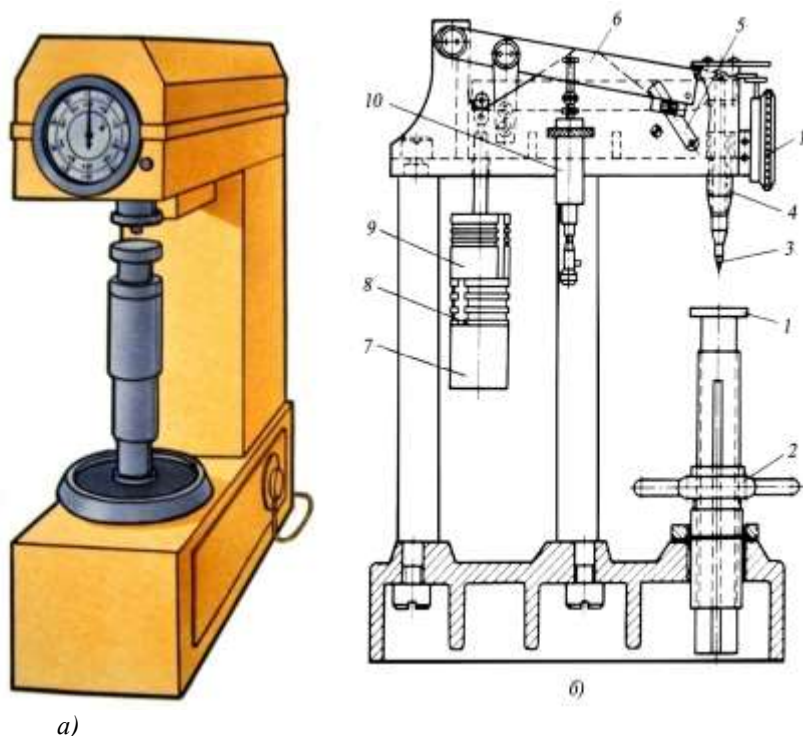


Рис. 4.5. Загальний вигляд (а) і схема (б) вимірювання твердості за Роквеллом

У верхній частині станини закріплені індикатор 6, масляний регулятор 2 і шток 5, в якому фіксується наконечник з алмазним конусом, що має кут при вершині 120° , або зі сталюю кулькою діаметром 1,588 мм. Індикатор – це циферблат, на якому нанесені дві шкали (чорна і червона) і є дві стрілки – велика (показник твердості), що обертається по шкалі, і маленька для контролю величини попереднього навантаження, що надається обертанням маховика 2.

При обертанні штурвала 2 стискується пружина 4 і кулька або алмаз починають вдавлюватися в досліджуваний зразок; а при подальшому підйомі столика починають обертатися стрілки на циферблаті. Штурвал 2 обертають до тих пір, поки мала стрілка на циферблаті не дійде до червоної крапки. Це означає, що наконечник вдавнив в зразок у результаті дії попереднього навантаження, рівного 10 кг. Попереднє навантаження

викликають для того, щоб виключити вплив пружної деформації і різного ступеня шорсткості поверхні зразка на результати вимірювань. Коли зразок одержує попереднє навантаження 10 кг, більша стрілка на циферблаті займає вертикальне положення або близьке до нього. Для точності вимірювань необхідно, щоб велика стрілка вказувала на цифру 0 на чорній шкалі циферблата. Якщо положення більшої стрілки не збігається точно з цифрою 0, то, не змінюючи величини попереднього навантаження і, отже, не обертаючи маховик, повертають шкалу індикатора (круг циферблата) таким чином, щоб цифра 0 на чорній шкалі циферблата перемістилася і співпала з великою стрілкою, відхилення якої від вертикалі допускається в межах ± 5 одиниць шкали. Суміщення великої стрілки циферблата з нулем чорної шкали зі значком **C** проводиться незалежно від того, що вдавлюється в досліджуваний зразок – кулька або алмазний конус. Суміщення великої стрілки з нулем червоної шкали зі значком **B** не проводиться ні в якому разі.

Якщо столик зі зразком був випадково піднятий надто високо і мала стрілка індикатора перейшла за червону крапку, необхідно вибрати на досліджуваній поверхні друге місце і розпочати випробування спочатку.

Важільна система 6 (рис. 4.5, б) є важелем другого роду зі співвідношенням плечей 1:20, тому дійсна вага важків 7 - 9, що створюють навантаження, в 20 разів менша їх умовної ваги. Постійний вантаж 7 створює навантаження 50 кг; якщо на постійний вантаж 7 накладається вантаж 8 (40 кг), що має на торці червоне коло, тоді створюється навантаження 90 кг; якщо на постійний вантаж 7 накладається вантаж 8 і 9 (50 кг), тоді створюється навантаження 140 кг. Для прикладання основного навантаження звільняють рукоятку 5 і тоді важільна система разом з вантажем плавно опускається і наконечник 3 вдавлюється в досліджуваний предмет. Плавне опускання важеля 6 досягається за допомогою масляного гальма 10. Таке переміщення рукоятки надає досліджуваному зразку через важіль основне навантаження. При цьому навантаженні більша стрілка переміщується на циферблаті вліво, проти годинникової стрілки. Час прикладання основного навантаження повинен бути мінімальним і не переважати 1 с. Потім рукоятку приладу плавно переводять у вихідне положення і тим самим знімають додаткове навантаження, але залишають попереднє. Велика стрілка переміщується на циферблаті за годинниковою стрілкою. Цифра, яку вказує на шкалі циферблата велика стрілка, є число твердості за Роквеллом. Цю цифру записують і, обертаючи маховик приладу із зразком, знімають тим самим попереднє навантаження.

При випробуванні кулькою відлік проводиться за червоною шкалою і твердість позначається HRB; при випробуванні алмазним конусом під навантаженням 150 кг відлік проводиться по чорній шкалі і позначається HRC; при випробуванні алмазним конусом під навантаженням 60 кг відлік проводиться по чорній шкалі і позначається HRA.

Прилад вимірює глибину відбитка алмазного конуса (стальної кульки) або, точніше, різницю між глибиною відбитків, одержаних від вдавлювання наконечника під дією основного навантаження і від вдавлювання при попередньому навантаженні. Кожна поділка (одиниця шкали) індикатора відповідає глибині вдавлювання в 2 мкм. Однак стрілка індикатора відмічає не вказану величину глибини вдавлювання **h**, а величину **150-h** на чорній шкалі при вимірюванні алмазним конусом і величину **100-h** на червоній шкалі при вимірюванні кулькою. Чим твердіший досліджуваний матеріал і, отже, менше **h**, тим більше повинно бути число твердості. Навпаки, чим м'якший досліджуваний матеріал і більша величина **h**, тим менше число твердості, тобто числа твердості за Роквеллом зростають із збільшенням твердості матеріалу, що дозволяє порівняти числа Роквелла з числами Брінеля. Разом з тим числа твердості за Роквеллом не мають тієї ж розмірності, того ж фізичного змісту, який мають числа твердості за Брінеллем. Однак числа твердості за Роквеллом можна перерахувати на числа твердості за Брінеллем за допомогою табл. 4.2.

Для роботи на приладі спочатку необхідно підібрати наконечник, вставити його в отвір шпинделя і закріпити установочним гвинтом, після чого вибрати опірний столик відповідно до конфігурації досліджуваного зразка або виробу і встановити його в отвір підйомного

гвинта. Далі підвишують вантаж відповідно до вибраного наконечника і шкали, за якою передбачається вести дослідження (табл. 4.3).

Твердість дуже тонких шарів металу (товщиною менше 0,3 мм) із зазначеними навантаженнями 60...150 кг виміряти неможливо, оскільки алмазний конус проникає на глибину, переважаючи товщину цих шарів. Разом з тим, зі збільшенням твердості досліджуваного матеріалу глибина відбитка зменшується, внаслідок чого знижується точність вимірювання (особливо для металів із твердістю більше HRC 60). З цією ж метою іноді застосовують прилади типу суперроквелл, у яких твердість вимірюють з меншим навантаженням і з меншою глибиною вдавлення. Попереднє навантаження складає 3 кг, а кожна поділка (одиниця шкали) індикатора відповідає глибині вдавлення, рівній 1 мкм. Тому чутливість цих приладів помітно вища.

Таблиця 4.3. Умови для випробування за Роквеллом

Твердість за Роквеллом	Позначення шкали Роквелла	Тип наконечника	Навантаження, кг	Допустимі межі вимірювання
60 - 240	B	Кулька сталевна	100	25 - 100
240 - 900	C	Алмазний конус	150	20 - 67
390 - 900	A	Алмазний конус	60	70 - 85

Відстань від центра відбитка до краю зразка або до центра другого відбитка повинна бути не менша 1,5 мм при вдавленні конуса і не менше 4 мм при вдавленні кульки. Товщина зразка повинна бути не менше 10-кратної глибини відбитка. Твердість слід вимірювати не менше ніж у трьох точках (особливо алмазним конусом), тобто не менше ніж три рази на одному зразку. Для розрахунку краще приймати середнє значення результатів другого і третього вимірювань і не враховувати результат першого вимірювання.

Перевагою способу Роквелла є швидкість вимірювання. Застосування алмазного конуса дозволяє вимірювати твердість загартованої сталі і інших дуже твердих матеріалів, тонких виробів або поверхневого шару товщиною до 0,4 мм (шкала А) і до 0,7 мм (шкали В і С).

Недоліком при вимірюванні твердості методом Роквелла є те, що необхідна ретельна підготовка поверхні – шліфування. На приладі Роквелла, де глибина відбитка мала і її вимірюють з точністю до 0,002 мм (ціна поділки – умовна одиниця твердості), можуть чинити вплив забруднення, вібрація і інші умови виробництва.

Вимірювання твердості **методом Віккерса** (за назвою англійського військово-промислового концерну «Віккерс») виконують шляхом статичного втискування в досліджувану поверхню алмазної чотиригранної піраміди з кутом $\alpha = 136^\circ$ між протилежними гранями (рис. 4.6, б). Твердість за Віккерсом HV, так само як і за Брінеллем визначається як зусилля, що діє на одиницю поверхні відбитка, тобто відношенням навантаження **P**, що діє на піраміду до площі бокової поверхні відбитка **S**:

$$HV = \frac{P}{S} = \frac{2p \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 1,8544 \frac{P}{d^2},$$

де **d** – середнє арифметичне довжини обох діагоналей відбитка, після знімання навантаження, мм; **P** навантаження на піраміду.

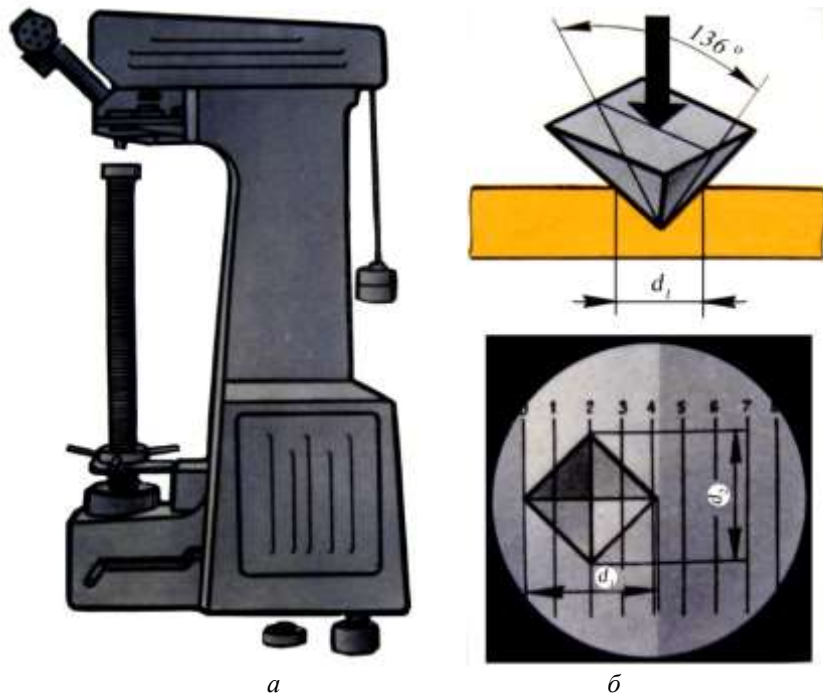


Рис. 4.6. Загальний вигляд (а) і схема (б) вимірювання твердості за Віккерсом

Числа твердості за Віккерсом і за Брінелем мають однакову розмірність, і для матеріалів твердістю до НВ 450 практично співпадають. Разом з тим вимірювання пірамідою дають більш точні значення для металів з великою твердістю, ніж вимірювання кулькою або конусом. Алмазна піраміда має великий кут у вершині (136°) і діагональ її відбитка наближено в 7 раз більша за глибину відбитка, що підвищує точність вимірювання відбитку навіть при проникненні піраміди на невелику глибину і робить цей спосіб особливо придатним для визначення твердості тонких або дуже твердих сплавів, а також твердість поверхневих шарів, наприклад при знеуглецюванні, поверхневому наклепі, цементації тощо.

ПРОГРАМА ПІДГОТОВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Вивчити теоретичний матеріал за даним посібником та зазначеними нижче літературними джерелами.
2. Вивчити будову і принцип дії твердомірів Брінелля і Роквелла. Ознайомитися з правилами безпечної роботи на них.
3. Зарисувати в зошит схему вимірювання твердості за Брінеллем, Роквеллом і Віккерсом. Коротко описати суть визначення твердості кожним способом.

ЗАВДАННЯ Й МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

1. Одержати у викладача декілька зразків сталі і кольорових сплавів, термічно оброблених за різними режимами.
2. Вияснити, які зразки потрібно випробувати за Брінелем, а які за Роквеллом. Після цього необхідно самостійно встановити, який потрібно взяти діаметр кульки і яке прикласти навантаження при випробуванні за Брінелем. Для цього використати таблицю 4.1. При випробуванні за Роквеллом потрібно встановити, за якою шкалою проводити випробування (С, А або В) і яке потрібно вибрати навантаження.
3. Підготувати поверхні зразків для випробувань.

4. Налаштувати прилади і визначити твердість відпаленої та загартованої сталі і кольорових сплавів відповідними приладами і результати вимірювань записати у відповідні таблиці 4.4 або 4.5.

Таблиця 4.4

№ зразка	Умови випробування			Число твердості по Роквеллу				Середнє число твердості	$\sigma_{в}$, МПа
	Р, Н	Тип індентора	Шкала	1 визначення	2 визначення	3 визначення			
1.									

Таблиця 4.5

№ зразка	Умови випробування			1 визначення		2 визначення		3 визначення		НВ _{ср} , МПа	$\sigma_{в}$, МПа
	Р, Н	D, мм	t, с	d, мм	НВ, МПа	D, мм	НВ, МПа	d, мм	НВ, МПа		
1.											

5. Перевести числа твердості, одержані методом Роквелла, в числа твердості за Брінеллем, а якщо можливо то і в числа твердості за Віккерсом. Для цього використати таблицю 4.2.

6. Знаючи число твердості за Брінеллем, визначити приблизне значення границь міцності досліджуваних матеріалів.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що називається твердістю металів? Яка залежність між їхньою твердістю і міцністю.

2. Назвіть основні методи визначення твердості та вкажіть їхні переваги, недоліки і області застосування.

3. Охарактеризувати основні правила проведення випробувань на твердість методом Брінелля.

4. Охарактеризувати будову і принцип дії преса з механічним приводом, його роботу, методику вимірювання відбитка і визначення твердості за Брінеллем.

5. Охарактеризувати суть методу вимірювання твердості за Роквеллом, будову і роботу приладу.

6. Охарактеризувати суть методу вимірювання твердості за Віккерсом та методику визначення твердості цим методом.

7. В яких одиницях виражається твердість за Брінеллем, Роквеллом і Віккерсом? Як позначаються числа твердості, визначені цими методами?

Лабораторна робота № 5 ВИЗНАЧЕННЯ УДАРНОЇ В'ЯЗКОСТІ МЕТАЛІВ

Мета: Вивчити будову і принцип дії маятникового копра і засвоїти методику визначення ударної в'язкості.

Обладнання, матеріали та інструменти

Маятниковий копр, штангенциркуль, досліджувані зразки.

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Механічні властивості гладеньких зразків, визначені при повільному збільшенні навантаження, часто не відповідають дійсним умовам навантаження деталей при їх експлуатації, коли навантаження зростають дуже швидко. Це привело до необхідності досліджувати властивості металів при швидкозростаючих навантаженнях, так званих динамічних (або ударних) навантаженнях.



Рис. 5.1. Діаграма розтягу однієї і тієї ж сталі при статичному (1) і динамічному (2) навантаженні (розтягу)

Якщо деталі машин, механізмів, конструкції тощо в процесі експлуатації зазнають ударних навантажень, тоді метал, що йде на виготовлення таких деталей, крім статичних випробувань піддають ще випробуванню динамічним навантаженням, оскільки деякі метали (чавун, сталі з грубозернистими структурами) з достатньо високими показниками статичної міцності руйнуються при малих ударних навантаженнях.

Про стан металу можна судити за характером руйнування. Чим повільніше зростає навантаження, тим менше необхідне навантаження для деформації зразка; отже, зі збільшенням швидкості зростання навантаження опір металу деформації зростає.

Із діаграми (рис. 5.1) видно, що величина пружної деформації не залежить від швидкості прикладання навантаження, тобто динамічне навантаження не викликає зміни початкової частини діаграми, але в результаті збільшення швидкості деформації відбувається підвищення меж пропорційності, пружності і текучості. При наявності у виробках різких переходів у перерізах, надрізів, внутрішніх дефектів спостерігається нерівномірний розподіл напружень.

На рис. 5.2, а зображені схеми розподілу поздовжніх напружень по перерізу в зразках з надрізами і без надрізу, в процесі розтягування.

В зразку 1 без надрізу напруження однакові по всьому перерізу, у зразків 2 і 3 з надрізами спостерігається збільшення поздовжніх напружень до максимальних значень у вершини надрізу.

Відношення максимальних напружень $\sigma_{\text{макс}}$ до нормального напруження визначає концентрацію напружень. Отже, можна зазначити, що чим гостріший надріз, тим більша концентрація напружень.

При розтягуванні зразка поряд з поздовжньою виникає також поперечна деформація і, таким чином, крім поздовжніх нормальних напружень будуть спостерігатися поперечні напруження, діючі перпендикулярно до осі зразка. А це означає, що в зоні надрізу метал розтягується не тільки вздовж осі зразка, але і в поперечному напрямі. Опір пластичній деформації різний для зразків з надрізом і без надрізу.

Діаграма (рис. 5.2, б) свідчить, що наявність надрізу підвищує межі пропорційності, пружності, текучості і зменшує пластичні властивості (криві 2 і 3).

Зміна температури також значно впливає на механічні характеристики металу. Її зниження сприяє переходу металу із пластичного стану в крихкий. Температура, при якій починає проявлятися крихкість, називається критичною температурою крихкості.

Отже, при випробуваннях для виявлення крихкості металів потрібно враховувати всі вище перераховані фактори.

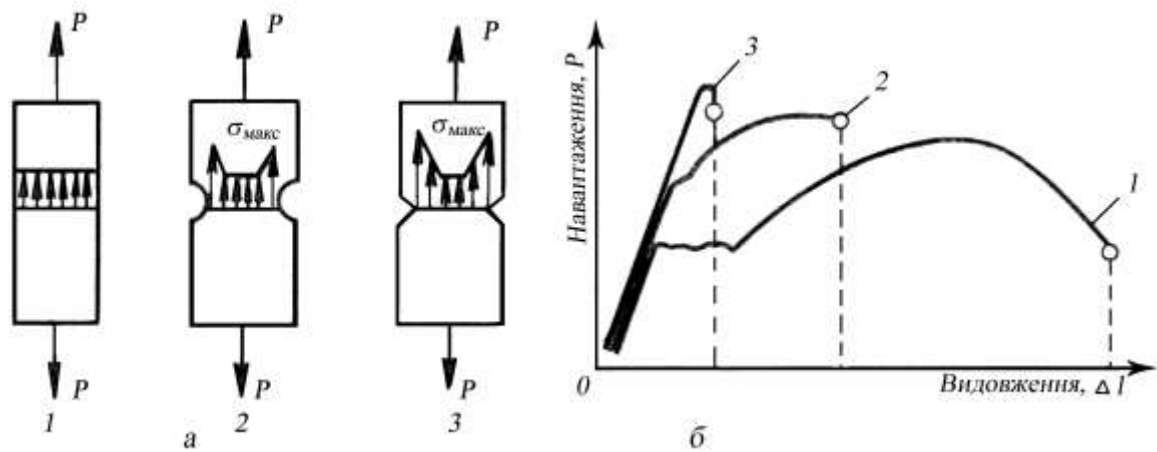


Рис. 5.2. Вплив надрізів на розподіл напружень в зразках:
 а – схеми розподілу напружень в зразках ; б – діаграми розтягу зразків:
 1 – без надрізу, 2 – з тупим надрізом, 3 – з гострим надрізом

Практично ці випробування проводяться при кімнатній температурі на зразках з надрізом і динамічним напруженням. Випробування при підвищених або понижених температурах проводяться тільки в необхідних випадках.

Ударні випробування дуже важливі, не дивлячись на те, що вони не дають цифр (даних для розрахунку виробу на міцність), оскільки не можливо досить точно визначити навантаження (напруження) при ударному руйнуванні. Справа в тому, що результати динамічних випробувань залежать навіть від незначних змін в структурі металу, тому окремі випадкові відхилення в технології або в складі, що часто не впливають на результати статичних випробувань, здійснюють різкий вплив на динамічні характеристики властивостей металу.

Із динамічних випробувань (розтяг, стиск, кручення, згин) в практиці найбільш поширеними є випробування на ударний згин.

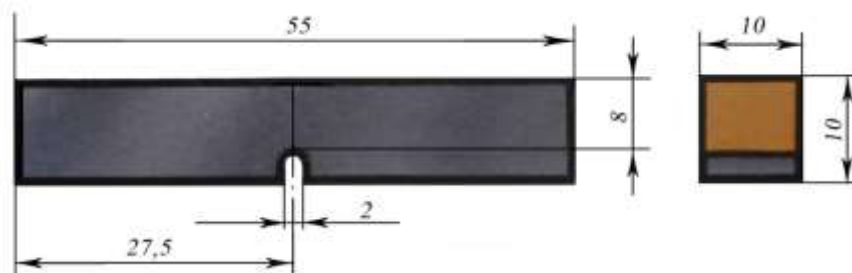


Рис. 5.3. Зразок для дослідження на ударний згин

Динамічні випробування на ударний згин виявляють схильність металу до крихкого руйнування. Метод (ГОСТ 9454-78) оснований на руйнуванні зразка з концентратором (надрізом) посередині одним ударом маятникового копра. Кінці зразка розміщують на опорах. В результаті випробування визначають повну роботу, затрачену при ударі (роботу удару), або ударну в'язкість.

Ударна в'язкість – це робота удару, віднесена до початкової площі поперечного перерізу зразка в місці концентратора (зразки із крихких матеріалів випробовують без концентратора). Для визначення ударної в'язкості при згині використовують призматичні зразки п'яти типів. Як основний рекомендується зразок першого типу. Ударному згину піддають стандартний зразок у вигляді бруска розміром 10 x 10 x 55 мм з надрізом посередині, який робиться шліфувальним кругом товщиною 2 мм з радіусом заокруглення 1 мм (рис. 5.3).

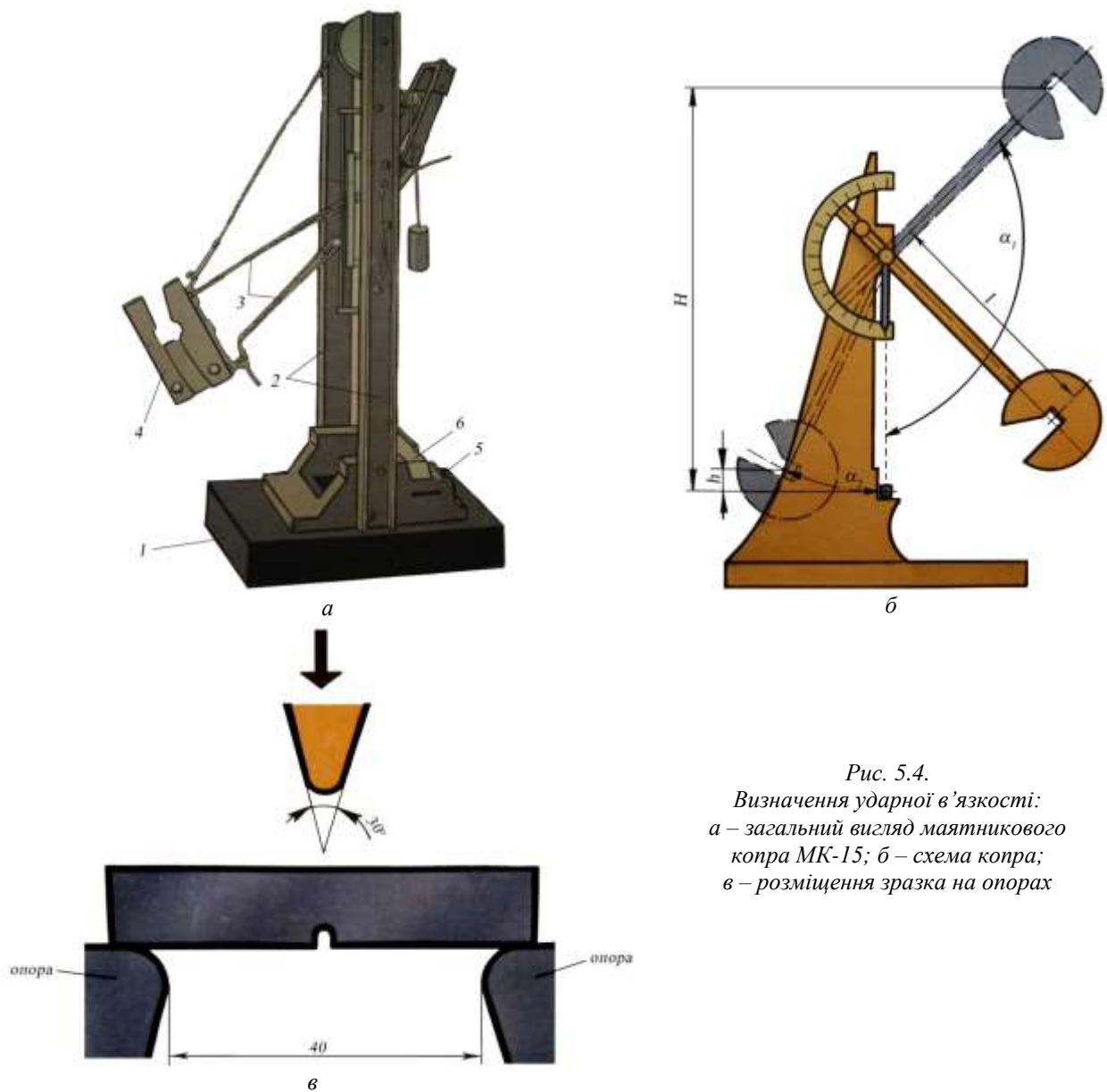


Рис. 5.4.
 Визначення ударної в'язкості:
 а – загальний вигляд маятничого копра МК-15; б – схема копра;
 в – розміщення зразка на опорах

Випробування проводяться на спеціальних приладах – маятникових копрах. На рис. 5.4, а зображений загальний вигляд маятничого копра МК -15 зі змінним запасом енергії в 147 Дж. На важкій основі 1 встановлені дві металеві стійки 2, які підтримують вісь, що обертається в підшипниках. До цієї осі на розтяжках 3 (тягах) підвішений у строго вертикальному положенні важкий маятник 4, в розрізі якого знаходиться ніж у вигляді клина.

Для проведення випробувань на опори станини 5 маятничого копра зразок 6 (рис. 5.4, а) кладуть так, щоб надріз був із боку, протилежного до удару, і знаходився проти вістря ножа маятника (рис. 5.4, в).

Маятник вагою P і довжиною підвіски l (рис. 5.4, б) піднімають вручну на висоту H (кут відхилення α_1) закріплюють защіпкою і встановлюють стрілку шкали на нуль. У цьому положенні маятник має відомий запас потенціальної енергії $K_1 = PH$, де $H = l \cos \alpha_1$. При звільненні защіпки маятник вільно падає і руйнує або згинає зразок². На це витрачається частина енергії. Енергія, що залишилася піднімає маятник на деяку висоту h , кут α_2 визначають за шкалою приладу. Енергія, що залишилася $K_2 = Ph$, де $h = l \cos \alpha_2$.

² Руйнування зразка може відбуватися по різному. У крихких металів зразки ламаються без зміни форми, у в'язких металів вони піддаються значному згину в місці зламу.

Кількість енергії (Дж) затрачену на руйнування зразка, або роботу удару, поглинуту зразком, визначають за формулою: $K = K_1 - K_2 = P(H - h)$, або $K = P l (\cos \alpha - \cos \beta)$, де K – абсолютна в'язкість. Ударна в'язкість – здатність металів чинити опір дії ударних навантажень – характеризується відносною або питомою в'язкістю.

За остаточний результат випробування приймають роботу удару або ударну в'язкість для зразків з концентраторами видів U чи V і ударну в'язкість для зразків концентратором виду T .

Роботу удару позначають двома літерами (KU , KV , KT) і цифрами. Перша літера K – символ роботи удару, друга (U , V або T) – вид концентратора. Наступні цифри позначають максимальну енергію удару маятника, глибину концентратора і ширину зразка. Цифри не вказуються при визначенні роботи удару на копрі з максимальною енергією удару маятника 300 Дж (30 кгс • м) при глибині 2 мм для концентраторів видів U і V і 3 мм для концентратора виду T і ширині зразка 10 мм.

Ударна в'язкість позначається символом KC . Третя літера – вид концентратора, перша цифра – максимальна енергія удару маятника, друга – глибина концентратора і третя – ширина зразка. Для визначення ударної в'язкості при зниженій і підвищеній температурах вводиться цифровий індекс, що вказує температуру випробування. Наприклад, $KV^{-40} 502/2$ – робота удару, визначена на зразку з концентратором виду V при температурі $-40^\circ C$, максимальна енергія удару 50 Дж, глибина концентратора 2 мм, ширина зразка 2 мм; $KCT^{+100} 150/3/7,5$ – ударна в'язкість, визначена на зразку з концентратором виду T при температурі $100^\circ C$, максимальна енергія удару 150 Дж, глибина концентратора 3 мм, ширина зразка 7,5 мм; $KCU(KCV)$ – ударна в'язкість, визначена на зразках з концентратором виду $U(V)$ при кімнатній температурі, максимальна енергія удару маятника 300 Дж, глибина концентратора 2 мм, ширина зразка 10 мм.

Ударну в'язкість KC [Дж / см²] визначають за формулою $KC = K / S_0$, де K – робота удару, Дж; S_0 – початкова площа поперечного перерізу зразка в місці концентратора, см²; визначається за формулою $S_0 = H_1 B$, де H_1 – початкова висота робочої частини зразка, см; B – початкова ширина зразка, см.

Вибір виду концентратора здійснюється залежно від вимог до виробу: U – при звичайних випробуваннях металів і сплавів; V – для конструкцій підвищеного ступеня надійності (літальні апарати, транспортні засоби, трубопроводи, судини тиску); T – для особливо відповідальних конструкцій.

Для визначення в'язкості крихких матеріалів (інструментальних сталей з твердістю більше 50 HRC) застосовують гладкі зразки і ударна в'язкість позначається KC .

В деяких випадках сумарну роботу руйнування розділяють на роботу зародження і роботу поширення тріщини. Такі визначення виконуються за спеціальними методиками. При крихкому руйнуванні робота поширення тріщини практично рівна нулю. В практиці звичайно визначають сумарну роботу руйнування. Окрім перерахованих вище видів механічних випробувань металів, часто проводять спеціальні випробування, наприклад на втомлюваність, здатність до стирання тощо.

Випробування металів на втомлюваність. Спостерігаються іноді випадки руйнування металів під дією навантажень, що не досягають межі міцності цих металів. Дане явище має велике значення у зв'язку із застосуванням в техніці сильно навантажених і швидкохідних машин, у яких деталі часто руйнуються під дією навантажень, що часто повторюються. До таких деталей відносяться вали, шатуни, пальці, поршні тощо.

Причина руйнування при багатократному повторенні навантажень, що чергуються, носить назву *втомлюваності металів*, а здатність витримувати вказані навантаження називається *витривалістю* металів.

Однією з причин руйнування металів від втомлюваності найчастіше є утворення розривів в тих місцях, де є сторонні включення в металі, наприклад крупинки шлаку, або де виникають дрібні внутрішні тріщини. Поступовий розвиток цих дефектів приводить до утворення великих тріщин і до руйнування.

Випробування на втомлюваність проводиться на спеціальних машинах, на яких зразки металів піддаються багатократному змінному навантаженню (до 10 і більше мільйонів циклів або змін величини і напряму навантаження), тобто розтягуванню і стисненню, змінному згину, змінному крученню тощо.

Випробування має тривалий характер і полягає, у визначенні *межі втомлюваності*, тобто найбільшої кількості циклів навантажень, яку здатний витримати метал.

Випробування на здатність до стирання. Метали, призначені для виготовлення деталей, що піддаються тертю, випробовують на здатність до стирання або на стійкість при взаємному переміщенні. Стирання або спрацювання (зношування) супроводжується відривом від деталей частинок металу і втратою ваги. До таких деталей відносяться циліндри, підшипники, гальмівні пристрої і багато інших. Зрозуміло, яке велике значення має зносостійкість деталей. Кращі результати дають випробування на здатність до стирання в тих же умовах, в яких відбувається робота деталей, тобто при тому ж тиску, мастилі тощо.

Для випробування металів на здатність до стирання застосовують різні способи: точне вимірювання місць, що труться, зважування для з'ясування ступеня стирання за зменшенням ваги деталей, спосіб відбитків тощо. Останній спосіб полягає в тому, що на поверхні, що трется, роблять відбиток за допомогою алмазної піраміди, що застосовується для випробування на твердість. При терті деталі з часом розмір відбитку зменшується, що і служить показником її зношування.

Для випробування деталей на зношування застосовують машини різних конструкцій. З їх допомогою можна визначити зносостійкість при терті металу до металу (сухий і з мастилом), а також при терті металу з абразивними матеріалами

ПРОГРАМА ПІДГОТОВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Вивчити теоретичний матеріал за даним посібником та рекомендованими літературними джерелами.
2. Ознайомитися з правилами техніки безпеки при визначенні ударної в'язкості. Вивчити будову маятнікового копра і методику визначення ударної в'язкості.
3. Зарисувати в зошит схему випробування на ударну в'язкість та форму зразків, які при цьому використовуються.

ЗАВДАННЯ Й МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

1. Підняти маятник на кут α_1 до найвищого положення і закріпити його заціпкою.
2. Звільнити заціпку, щоб забезпечити вільне падіння маятника при випробуванні.
3. Стрілку на шкалі встановити в нульове положення.
4. Встановити відстань між опорами в залежності від розмірів досліджуваних зразків: якщо зразки мають поперечний переріз 10x10 мм, то відстань між опорами повинна бути 40 мм.

Попередження. Забороняється встановлювати зразки і регулювати опори при піднятому і закріпленому заціпкою маятнику. Випадкове звільнення заціпки може викликати важкі ушкодження.

5. Зразок, розміри якого попередньо перевірені мікрометром або штангенциркулем, розмістити на опорі надрізом всередину станини так, щоб удар ножа маятника приходився проти надрізу на протилежній стороні зразка (рис. 6.4, в).

6. Звільнити заціпку, сприяючи вільному падінню маятника і руйнуванню (згинанню) розміщеному на його шляху зразку.

7. Кут α_2 вильоту маятника після надлому зразка відраховують за шкалою і знайти величину затраченої роботи K . Якщо надлому зразка не відбулося, то випробування необхідно повторити на новому зразку. α_2

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які фактори потрібно враховувати для виявлення крихкості металів?

2. Для чого необхідно визначати ударну в'язкість? Охарактеризуйте методику проведення випробування на ударну в'язкість.

3. Який фізичний зміст має ударна в'язкість? На яких зразках визначають ударну в'язкість?

4. Як залежить ударна в'язкість від радіуса надрізу? Як впливає температура випробування на ударну в'язкість?

5. Що називається втомлюваністю, витривалістю і здатністю до стирання металів? В чому суть їх визначення?

Лабораторна робота № 6 ВИВЧЕННЯ МЕХАНІЗМІВ ХОЛОДНОЇ ПЛАСТИЧНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ

Мета: Вивчити механізми процесів, що відбуваються в металі під час холодної пластичної деформації.

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Метал під дією зовнішніх сил спочатку зазнає пружної, а потім пластичної деформації. В останньому випадку в металі виникають необоротні внутрішні зміни, оскільки на всіх стадіях деформування спостерігаються залишкові зміщення атомів від своїх рівноважних положень у кристалічній решітці. Це веде до неупорядкованої зміни її параметру і до спотворення самої решітки.

Фізична суть процесу деформації. Розглянемо процеси, що відбуваються при деформації металу. Однак, перш ніж розглядати їхню суть, потрібно зрозуміти, як деформація проявляється. Це найкраще видно із діаграми деформації (рис. 6.1), яка показує як змінюється деформація ϵ в міру збільшення напруження σ . (Є діаграми, на яких деформація відмінна від наведеної, але принципова суть процесів, що відбуваються при деформації металів, в усіх випадках однакова).

На діаграмі можна виділити дві ділянки: ділянку **ОА** і ділянку **АВ**. Ділянка **ОА** показує пропорційну залежність деформації від напруження.

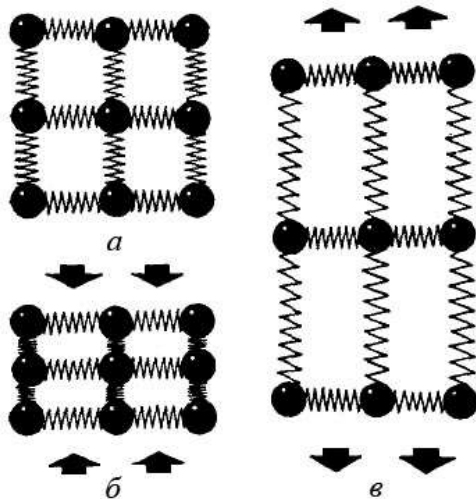


Рис. 6.2. Модель міжатомної взаємодії: а – початковий стан; б – стиснення; в – розтягування

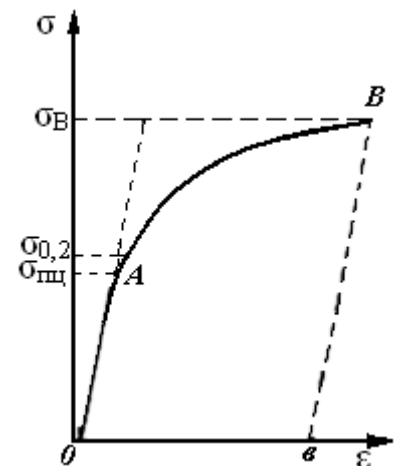


Рис. 6.1. Діаграма залежності деформації ϵ металу від діючого напруження σ

Максимальне напруження, до якого зберігається лінійна залежність між навантаженням і деформацією називається **межею пропорційності** і позначається $\sigma_{тц}$. На ділянці **АВ** спостерігається відхилення від закону пропорційності. Деформація завершується в точці **В**, в якій відбувається руйнування матеріалу. Максимальне напруження, яке витримує метал не руйнуючись, називається **межею міцності** і позначається σ_B . Явно виражена відмінність залежності деформації від напруження на ділянках **ОА** і **АВ**, очевидно, свідчить, що механізм деформації, який відповідає цим ділянкам, різний.

Ця відмінність така. Якщо усунути діючу на

зразок сили, що викликала напруження $\sigma < \sigma_{пл}$, то залишкової деформації в зразку не виявляється: вона зникає, якщо зменшити до нуля діючу силу. Таку деформацію називають **пружною**. Залежність між пружною деформацією ϵ і напруженням σ виражається законом Гука

$$\sigma = E \epsilon,$$

де E – коефіцієнт ($E = tg \alpha$), що називається **модулем пружності**.

Кристалічна будова металів характерна тим, що атоми в кристалах розміщуються в місцях стійкої рівноваги у цілком певному для кожного металу порядку (рис. 6.2, а). При пружному деформуванні відбувається незначне (рис. 6.3), повністю зворотне зміщення атомів, або поворот блоків кристала. При розтягуванні тіла відстань між атомами зростає, а при стискуванні вона зменшується (рис. 6.2, б і в).

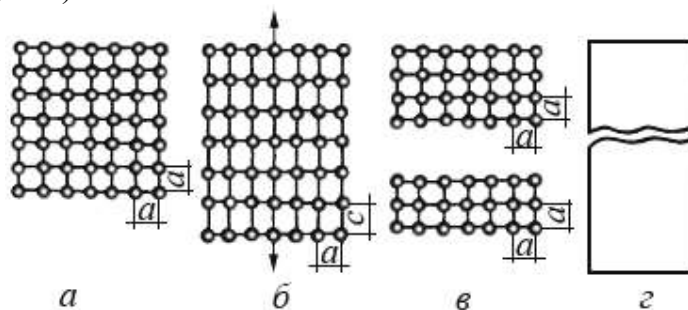


Рис. 6.3. Схема пружної деформації

і крихкого руйнування під дією нормальних напружень: а - ненапружена решітка металу; б - пружна деформація; в, г - крихке руйнування в результаті відриву

Зміщення атомів із положень рівноваги порушує баланс сил електростатичного притягання або відштовхування. У зв'язку з цим зміщені атоми внаслідок дії сил притягання або відштовхування повертаються у вихідний рівноважний стан. Спотворення решітки (її пружна деформація) зникає, тіло повністю відновлює свою форму і розміри. Якщо нормальні напруження досягають значення сил міжатомного зв'язку, то відбувається крихке руйнування шляхом відриву (рис. 6.3, в, г). Пружну деформацію викликають також незначні дотичні напруження (рис. 6.4, б).

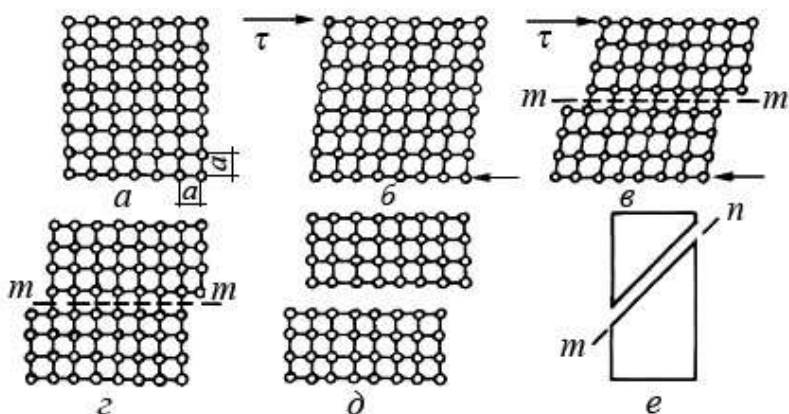


Рис. 6.4. Схема пружної деформації і пластичного руйнування під дією дотичних напружень:

а - ненапружена решітка; б - пружна деформація; в - пружна і пластична деформація; г - пластична деформація, залишкові напруження зняті; д, е - пластичне руйнування в результаті зрізу

Відзначимо, що і у випадку пружної деформації початкова форма тіла відновлюється не миттєво, а через деякий час (який іноді вимірюється годинами і навіть днями). Це явище називається **пружною післядією**.

Важливою характеристикою пружних властивостей металів є модуль пружності. За фізичною природою величина модуля пружності може розглядатися як міра міцності зв'язку між атомами у твердому тілі. Це підтверджується наявністю зв'язку між температурою плавлення і величиною модуля пружності: чим вища температура плавлення, тим більший модуль пружності металів.

При пластичній деформації у кристалічній ґратці металу під дією дотичних напружень відбувається незворотне переміщення атомів (рис. 6.4, а). При незначних напруженнях (рис. 6.4, б) атоми зміщуються мало і після зменшення напружень до нуля повертаються у вихідне положення. При збільшенні дотичного напруження спостерігається незворотне зміщення атомів на параметр решітки (рис. 6.4, в), тобто відбувається пластична деформація, яка приводить до значного спотворення кристалічної решітки завдяки ковзанню одних атомних площин вздовж інших. У результаті порушуються попередні і встановлюються нові міжатомні зв'язки: атоми змінюють своїх сусідів (на відміну від пружної деформації, при якій міжатомні зв'язки не порушуються і тому кожен атом залишається в оточенні своїх попередніх сусідів). При зміщенні двох сусідніх шарів відносно один одного на відстань, рівну подвоєному розміру елементарної комірки, сили взаємопритягання і взаємовідштовхування атомів знову зрівноважуються (решітки знову набуває відповідну даному кристалу форму). У зв'язку з цим зникають пружні сили, здатні змістити атоми у вихідне положення. Ось чому появляється залишкова (пластична) деформація. При цьому тіло не розділяється на окремі частини (рис. 6.4, г), тобто суцільність тіла при пластичній деформації не порушується. Але в результаті розвитку пластичної деформації може відбутися пластичне (в'язке) руйнування шляхом зсуву однієї частини кристала відносно іншої (рис. 6.4, д, е).

Слід зазначити, що в кристалічній решітці зсув (ковзання) відбувається вздовж площин і в напрямках з найбільш щільною укладкою атомів. Ці площини (напрями), що називаються площинами зсуву або ковзання, залежать від типу кристалічної решітки. У α -Fe, W, Mo і інших металів з ОЦК решіткою є 6 площин зсуву і в кожній з них по 2 напрями зсуву, і так звана система ковзання має $6 \times 2 = 12$ елементів зсуву. Метали з ГЦК ґраткою (γ -Fe, Cu, Ni, Al і ін.) мають 4 площини з 3 напрямками ковзання в кожній, тобто $4 \times 3 = 12$ елементів зсуву. У Zn, Mg і інших металів з гексагональною щільно укладеною решіткою одна площина з трьома напрямками і отже 3 елементи зсуву. Чим більше елементів зсуву в решітці, тим вища пластичність металу.

Найбільш легкий зсув вздовж певних площин і напрямів пояснюється тим, що при цьому переміщення атомів із одного тривкого положення у вузлі кристалічної решітки в інше таке ж положення буде мінімальним, а отже, необхідне дотичне напруження буде найменшим.

Для того, щоб зсув відбувся шляхом одночасного зміщення однієї частини кристала відносно іншої, як це показано на рис. 6.4, г, потрібні були б зусилля, які переважали б сили взаємодії між усіма атомами, що знаходяться в площині ковзання. В дійсності ж при деформації реальних кристалів ці зусилля в сотні і тисячі разів менші, ніж при теоретичному розрахунку. Причину цього явища пояснила теорія дислокацій.

Атоми, розміщені в полі дислокації, збуджені, їхня енергія підвищена, вони уже виведені із рівноважних положень з мінімальною вільною енергією. Такий стан кристала метастабільний (нестабільний). Достатньо прикласти суттєво менші напруження, ніж при синхронному зсуві, тобто виконати незначну роботу, щоб обмежена група атомів (в області дислокації), трохи змістившись, зайняла нові тривкі позиції, тобто здійсниться елементарний акт пластичної деформації із затратою мінімуму енергії.

Отже, згідно теорії дислокацій, пластична деформація відбувається під дією дотичних напружень у результаті переміщення малого числа атомів в області дислокації, або інакше - переміщення дислокацій. Спрощена схема процесу зсуву з участю дислокації (позначена знаком "L") показана на рис. 6.5. У верхній частині кристала є додаткова напівплощина (в якій атоми позначені темними кульками), яка закінчується лінією дислокації, що знаходиться в площині ковзання (позитивна крайова дислокація). Утворення дислокації вимагає значної енергії, але якщо вона утворилася, то легко переміщується в тій площині, в якій знаходиться лінія дислокації.

Під дією дотичних напружень у напрямі вказаному стрілкою, дислокація трохи переміститься зліва направо. При цьому під нею виявиться вертикальна площина, з якою

вихідна екстраплощина з'єднається в повну площину. Верхня частина цієї вертикальної площини і стане новою екстраплощиною з крайовою дислокацією на краю. Отже, незначні переміщення малої групи атомів приводять до переміщення дислокації на одну міжатомну відстань. При постійно діючому дотичному напруженні рух передається послідовно, як по естафеті, від однієї групи атомів до другої до тих пір, поки дислокація не вийде на поверхню кристала. Тоді на правій боковій грані кристала появиться сходинка висотою в одну міжатомну відстань (рис. 6.5, з).

Звичайно в площині ковзання розміщені десятки дислокацій. Їхнє переміщення під дією дотичних напружень приводить до розвитку пластичної деформації. Висота сходинки на поверхні кристала буде збільшуватися пропорційно до числа дислокацій, що виходять на поверхню. Рух дислокацій викликає утворення нових дислокацій і таким чином число дислокацій у кристалі збільшується. Великі пластичні деформації можливі тоді, коли ковзання здійснюється за рахунок руху великої кількості дислокацій.

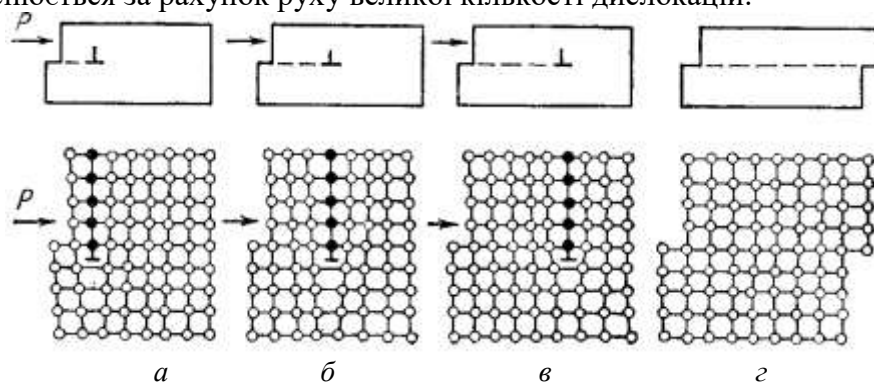


Рис. 6.5. Схема зсуву на один параметр решітки верхньої частини кристала відносно його нижньої частини при русі дислокації через всю площину ковзання

Сліди ковзання можна спостерігати під мікроскопом на попередньо відполірованій (до деформації) поверхні металу у вигляді паралельних ліній ковзання. Близько розміщені лінії ковзання утворюють смуги ковзання. Крім того, при деформації на поверхні металу часто спостерігаються макросмуги - так звані лінії Людерса - Чернова, які звичайно орієнтовані під кутом приблизно $45 \dots 60^\circ$ до напрямку діючого навантаження.

На початковій стадії пластичної деформації кристала ковзання здійснюється шляхом руху дислокації в одній системі площин - стадія легкого ковзання. На цій стадії дислокації можуть переміщуватися, порівняно безперешкодно, на великі відстані і багато з них досягає поверхні кристала.

З ростом деформації починається стадія множинного ковзання - рух дислокацій у двох і більше системах площин. На цій стадії дислокації переміщуються в площинах, що перетинаються, тому опір їхньому рухові збільшується, оскільки силові (пружні) поля дислокацій взаємодіють між собою. Якщо дислокації розміщені в одній площині ковзання, мають однаковий знак, то вони взаємно притягуються. Наближення дислокацій різного знаку приводить до їх взаємного знищення (анігіляції). На стадії множинного ковзання після значної деформації дислокаційна структура кристалу сильно ускладнюється, в процесі ковзання виникають нові дислокації і густина дислокацій збільшується. На стадії множинного ковзання, в результаті виникнення перешкод на шляху рухомих дислокацій, опір ковзанню зростає і для його продовження уже потрібне більше значення напруження, тобто відбувається деформаційне зміцнення. Воно проявляється в процесі деформації і зберігається після закінчення деформування.

Отже, якщо в кристалі не буде дислокацій – легко рухомих дефектів, що полегшують пластичну деформацію, то кристал повинен мати високу міцність, близьку до теоретичної. Це доведено створенням бездислокаційних кристалів у вигляді дуже тонких ниток, які називаються ниткоподібними кристалами або “вусами”.

Із збільшенням в металі густини дислокацій міцність спочатку різко знижується (рис. 6.6), оскільки відносно невелика кількість дислокацій при переміщенні на своєму шляху зустрічає мало перешкод, гальмуючих цей рух. Такі перешкоди утворюються при перетині або “зіткненні” рухомих дислокацій одна з одною. При незначній густині дислокацій число таких зіткнень мале. Однак при збільшенні густини дислокацій більше деякого значення (точка 3 на рис. 6.6), що обумовлює мінімальне значення характеристик міцності, відбувається зміцнення за рахунок все більш частих зустрічей і гальмувань дислокацій.

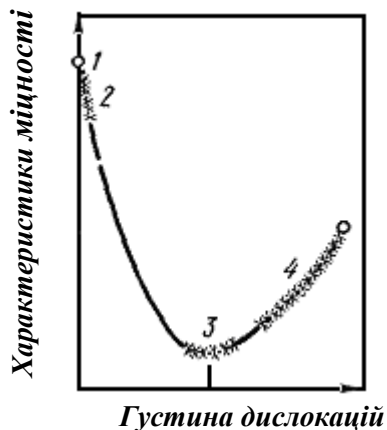


Рис. 6.6.

Залежність міцності металів від густини дислокацій (схема):
 1 – ідеальний кристал без дефектів; 2 – бездислокаційні кристали (“вуса”); 3 – відпалені метали;
 4 – метали, зміцнені холодною деформацією й іншими способами, що забезпечують високу густину дефектів кристалічної будови

Таким чином, зміцнення можна досягнути при створенні структури металу, що забезпечує мінімальну рухливість дислокацій. Давно відомі способи зміцнення, які ведуть до збільшення корисної густини дислокацій; це – механічний наклеп, подрібнення зерна, термічна обробка тощо. Крім того, відомі методи легування (тобто втілення в ґратку домішкових атомів, які утворюють різного роду дефекти і спотворення кристалічної ґратки), також є методами утворення перешкод для вільного руху дислокацій (блокування дислокацій). Сюди ж відносяться способи утворення структур з так званими зміцнюючими фазами. Однак при всіх цих способах зміцнення, міцність не досягає теоретичного значення. Отже, в тій або іншій мірі наявність дислокацій в реальному металевому кристалі є причиною більш низької його міцності порівняно з теоретичною і одночасно обумовлює здатність пластично деформуватися.

Чи можна, у зв'язку з цим, розглядати здатність металу до пластичної деформації, як його недолік?

Досвід показує, що здатність реального металу пластично деформуватися є однією із найважливіших і корисних властивостей. Цю властивість використовують при різних технологічних процесах - при протягуванні дроту, операціях згинання, витяжки, штампування тощо. Велике значення вона має і для забезпечення конструкційної міцності або надійності металевих конструкцій, деталей машин й інших виробів із металу. Якщо метал знаходиться у крихкому стані, тобто його здатність до пластичного деформування низька, то він у виробі схильний до раптових, так званих, крихких руйнувань, що часто відбуваються навіть при знижених навантаженнях на виріб.

Ковзання або зсув вздовж певних кристалографічних площинах є основним, але не єдиним механізмом пластичної деформації. При деяких умовах пластичне деформування може також відбуватися шляхом двійникування. Двійникування полягає у зсуві однієї частини кристала в нове положення, симетричне відносно другої частини кристала. Цей зсув відбувається відносно певної площини, яка називається площиною двійникування. Часто воно зустрічається в металах з ОЦК і ГЦК решітками, особливо при великих швидкостях деформації і низьких температурах. На рис. 6.7 порівнюється переміщення атомів, зображених кульками, при ковзанні (зліва) і двійникуванні (справа). В результаті ковзання сусідні атомні площини зміщуються на відстані, кратні цілій міжатомній відстані. Інакше відбувається при двійникуванні, при якому сусідні атомні площини зсуваються на відстань не кратну цілій міжатомній відстані, причому ця відстань пропорційна віддаленню площини зсуву від площини двійникування. Як видно з рис. 6.7, орієнтування зсунутої при двійникуванні частини кристала змінюється. Як видно, площина двійникування, що проходить через лінію AA (перпендикулярна площині рисунка) розділяє кристал в цій

області на дві по різному орієнтовані частини. У нижній частині змін при двійникуванні не відбулося, і орієнтація кристала відповідає вихідній. У верхній частині зміщення атомів відбувалося так, що чим далі від площини двійникування розміщується площина зсуву, тим на більшу відстань переміщуються в ній атоми.

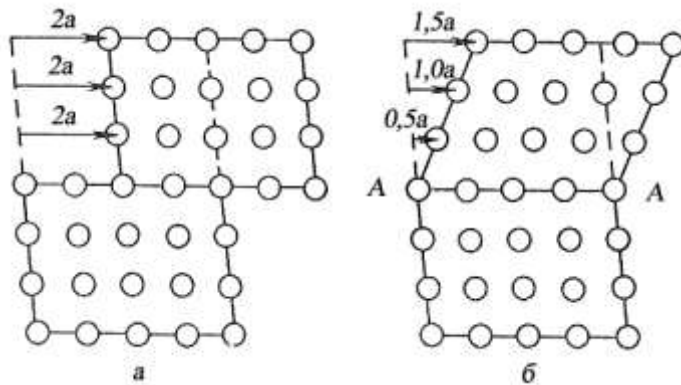


Рис. 6.7.
Схема зміщення атомів при ковзанні (а)
і двійникуванні (б)

Тому при двійникуванні відбулася переорієнтація – утворився двійниковий прошарок. Кристалічна решітка всередині двійникового прошарку є дзеркальним відображенням решітки в другій частині кристала. Площиною дзеркального відображення служить площина двійникування (положення зміщених атомів в двійниковому прошарку можна одержати шляхом дзеркального відбивання незміщених атомів, що знаходяться в другій частині кристала, відносно площини двійникування).

Двійникування відбувається при більших сколюючих напруженнях, ніж ковзання, розвивається скачко подібно і іноді супроводжується потріскуванням (наприклад, в олові). Часто двійникування відбувається одночасно з ковзанням, причому ковзання приводить до значно більшої відносної деформації, ніж двійникування.

ПРОГРАМА ПІДГОТОВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Вивчити теоретичний матеріал за даним посібником та рекомендованими літературними джерелами.
2. Пояснити чому:
 - а) метал під дією зовнішніх сил спочатку зазнає пружної, а потім пластичної деформації;
 - б) при пластичній деформації (на відміну від пружної) зникають пружні сили, здатні змістити атоми у вихідне положення;
 - в) при пластичній деформації найбільш легкий зсув відбувається лише вздовж певних площин і напрямів;
 - г) при збільшенні густини дислокацій більше деякого значення відбувається зміцнення кристалів;
 - д) здатність металу до пластичної деформації є його перевагою, а не недоліком.
3. Пояснити що таке лінії Людерса – Чернова.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Атаманюк В.В. Технологія конструкційних матеріалів: Навчальний посібник для вищих навчальних закладів. – Київ: Кондор, 2006. С. 118 – 143.

ЗАВДАННЯ Й МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

1. Зарисувати схему виникнення нормальних і дотичних напружень при деформації металу.
2. Довести, що максимальне значення нормального напруження σ_n буде при куті між віссю розтягу і перпендикуляром до площі перерізу рівним 0° , а дотичного τ - при куті між віссю розтягу і напрямом ковзання рівним 45° .

3. Зарисувати схему пружної деформації і крихкого руйнування під дією нормальних напружень. Описати фізичну суть пружної деформації.

4. Зарисувати схему пластичної деформації і пластичного (в'язкого) руйнування під дією дотичних напружень. Описати фізичну суть пластичної деформації.

5. Зарисувати криву залежності характеристик міцності кристалічного матеріалу від числа дефектів у ньому. Пояснити причину різниці між теоретичною і реальною міцністю кристалів.

6. Зарисувати схему зсуву на один параметр ґратки верхньої частини кристалу відносно його нижньої частини при русі дислокації через всю площину ковзання. Описати дислокаційний механізм пластичної деформації.

7. Зарисувати схему виникнення двійників. Описати суть процесу двійникування.

8. Провести холодну пластичну деформацію на приладі Брінелля шляхом втискування сталюї загартованої кульки діаметром 10 мм з навантаженням 1839, 2452, 4903, 9807, 19614 Н на одному зразку і з навантаженням 19614 Н на 4 зразках із сталі 10.

9. Виміряти твердість зразків у вихідному стані і пластично деформованих з різним ступенем. Вимірювання твердості HRB проводити на недеформованій поверхні і в центрі кожного сферичного відбитка. Результати записати в табл. 6.1.

Таблиця 6.1. Результати вимірювання твердості зразків після деформації

Марка сталі	Ступінь пластичної деформації (пропорційна навантаженню за Брінеллем), Н (кгс)	Твердість, HRB	Примітка
Сталь 10	У вихідному стані		
	1839 (187)		
	2452 (250)		
	4903 (500)		
	9807 (1000)		
	19614 (2000)		

10. Побудувати графік зміни твердості сталі залежно від ступеня деформації (за даними табл. 6.1 і зробити висновки щодо отриманих результатів).

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що називається механічним напруженням? Які напруження виникають у металі при його навантаженні? В якому випадку ці напруження досягають максимального значення?

2. Охарактеризувати фізичну природу пружної деформації металів і крихкого руйнування під дією нормальних напружень.

3. Охарактеризувати фізичну природу пластичної деформації металів і пластичного (в'язкого) руйнування під дією дотичних напружень.

4. Охарактеризувати дислокаційний механізм пластичної деформації.

5. Пояснити причину різниці між теоретичною і реальною міцністю кристалів.

6. В чому суть процесу двійникування?

7. Як змінюється структура металу в результаті холодної пластичної деформації?

8. Що таке наклеп? Як змінюються властивості металу при наклепі?

Лабораторна робота № 7 РЕКРИСТАЛІЗАЦІЯ МЕТАЛІВ

Мета: Ознайомитися з рекристалізацією металів і навчитися визначати розмір зерна після рекристалізації в залежності від ступеня попередньої холодної деформації.

Обладнання, матеріали та інструменти

Комплект зразків технічного заліза, що деформовані на 0, 5, 10, 30 і 70% відповідно. Пластинки відпаленого алюмінію розміром: довжина 150 мм, ширина 10 мм і товщина 0,3 мм.

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Пластична деформація переводить метал в нестійкий (метастабільний) стан. Для повернення металу в стійкий (стабільний) стан необхідно створити умови для активного переміщення атомів у вихідні рівноважні положення. Цьому сприяє підвищення температури.

При нагріванні деформований метал переходить у рівноважний стан, що супроводжується поверненням змінених деформацією властивостей до вихідних значень.

Процеси, що відбуваються при нагріванні зміцненої деформацією речовини, поділяють на дві стадії: повернення і рекристалізацію. У свою чергу стадія повернення включає відпочинок і полігонізацію, а стадія рекристалізації – первинну рекристалізацію (рекристалізацію обробки), збірну і вторинну рекристалізацію.

Повернення – початкова стадія зменшення міцності, зв'язана зі змінами в тонкій кристалічній структурі.

Повернення I-ого роду (або *відпочинок*) відбувається в результаті нагрівання до відносно невисоких температур і приводить до часткового зменшення пружних спотворень у решітці. В процесі відпочинку в металі відбувається ряд елементарних процесів, основними з яких є дифузія точкових дефектів і їхнє зміщення до дислокацій або анігіляція (взаємним знищенням). За рахунок цього частково знімаються пружні спотворення кристалічної ґратки і, як наслідок, відновлюються в деякій мірі фізичні властивості. Однак мікроструктура металу і кристалографічна орієнтація його зерен практично не змінюються.

Повернення II-ого роду або *полігонізація* помітно змінює структуру деформованого металу при нагріванні. Під полігонізацією розуміють перерозподіл дислокацій, що приводить до утворення областей кристала, вільних від дислокацій і відокремлених одна від одної поверхнями поділу. У результаті відбувається подальше зменшення пружних спотворень решітки і більш повне відновлення фізичних властивостей.

Рекристалізація, тобто утворення нових зерен, протікає при більш високих температурах, ніж повернення й полігонізація, може початися з помітною швидкістю після нагрівання вище певної температури. Зіставлення температур рекристалізацій різних металів показує, що між мінімальною температурою рекристалізації й температурою плавлення існує проста залежність: $T_p = \alpha T_{пл}$, де T_p - абсолютна температура рекристалізації; $T_{пл}$ - абсолютна температура плавлення; α - коефіцієнт, що залежить від чистоти металу.

Чим вище чистота металу, тим нижче температура рекристалізації. У металів звичайної технічної чистоти $\alpha = 0,3 \dots 0,4$. Температура рекристалізації сплавів, як правило, вище температури рекристалізації чистих металів і в деяких випадках досягає $0,8 T_{пл}$. Навпаки, дуже чисті метали мають низьку температуру рекристалізації: $0,2 T_{пл}$ і навіть $0,1 T_{пл}$.

У деформованому металі формуються й ростуть центри рекристалізації - ділянки з неспотвореними решітками, відділені від матриці межами з більшими кутами розорієнтування. При критичній деформації є неоднорідність наклепу різних зерен; і вона настільки велика, що через різницю в накопиченій об'ємній енергії сусідніх зерен при нагріванні йде швидка міграція окремих границь на відстані, порівнянні з розмірами зерен, тобто вихідні зерна ростуть за рахунок сусідніх. Крім того, густина дислокацій і надлишок дислокацій одного знака недостатні, щоб викликати утворення нових висококутових меж і центрів первинної рекристалізації.

Збірна рекристалізація виникає після первинної, точніше після того, як вирости центри рекристалізації приходять у взаємне зіткнення. Вона полягає в рівномірному укрупненні структури шляхом росту одних зерен за рахунок інших, нових і відбувається в результаті переміщення границь.

Вторинна рекристалізація протікає в матеріалі при високій температурі й дуже великому збільшенні тривалості відпалювання. Вона полягає в різкому вибіркового росту окремих рекристалізованих зерен і супроводжується появою різнозернистості. Цій стадії сприяють такі фактори:

1) різна величина об'ємної енергії зерен, менш деформовані зерна ростуть за рахунок більше деформованих;

2) висока рухливість границь одних зерен у порівнянні з іншими, що може бути викликано різними причинами. Одна з них - нерівномірний розподіл дисперсних включень по межах зерен. Границі, що вивільнюються, у першу чергу, інтенсивно мігрують у напрямі зменшення поверхневої енергії, що створює сприятливі умови для прискореного росту окремих зерен.

Якщо температура деформації нижче температури рекристалізації, то деформація вважається холодною. Процес холодної деформації супроводжується наклепом металу, тому що малі температури не забезпечують зменшення міцності металу, механічні властивості металів при холодній деформації значно змінюються: зростає міцність і зменшується пластичність.

Якщо температура деформації вище температури рекристалізації, то деформацію називають гарячою. Одержуване в процесі гарячої деформації зміцнення відразу повністю або частково знижується за рахунок рекристалізації, що знижує опір деформації й підвищує пластичність металів.

Розмір зерна рекристалізованого металу залежить від таких факторів: розміру вихідного зерна; ступеня деформації; температури й швидкості нагрівання; тривалості витримки; наявності розчинних і нерозчинних домішок.

Процес рекристалізації підтверджується рентгенографічним аналізом. Лінії на рентгенограмах, знятих з нерухомого деформованого зразка виходять суцільними й розмитими. У міру зняття напружень при підвищених температурах на стадії повернення лінії стають чіткіші й тонші. Як тільки починається процес рекристалізації, і в структурі з'являються рекристалізовані зерна, на суцільній лінії рентгенограми виникають окремі рефлекси. У міру зменшення поля нерекристалізованих ділянок металу число рефлексів на рентгенограмі збільшується, а суцільне тло лінії поступово зникає.

Надпластичністю називають здатність металів і сплавів до значної рівномірної деформації, при якій відносне видовження досягає сотень і тисяч відсотків. Це явище вперше було виявлене О.О. Бочваром і З.А. Свицерским на сплавах, що містять 22% цинку. Для того, щоб сплави мали здатність до надпластичності, необхідно одержати ультрадрібнозернисту структуру. Такий структурний стан досягається шляхом відповідної термічної обробки. В останні роки явище надпластичності використовується у виробництві різних деталей і заготовок досить складної форми за допомогою пневматичного формування листів або об'ємного пресування.

Розрізняють кілька видів надпластичності:

1) дрібнозерниста надпластичність проявляється при підвищених температурах не нижче, ніж 0,4 $T_{пл}$ (при дуже дрібнім зерні розміром у діаметрі від 3 до 5 мкм і при малій швидкості деформування до 10⁻⁴ м⁻¹);

2) субкритична надпластичність. Має місце при температурах поблизу (нижче) температури фазових перетворень і при певній вихідній структурі;

3) мартенситна надпластичність при так званому мартенситному (зсувному, бездифузійному) перетворенні спостерігається підвищена пластичність;

4) рекристалізаційна надпластичність.

Звичайний опір деформації поєднують у загальне поняття **міцність**, а опір руйнуванню - **надійність**. Якщо руйнування відбувається не за один, а за багато циклів навантаження, причому за кожний цикл відбувається мікроруйнування (сюди відносяться такі процеси поступового руйнування, як зношування, втомність, корозія, повзучість), то це характеризує **довговічність** матеріалу.

ПРОГРАМА ПІДГОТОВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Зарисувати схему зміни властивостей металу (твердості, міцності, пластичності і в'язкості) в залежності від ступеня деформації. Пояснити суть явища наклепу.
2. Зарисувати графік зміни границі міцності і відносного видовження наклепаного металу в залежності від температури нагрівання наклепаного металу. Пояснити причини такої їхньої зміни.
3. Зарисувати схему зміни структури холодно деформованого (наклепаного) металу при нагріванні та пояснити її.
4. Зарисувати схему утворення волокнистої структури металу в процесі гарячої обробки тиском та пояснити її.
5. Пояснити чому рекристалізаційне відпалювання низьковуглецевих сталей проводять при 600...700, латуней і бронз при 560...700, алюмінієвих сплавів при 350...450⁰С?

ЗАВДАННЯ Й МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

1. Провести відпалювання зразків після пластичної деформації з навантаженням 19614 Н. Для цього розмістити по одному зразку в електропечі, попередньо нагрітій до 400, 550, 650 і 750⁰С, витримати 30 хв.
2. Після охолодження зразків на повітрі виміряти твердість HRB в центрі відбитка, одержані дані записати в таблицю 7.1.

Таблиця 7.1. Результати вимірювання твердості зразків після відпалювання

Марка сталі	Ступінь пластичної деформації (пропорційна навантаженню за Брінеллем), Н (кгс)	Температура відпалювання, ⁰ С	Твердість, HRB
Сталь 10	19614 (2000)	400	
		550	
		650	
		750	

3. Побудувати графік зміни твердості пластично деформованої сталі залежно від ступеня деформації (за даними табл. 7.1 і зробити висновки щодо отриманих результатів).
4. Зарисувати схеми мікроструктур сталі 10 до пластичної деформації, після пластичної деформації і після рекристалізаційного відпалювання.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Охарактеризувати суть процесів повернення і полігонізації.
2. Що таке первинна рекристалізація. Що є рушійною силою первинної рекристалізації?
3. Охарактеризувати суть і особливості збірної рекристалізації.
4. Як змінюються властивості металу в процесі наклепу і рекристалізації?
5. Що таке текстура рекристалізації?
6. Яка різниця між холодною і гарячою деформацією?
7. Охарактеризувати суть процесів, що відбуваються в процесі утворення волокнистої структури металів.

Лабораторна робота № 8
ПОБУДОВА ДІАГРАМ СТАНУ ПОДВІЙНИХ СПЛАВІВ
ТЕРМІЧНИМ МЕТОДОМ

- Мета:**
1. Вивчити методику побудови діаграм стану двокомпонентних сплавів за допомогою термічного аналізу.
 2. Одержати експериментальні дані і побудувати діаграму стану.
 3. Навчитися за діаграмою стану встановлювати, які процеси відбуваються у плавах різного складу при їх охолодженні, які при цьому утворюються фази і структури, визначати температури фазових перетворень, а також якість та кількість фаз у різних областях діаграми стану.
 4. Навчитися застосовувати до сплавів правило фаз і правила відрізків.

Обладнання, матеріали та інструменти

Муфельна піч, установка для проведення термічного аналізу, секундомір, серія сплавів системи свинець-сурма і сурма.

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Діаграма стану – це графічне зображення стану сплаву залежно від температури (тиск постійний, для всіх випадків, що розглядаються) і концентрації. Вона характеризує стійкі стани, тобто такі, вільна енергія яких при даних умовах мінімальна. Тому діаграма стану може також називатися *діаграмою рівноваги*, оскільки вона показує, які за даних умов існують рівноважні стани. У відповідності з цим і зміни в сплаві, що відображені на діаграмі, відносяться до рівноважних умов, тобто при відсутності перегрівання або переохолодження.

Діаграма стану є теоретичним випадком, а на практиці використовується для аналізу перетворень при малих швидкостях нагрівання або охолодження.

Діаграму будують у двох вимірах. По осі ординат у вибраному масштабі відкладають температуру, а по осі абсцис – концентрацію. Загальний вміст обох компонентів у сплаві дорівнює 100%, і кожна точка на осі абсцис відповідає певній концентрації кожного компонента.

Діаграма стану сплавів з трьома компонентами має просторовий вигляд (дві осі концентрації і одна температурна). Чотирьохкомпонентну систему і системи з більшим числом компонентів, також зображають у вигляді просторових діаграм, але з деякими спрощеннями, оскільки вони мають більше трьох незалежних змінних.

Кожна точка на діаграмі стану показує стан сплаву даної концентрації при даній температурі. Кожна вертикаль відповідає зміні температури відповідного сплаву. Зміна фазового стану сплаву відмічається на діаграмі точкою. Лінії, що з'єднують точки аналогічних перетворень, розмежовують на діаграмі області фазових станів. Вид діаграми стану залежить від того, як реагують обидва компоненти один з одним у твердому і рідкому станах, тобто чи розчинні вони один в одному у твердому і рідкому станах, чи утворюють вони хімічні сполуки тощо.

Побудова діаграм стану здійснюється різними експериментальними методами. Звичайно, для цього найбільш часто користуються результатами термічного аналізу, тобто будують криві охолодження і за зупинками та згинами на цих кривих, що викликані тепловим ефектом перетворень, визначають температури фазових перетворень.

Для встановлення температур фазових перетворень (критичних точок) сплавів необхідно:

1. Приготувати ряд сплавів системи, що вивчаються.
2. Розплавити сплави і провести їх повільне охолодження, фіксуючи залежність зниження температури від часу охолодження.
3. Побудувати криві охолодження кожного сплаву.

Маючи достатню кількість кривих охолодження сплавів даної системи, а також криві охолодження чистих компонентів (утворюючих сплавів), і визначивши на них температури початку і кінця фазових перетворень, можна побудувати діаграму стану. Для цього одержані критичні температури (точки) слід перенести на ординати відповідних сплавів. З'єднавши точки, що мають однакову фізичну суть, одержимо діаграму стану досліджуваної системи.

Для більш точної побудови діаграми стану в доповнення до термічного аналізу вивчають за допомогою мікроскопа і рентгенівських променів структуру сплавів різного складу і по-різному оброблених термічно, визначають різноманітні фізичні властивості сплавів тощо.

ПРОГРАМА ПІДГОТОВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Вивчити теоретичний матеріал за приведеними нижче літературними джерелами. Особливу увагу необхідно звернути на особливості процесу кристалізації сплавів і методику експериментальної побудови діаграм стану подвійних сплавів.

2. Записати в зошит, що називається фазою, компонентом, системою, флуктуацією концентрацій, фазовим перетворенням у твердому стані, а також правило фаз (закон Гіббса) і правила відрізків. Пояснити для чого використовують правило фаз (закон Гіббса) і правила відрізків.

3. Коротко описати, які компоненти утворюють типи сплавів: механічні суміші, тверді розчини, хімічні сполуки, а також характер процесів, що відбуваються при кристалізації кожного типу сплаву, особливості утворюваних структур і властивостей.

ЗАВДАННЯ Й МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

Завдання 1. Побудувати діаграму стану першого роду і провести її аналіз.

1. За допомогою термічного аналізу провести експериментальні дослідження сплавів системи Pb–Sb, а також чистих свинцю і сурми, і за їхніми результатами побудувати криві охолодження в координатах температура – час. Визначити на кривих охолодження критичні температури (критичні точки) і записати їх у табл. 8.1.

2. За одержаними даними (табл. 8.1), побудувати діаграму стану першого роду для сплавів системи Pb–Sb у координатах температура – концентрація і вказати на ній характерні точки, лінії, фазові і структурні складові.

Таблиця 8.1. Температури початку і кінця кристалізації сплавів системи Pb – Sb

Речовина	Температура початку кристалізації, °С	Температура кінця кристалізації, °С
100%Pb		
95%Pb + 5% Sb		
90%Pb + 10% Sb		
87%Pb + 13% Sb		
80%Pb + 20% Sb		
75%Pb + 25% Sb		
60%Pb + 40% Sb		
20%Pb + 80% Sb		
100%Sb		

Діаграму слід ретельно зобразити вздовж чистої сторінки паперу на її лівій верхній частині, щоб справа було місце для побудови кривих охолодження типових сплавів і схем структури станів (про що буде йти мова нижче), внизу – місце для записів і розрахунків. Вкрай важливо, щоб діаграма розміщувалася на одній сторінці паперу. Це дозволяє мати в полі зору всі деталі аналізу і в значній мірі гарантує від помилок. Ні в якому разі не можна допускати, щоб частина діаграми була на зворотному боці сторінки.

3. За допомогою одержаної діаграми стану системи **Pb–Sb**, побудувати для заданих викладачем двох сплавів (один сплав – доевтектичного складу, другий – заевтектичного) криві охолодження, відзначаючи на них цифрами критичні температури (такими є точки перетину ординати з лініями діаграми) і перевірити правильність їхньої побудови за допомогою правила фаз.

Описати перетворення, що відбуваються при охолодженні цих сплавів.

Для цих же сплавів (за правилами відрізків) при заданій викладачем температурі визначити концентрацію компонентів у фазах і їхнє процентне співвідношення.

Будувати криву охолодження сплаву розпочати із області рідкого стану. В міру зниження температури проти кожної ділянки кривої охолодження зображати схематично фази (структури), які існують у даному інтервалі температур, відмічаючи також їх символами. При встановленні природи фаз необхідно мати на увазі, що найважливішими фазами у сплавах можуть бути чисті компоненти, хімічні сполуки, тверді розчини.

Ознака, за якою є можливість вияснити природу фази, - характер зміни складу фази зі зміною температури. Склад твердого розчину зі зміною температури змінюється, склад хімічної сполуки і чистого компонента, очевидно, постійний. При позначенні фаз чисті компоненти позначаються символами типу **A**, **B**, хімічна сполука – символами типу **A_nB_m**, тверді розчини – малими буквами грецького алфавіту (**α**, **β**, **γ**).

Завдання 2. Побудувати діаграму стану другого роду системи **Sb–Bi** і провести її аналіз.

1. Використовуючи критичні температури приведені в табл. 8.2 побудувати діаграму стану другого роду для сплавів системи **Sb–Bi** в координатах температура – концентрація і вказати на ній характерні точки, лінії, фазові і структурні складові.

Таблиця 8.2. Температури початку і кінця кристалізації сплавів системи **Sb – Bi**

Склад сплаву	Температура кристалізації, °C	
	Початкова	Кінцева
100%Sb	630	630
90% Sb + 10%Bi	620	510
70% Sb + 30% Bi	590	400
50% Sb + 50% Bi	540	340
50% Sb + 70% Bi	470	300
10% Sb + 90% Bi	350	280
100% Bi	272	272

2. Використовуючи одержану діаграму стану системи **Sb–Bi**, побудувати для заданого викладачем сплаву криву охолодження і перевірити правильність її побудови за допомогою правила фаз. При цьому необхідно дотримуватись методичних порад приведених у п. 2 завдання 1.

3. Описати перетворення, що відбуваються при охолодженні цього сплаву. Для цього ж сплаву (за правилами відрізків) при заданій викладачем температурі визначити концентрацію компонентів в фазах і їхнє процентне співвідношення.

4. Використовуючи діаграму стану системи **Sb–Bi**, пояснити явище дендритної ліквідації.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які сплави називаються подвійними? Що називається сплавом, компонентом, системою, фазою, структурою? Чому в техніці в основному використовують сплави, а не чисті метали?

2. Охарактеризувати особливості кристалізації сплавів. Яка різниця між кристалізацією сплавів і чистих металів? Чим відрізняються криві охолодження свинцю, сурми і вісмуту від кривих охолодження сплавів системи **Pb–Sb**.

3. Сформулюйте правило фаз і правила відрізків? З якою метою їх використовують?

4. Які типи сплавів можуть утворюватися в залежності від фізико-хімічної взаємодії компонентів, що їх утворюють? Охарактеризувати процес кристалізації при утворенні кожного типу сплаву, одержувану структуру і властивості.

5. Що називається діаграмою стану? В яких координатах будується діаграма стану подвійних сплавів? Від чого залежить вид діаграми стану подвійних сплавів? Що означає будь-яка точка в площині діаграми стану подвійних сплавів? Яке практичне значення має знання критичних точок всіх сплавів даної системи?

6. Як будуються діаграми стану сплавів системи **Pb–Sb** і **Sb–Bi**? Що характеризують лінії ліквідус і солідус цих діаграм? В чому суть термічного методу побудови діаграм стану подвійних сплавів? Що означає кожна точка, розміщена на горизонтальній осі діаграми стану системи **Pb–Sb**?

7. У чому полягає принципова відмінність діаграми стану системи **Pb–Sb** від діаграми стану сплавів системи **Sb–Bi**?

Лабораторна робота № 9 АНАЛІЗ ДІАГРАМ СТАНУ ПОДВІЙНИХ СПЛАВІВ

Мета: Навчитися аналізувати діаграми стану подвійних сплавів.

Обладнання, матеріали та інструменти

Діаграми стану різних подвійних сплавів.

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

За діаграмами стану можна визначити не тільки температури фазових перетворень у сплавах будь-якого складу, але і якість та кількість фаз у різних областях діаграми стану. Однак цим не вичерпується практичне значення діаграм стану сплавів. Зокрема, аналізуючи процеси, що відбуваються при охолодженні сплаву, за діаграмою стану можна виявити, в якій формі проявляються утворені при охолодженні сплаву фази.

Форма, за якою проявляються фази називається *структурою сплаву*. Можливість за діаграмою стану прогнозувати структуру, що утворюється зі сплавів різного складу, має дуже велике практичне значення, оскільки у двофазових сплавах не фази, а саме структури сплавів визначають їхні механічні властивості. Так, наприклад, сталі і білі чавуни складаються із одних і тих же фаз, але властивості цих сплавів значно відрізняються саме тому, що структури цих сплавів різні.

Головна мета вивчення теоретичного матеріалу цієї лабораторної роботи – навчитися за діаграмою стану установлювати, які процеси відбуваються у сплавах при їхньому охолодженні, які при цьому утворюються фази і структури сплавів різного складу. Механічно вивчити це неможливо, оскільки є тисячі розроблених діаграм стану. Тому фахівець повинен уміти мислено уявити ті процеси, що відбуваються у сплавах і формують їхню структуру та властивості. Уміючи уявляти це, фахівець в змозі оптимально впливати на технологічний процес виготовлення і обробки деталей машин та конструкцій.

Для цього необхідно:

- 1) чітко розуміти особливості утворення і будови основних фаз у сплавах, якими є тверді розчини, хімічні сполуки, чисті компоненти;
- 2) знати, як ці фази позначаються;
- 3) знати властивості і ознаки цих фаз;

4) уміти за діаграмою стану визначити склад і кількість фаз;

5) уміти логічно мислити.

Як показує практика навчання, найбільш ефективно за наявною діаграмою стану можна здійснити теоретичне дослідження сплавів, якщо дотримуватись оптимальної методики аналізу процесів, що відбуваються при охолодженні заданих сплавів.

Для вироблення навичок такого аналізу процесів, необхідно обов'язково виконувати такі дії:

- будувати криву охолодження сплаву, що розглядається;

- проти ділянок кривої охолодження схематично зображати стан фаз (структуру) сплаву;

- письмово пояснювати процеси, що відбуваються у сплаві в процесі охолодження.

В результаті відбувається перевід інформації, графічно закодованої в діаграмі стану, на звичайну мову, тобто розуміння процесів, що відбуваються у сплаві при його охолодженні.

У зв'язку з тим, що при аналізі процесів, що відбуваються в сплавах у процесі охолодження, необхідно зображати схеми кривих охолодження, зупинимося на тому, що визначає форму кривих охолодження, якщо її будують за допомогою діаграми стану.

Первинна кристалізація, тобто кристалізація із рідкого стану, для чистих металів відбувається при постійній температурі з певним тепловим ефектом, внаслідок чого на кривих охолодження при температурах кристалізації (і на кривих нагрівання при температурі плавлення) виявляється зупинка (горизонтальна ділянка).

У сплавах із двох компонентів первинна кристалізація відбувається зазначеним вище чином, тобто при постійній температурі, лише в сплавах евтектичного сплаву, в сплавах – хімічних сполуках і в тих твердих розчинах, склад яких на діаграмі стану відповідає положенню мінімуму або максимуму.

Кристалізація інших сплавів відбувається в інтервалі температур. Коли відбувається охолодження сплаву (навколишнє середовище має нижчу температуру) в однофазовому стані, температура сплаву знижується плавно. Якщо відбуваються фазові перетворення (утворення кристалів із рідини), то поряд з охолодженням сплаву відбувається виділення прихованої теплоти перетворення (що частково або повністю компенсує втрату теплоти) і швидкість охолодження знижується, що змінює нахил кривої охолодження. Тому початок процесу кристалізації цих сплавів характеризується згином на кривій охолодження. Закінчення процесу кристалізації може залежно від числа фаз характеризуватися на кривій охолодження згином або горизонтальною ділянкою.

Якщо сплав після закінчення кристалізації однофазний (твердий розчин), тоді протягом всього процесу кристалізації в рівновазі перебувають дві фази: рідина і кристали твердого розчину. Закінчення кристалізації характеризується згином (змінюється нахил кривої) на кривій охолодження. На діаграмі стану цьому випадку відповідає похилий хід лінії солідуса і зміна температури кристалізації при зміні концентрації сплаву.

У сплавах механічних сумішах, що утворюють евтектику, в момент завершення кристалізації на лінії солідуса перебувають у рівновазі три фази: кристали обох компонентів (або їх розчинів і сполук) і рідина. Згідно з правилом фаз ($C = K - \Phi + 1$), ця рівновага нон варіантна: $C = 2 - 3 + 1 = 0$. Тому завершення первинної кристалізації відбувається при постійній температурі і характеризується зупинкою (горизонтальною ділянкою) на кривій охолодження. На діаграмі стану цьому випадку відповідає горизонтальний хід лінії солідуса (пряма лінія).

Криві охолодження, які будують, аналізуючи діаграму стану, повинні показувати не тільки характер перетворення, але крім того, і відносну кількість сплаву, що зазнає перетворення при постійній температурі. Це впливає з того, що температурна зупинка залежить від теплового ефекту перетворення і при однаковій масі і швидкості охолодження сплаву пропорційна кількості утворюваної евтектики.

Для визначення протяжності горизонтальної ділянки на кривій охолодження, необхідно вибрати масштаб для зображення кристалізації сплаву, що містить 100% евтектики. При побудові необхідних кривих охолодження зручно, наприклад, прийняти горизонтальну ділянку кривої для евтектичного сплаву довжиною 10 мм, а далі за правилом відрізків визначити відносну кількість евтектики, що утворюється при кристалізації даного сплаву, і показати кристалізацію евтектики на кривій охолодження горизонтальною ділянкою довжиною відповідною її відносній кількості. Наприклад, при наявності в сплаві 50% евтектики кристалізацію необхідно показати (в прийнятому масштабі) горизонтальною ділянкою довжиною 5 мм.

Часто в сплавах однієї системи залежно від концентрації і числа фаз, що утворюються, відбуваються обидва перетворення. Наприклад, кристалізація α -фази (а також β -фази) проходить при змінній температурі, а кристалізація евтектики – при постійній.

У сплавах з перитектичним перетворенням на кривій охолодження виявляється: згин, що вказує початок кристалізації (в рівновазі перебувають дві фази: рідина і первинні кристали фази (що утворюється), збагаченої більш тугоплавким компонентом); горизонтальна ділянка (зупинка), що відповідає перитектичному перетворенню (реакції), при якому в рівновазі перебувають три фази: первинні кристали фази збагачені тугоплавким компонентом, рідина і кристали фази (що утворюється) збагаченої більш легкоплавким компонентом. Крива охолодження сплавів, що зберігають після цих перетворень рідку фазу, має крім цього, згин, при температурі завершення кристалізації. Зупинка на кривій охолодження відповідає горизонтальній лінії на діаграмі стану.

Деяко відрізняється процес кристалізації в сплавах, що утворюють хімічні сполуки, нестійкі при високих температурах (при відсутності розчинності між хімічною сполукою і компонентами). На кривій охолодження ряду сплавів спостерігається спочатку згин (початок кристалізації), далі горизонтальна ділянка, що відповідає реакції утворення хімічної сполуки, і нарешті, друга горизонтальна ділянка, що відповідає утворенню евтектики. Цим двом ділянкам на кривій охолодження відповідають дві горизонтальні лінії на діаграмі стану.

Вторинна кристалізація, тобто перетворення у твердому стані (поліморфне перетворення, повний або частковий розпад твердого розчину, утворення або розпад нестійких хімічних сполук проходить з певним тепловим ефектом. Однак він часто незначний, і тому для визначення температури таких перетворень поряд з побудовою кривих охолодження застосовують ті методи аналізу (дилатометричний метод, вимірювання питомого електроопору тощо), що для даних сплавів є більш структурно-чутливими. У чистих металів перетворення в твердому стані (поліморфне) проходить при постійній температурі, тому на кривій охолодження (нагрівання) при температурі перетворення спостерігається горизонтальна ділянка.

У подвійних сплавах перетворення в твердому стані відбувається при постійних температурах у таких випадках.

У сплавах – твердих розчинах: при евтектоїдному перетворенні в результаті повного розпаду (перетворення) твердого розчину; при перитектоїдному перетворенні; при утворенні інтерметалідних фаз. Розпад (перетворення) твердого розчину, що утворився при високій температурі, в процесі подальшого евтектоїдного або перитектоїдного перетворення проходить при постійній температурі. Якщо склад сплаву відрізняється від евтектоїдного (або перитектоїдного), тоді спочатку проходить частковий розпад з виділенням із вихідного твердого розчину нової фази, і лише після цього, при охолодженні до евтектоїдної температури, перетворення відбувається при постійній температурі. Початок розпаду характеризується на кривій охолодження згином, а закінчення розпаду при евтектоїдному перетворенні (і перитектоїдному) – горизонтальною ділянкою. Криві охолодження деяких сплавів із перитектоїдним перетворенням мають, крім того, при більш низькій температурі ще один згин, що відповідає закінченню процесу перетворення (однак в умовах охолодження, що застосовуються в техніці, перитектоїдне перетворення до кінця не завершується).

У сплавах – механічних сумішах при поліморфному перетворенні одного з компонентів або утворенні ними хімічної сполуки. На діаграмі стану цим перетворенням відповідає горизонтальна лінія, а на кривій охолодження (нагрівання) – горизонтальна ділянка (зупинка).

В інших випадках перетвореннях у твердому стані відбувається в інтервалі температур і розпочинається в сплавах різної концентрації при різних температурах; відповідні криві на діаграмі стану мають нахил і показують перетворення, або частковий розпад твердого розчину. В цьому випадку, початок і кінець перетворення на кривій характеризується згином, після якого кут нахилу дещо змінюється.

Аналіз діаграми стану необхідно проводити в такій послідовності.

1. Провести аналіз лінії ліквідус з точки зору наявності на ній максимуму. Якщо на лінії ліквідус є максимум, то це вказує на те, що компоненти утворюють хімічну сполуку, склад якої відповідає проекції максимуму на вісь абсцис.

2. При наявності максимуму спроектуйте його на вісь абсцис і відзначте одержану точку символом хімічної сполуки.

3. Хімічну сполуку необхідно розглядати як самостійний компонент. Тоді вихідна діаграма може розглядатися як така, що складається із двох діаграм, наприклад компонент **A** плюс хімічна сполука і хімічна сполука плюс компонент **B**. Такий розподіл спрощує аналіз вихідної складової діаграми стану.

4. Дослідіть осі ординат, на яких виявляються критичні температури фазових перетворень компонентів системи. Якщо на осі є одна потрійна точка (точка перетину лінії ліквідус і солідус з ординатою) то даний компонент не має фазових перетворень у твердому стані. Якщо, крім цієї точки, є, при більш низьких температурах, точки перетину похилих ліній діаграми з ординатою, то ці точки характеризують температури поліморфних перетворень компонента у твердому стані.

Наявність поліморфних модифікацій у компонента роблять діаграму стану багатоповерховою: кожна поліморфна фаза може по-різному взаємодіяти з іншим компонентом сплаву. Це значно ускладнює вид діаграми, але методика аналізу діаграми від цього не змінюється.

5. Відзначте на діаграмі типові сплави проведенням відповідних вертикалей. Якщо на діаграмі відзначені фази в її областях, то досить провести вертикаль від вісі складу сплаву, що вивчається.

6. Аналіз перетворень при охолодженні раціонально розпочати з тих типових сплавів, які прилягають до чистих компонентів. Це виявляє однофазові області на діаграмі і спрощує аналіз проміжних типових сплавів.

7. Відзначте цифрами 1, 2, ..., 5 критичні температури для сплаву, що вивчається. Такими є точки перетину ординати з лініями діаграми.

8. Проведіть аналіз процесів, які відбуваються у сплаві при охолодженні із рідкого стану. Для цього розпочинайте будувати криву охолодження сплаву із області рідкого стану. В міру зниження температури проти кожної ділянки кривої охолодження зображайте схематично фази (структури), які існують у даному інтервалі температур, відмічаючи також їх символами.

9. При встановленні природи фаз слід мати на увазі, що найважливішими фазами у сплавах можуть бути чисті компоненти, хімічні сполуки, тверді розчини. Чисті компоненти позначаються їх символами (**A**, **B**), хімічні сполуки – символами типу A_nB_m , тверді розчини – малими буквами грецького алфавіту (α , β , γ).

Щоб з'ясувати природу фаз у двохфазних областях, необхідно уміти визначати склад фаз. Якщо виявиться, що фаза, яка нас цікавить, має змінний склад, то за своєю природою - це твердий розчин. Якщо склад постійний то фаза – або хімічна сполука, або чистий компонент. Яка фаза у конкретному випадку утворюється, покаже визначений вами склад. Якщо склад буде відповідати точкам **A** або **B** на концентраційній вісі, то за природою ця

фаза – відповідний компонент сплаву. Якщо склад фази виявиться рівним складу хімічної сполуки, то фазою, що утворюється, є хімічна сполука.

10. Отже, при переході із одного фазового стану в інший буде виявлятися природа фаз в цих полях. Ні в якому разі не згадуйте подібних комбінацій у раніше вивчених вами сплавів. Найбільш імовірно, що буде помилка, яка автоматично спричинить нові помилки при аналізі наступних перетворень у сплаві, що вивчається.

11. Якщо ордината сплаву перетинає горизонтальні лінії діаграми, то це значить, що при відповідних температурах співіснують три фази і може відбуватися евтектичне, евтектоїдне або перитектичне перетворення, число ступенів вільності при яких рівне нулю.

Зовнішньою ознакою евтектичного і евтектоїдного перетворення є збіг похилих ліній на діаграмі стану в потрійну точку зверху. При перитектичному перетворенні ці лінії збігаються в точку знизу.

11.1. Ні в якому випадку, не гадайте, яке це перетворення, а з'ясуйте його. Цьому і служать схеми фазових станів, які зображені для фазової області, яка передує горизонтальній лінії діаграми.

11.2. Для з'ясування природи перетворення слід перш за все, випереджаючи процес охолодження, переглянути, які фази тривкі нижче температури, на якій ви зупинилися. Це робиться подібно до п.10.1.

11.3. Установіть якість фаз, порівняйте, які фази сплав мав вище температури перетворення. Очевидно, перетворюватися буде та фаза, якої не виявилось нижче температури досліджуваного перетворення. Та фаза, яка була і при температурі наступного фазового стану, участі в перетворенні не бере (винятком може бути перитектичне перетворення).

11.4. Установивши характер фази (або фаз), що перетворюється, необхідно з'ясувати, який її (їхній) склад, і порівняти його зі складом інших фаз, які знаходяться у рівновазі при даній температурі.

11.5. Якщо ж станеться так, що нижче температури перетворення не виявляється однієї фази, яка існувала вище температури перетворення, то має місце евтектичне або евтектоїдне перетворення.

11.6. Якщо в процесі перетворення обидві раніше існуючі фази перетворилися на нову, то має місце перитектичне перетворення. Враховуючи, що при цьому перетворенні кількість однієї із перетворюваних фаз може бути в надлишку, то після перетворення поряд з новою фазою буде і залишок цієї перетворюваної фази. Це покаже характер фаз у новому фазовому стані.

11.7. Після того як процес перетворення буде з'ясований, зобразіть проти нової ділянки кривої охолодження новий фазовий стан (структуру) сплаву і продовжуйте вивчення процесу далі. На рівні нормальної температури запишіть структуру досліджуваного сплаву і встановіть фази в ряді областей діаграми стану. Паралельно з виконанням аналізу виконайте письмове пояснення процесів, що відбуваються.

11.8. Для з'ясування природи фаз у тих фазових областях, що залишилися, необхідно вивчати перетворення у типових сплавах, які перетинають ці фазові області. При сформованих навичках можна уявно прослідкувати за процесами перетворення при охолодженні цих сплавів і з'ясувати характер фаз в необхідних областях. Коли таких навичок ще немає, необхідно провести аналіз цих сплавів із зображенням кривих охолодження за методикою, що наведена вище.

11.9. Аналіз сплаву вимагає граничної уваги, чіткого уміння оперувати правилами відрізків, для визначення складу і кількості фаз, а також логічного мислення.

ПРОГРАМА ПІДГОТОВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Вивчити методику проведення аналізу діаграм стану подвійних сплавів за даним посібником та приведеними нижче літературними джерелами.

2. Записати, в якій послідовності необхідно проводити за допомогою діаграми стану аналіз процесів, що відбуваються при охолодженні заданих сплавів.

3. Перерахувати фактори, що визначають форму кривих охолодження (горизонтальну ділянку або згин), якщо її будують за допомогою діаграми стану.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Технологія металів и матеріалознавство /Под ред. Л.Ф. Усовой. – М.: Металлургия, 1987. – С. 106 - 177.
2. Металловедение и технология металлов /Под ред. Ю.П. Солнцева. – М.: Металлургия, 1988. – С. 106 - 117.
3. Атаманюк В.В. Технологія конструкційних матеріалів: Навчальний посібник для вищих навчальних закладів. – Київ: Кондор, 2006. – С. 143 - 177.
4. Мохорт А.В., Чумак М.Г. Термічна обробка металів: Навч. посібник. – К.: Либідь, 2002. – С. 17– 25.
5. Хільчевський В.В., Кондратюк С.Є., Степаненко В.О., Лопатко К.Г. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів: Навч. посібник. – К.: Либідь, 2002. – С. 74 – 88.

ЗАВДАННЯ Й МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

Задані викладачем діаграми стану ретельно зобразити на чистій сторінці паперу (відповідно до методичних вказівок приведених у лабораторній роботі № 8) і провести їхній аналіз відповідно до методичних вказівок зазначених вище.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Охарактеризувати методику проведення аналізу діаграм стану подвійних сплавів.
2. В чому суть евтектичного і перитектичного перетворень?
3. Яке практичне значення мають діаграми стану?
4. Провести аналіз запропонованих діаграм стану третього і четвертого роду.

Лабораторна робота № 10 ВИРОБНИЦТВО ЧАВУНУ

Мета: Вивчити основні види залізних руд, металургійного палива, флюсів і вогнетривких матеріалів; технологію виробництва чавуну в доменній печі; основну продукцію доменного виробництва.

Обладнання, матеріали та інструменти

Зразки залізних руд (магнетиту, гематиту, лімоніту, сидериту), коксу, вапняку, вогнетривких матеріалів (динасу, шамоту, магнезиту, графіту, вугілля), чавунів, феросплавів і шлаку.

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

У техніці, сільському господарстві і в побуті особливе значення мають чорні метали, які є сплавами заліза з невеликою кількістю вуглецю та інших елементів. Залежно від концентрації вуглецю чорні метали ділять на три групи: технічне залізо або армо-залізо – до 0,02% С, сталі 0,2 - 2,14% С і чавуни – більше 2,14% С.

Сучасне виробництво чорних металів проходить так: із природних матеріалів у доменній печі одержують чавун, який потім переробляють у сталь. Вихідними матеріалами для виробництва чавуну є залізні руди, флюси і паливо.

Руда – це гірська порода, що містить метал у такій кількості і в такому стані, що за існуючого рівня техніки її економічно доцільно добувати і переробляти. Залізні руди містять залізо у вигляді оксидів, гідратів оксидів, карбонатів, які змішані з пустою породою.

Пустою породою називається природна мінеральна сполука, яка не містить заліза, наприклад кремнезем (SiO_2), глинозем (Al_2O_3) та ін. Можливість використання залізної руди для доменної плавки визначається вмістом у ній заліза, складом пустої породи і концентрацією таких шкідливих домішок, як сірка, фосфор та ін. Важливу роль, крім цього, відіграє швидкість відновлення заліза із руди (яка залежить від природи оксиду заліза, густини і пористості руди). Найбільш важливі типи залізних руд наведені в табл. 8.1.

Таблиця 8.1

Типи найважливіших залізних руд

№ п/п	Назва руди	Хімічна формула	Вміст заліза у відсотках	Вміст пустої породи у відсотках
1.	Магнітний залізняк (магнетит)	Fe_3O_4	50 - 69	31- 50
2.	Червоний залізняк (гепатит)	Fe_2O_3	55 - 65	35 -45
3.	Бурий залізняк (лімоніт)	$2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	35 - 55	45 - 65
4.	Шпатовий залізняк (сидерит)	FeCO_3	30 - 40	60 - 70

Щоб звільнити сполуки заліза від кисню, необхідно подіяти на його оксиди іншим елементом – відновником, тобто таким елементом у якого здатність до хімічної реакції з киснем більша, ніж у заліза. Відновником заліза з його оксидів у рудах є вуглець, який використовується у вигляді різноманітного палива. Поряд з відновленням заліза, при згорянні палива виділяється тепло, необхідне для прискорення інших реакцій в доменних печах, а також для розплавлення перероблюваних матеріалів. Паливо повинно мати високу теплотворну здатність, достатню міцність, щоб не кришитися і не перетворюватися в дріб'язок, мати найменшу кількість шкідливих домішок, таких, наприклад, як сірка і фосфор, містити незначну кількість золи (зола це нелетка мінеральна сполука, що залишається після згорання будь-якого палива). Цим вимогам у значній мірі відповідають кокс і деревне вугілля.

Основним видом палива при виплавці чавуну є кокс. Теплотворна здатність коксу $3,03 \cdot 10^7$ Дж/кг. Він чинить значний опір стискуванню. Недоліком його є високий вміст у ньому сірки (0,5-0,2%) і золи (9 -12%).

Найбільш досконалим видом палива є деревне вугілля. Вміст золи в ньому біля 0,8-1,0 %, а сірка і фосфор практично відсутні. Теплотворна здатність його – $2,97 \cdot 10^7$ Дж/кг. Недолік деревного вугілля - мала міцність, що обмежує висоту доменних печей. Тому деревне вугілля застосовують лише у доменних печах невеликого об'єму (200-300 м³) при виплавці високоякісного чавуну.

Пуста порода руди, а також зола палива плавляться при дуже високій температурі (1800°C і більше), і розплавлення їх в доменних печах не можливе; нагромаджуючись з часом усередині печі, вони можуть порушити її нормальну роботу, якщо їх не видаляти. Для цього в піч вводять речовини, які при порівняно низьких температурах утворюють з пустою породою руди і золою палива легкоплавкі хімічні сполуки. Такі речовини називають *флюсами*. Сплавляючись з пустою породою, флюси утворюють шлаки. Оксиди, що містяться в залізній руді, діляться на основні (FeO , MnO , CaO , MgO), кислотні (SiO_2 , P_2O_5) і амфотерні (Al_2O_3). Основні і кислотні оксиди при високих температурах утворюють легкоплавкі сполуки. Так, температура плавлення SiO_2 – 1750°C, CaO – 2100°C, а температура плавлення хімічної сполуки, утвореної з них, ($\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) – 1350°C. У зв'язку з цим, якщо в пустій породі руда містить SiO_2 , до неї додають вапняк CaO , а якщо пустою породою є CaO –

флюсом повинен бути пісок SiO_2 . Залізні руди, що добуваються в Україні, мають переважно кислу пусту породу, і тому флюсами служать вапняки.

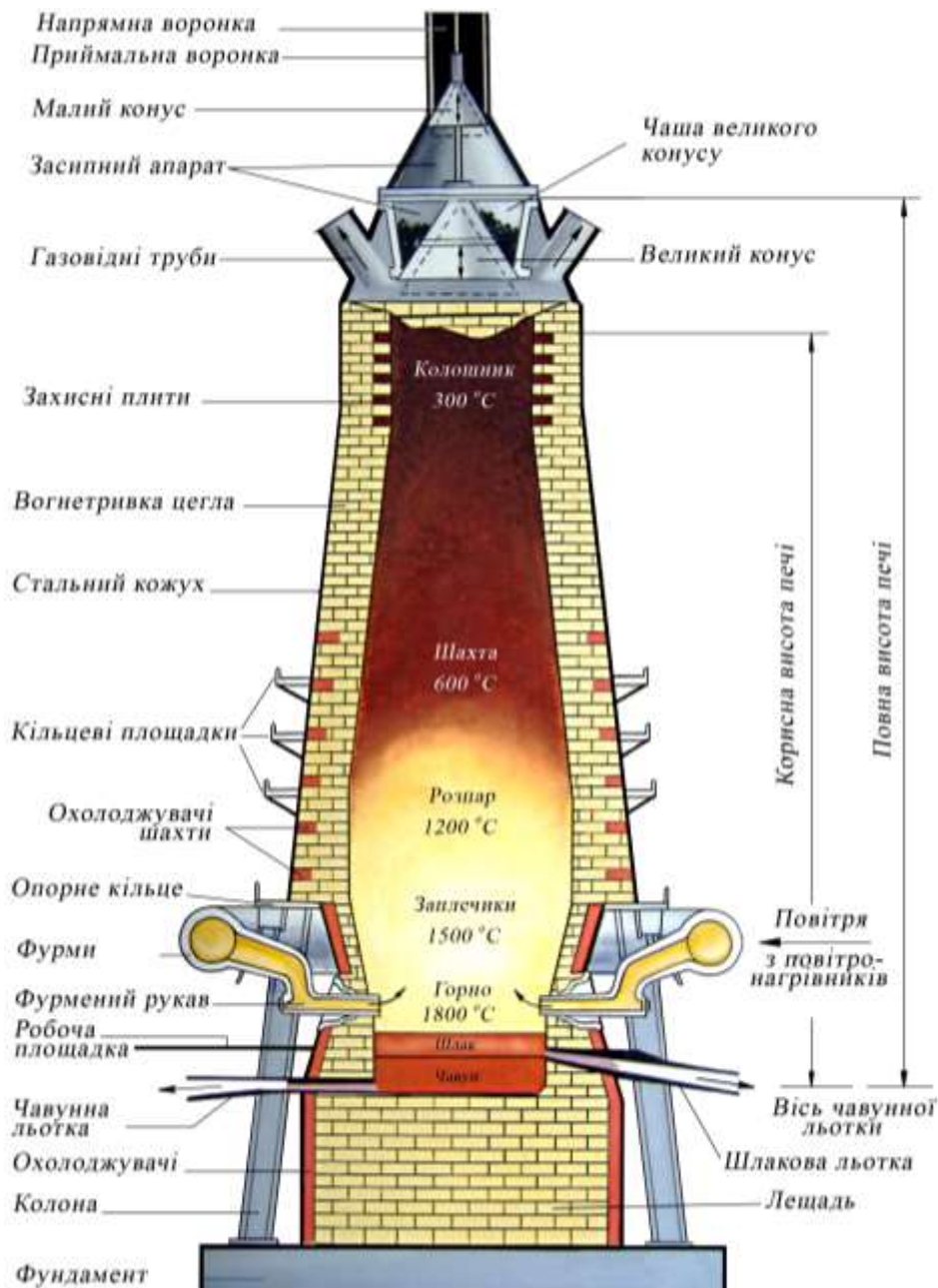


Рис. 8.1. Будова доменної печі

Чавун виплавляють при високих температурах. Тому велике значення мають вогнетривкі матеріали, що використовуються для будівництва доменних та інших металургійних печей, особливо тих їх частин, які безпосередньо взаємодіють з розплавленим металом і шлаком. На практиці вогнетривкі матеріали використовують у вигляді цегли, фасонних виробів і порошоків для кладки печей, ковшів і т.д. Такі матеріали не повинні руйнуватися і розм'якшуватися при високих температурах, щоб витримувати навантаження від закладених у піч інших матеріалів, а також зберігати об'єм при нагріві і витримувати різкі зміни температури.

Залежно від хімічного складу розрізняють кислі вогнетривкі матеріали, основні і нейтральні. До кислих належать динасова цегла, кварцевий пісок та інші матеріали з високим вмістом кремнезему SiO_2 ; до основних – доломітові, магнезитові та інші матеріали з великим

вмістом основних оксидів: MgO, CaO; до нейтральних – матеріали, які складаються з окислів Al₂O₃, Cr₂O₃, MgO (шамот, хромомангезит), а також вуглецеві матеріали, які витримують температуру до 2050°C. До їх складу входить біля 90% вуглецю. З них виготовляють вугільні і графітові електроди для дугових печей, тиглі для плавки металів, деталі розливних ковшів і т.п.

Руда перед тим як поступити в доменну піч піддається попередній підготовці на місцях добування, що необхідно для підвищення продуктивності доменної печі, зменшення витрат коксу і поліпшення якості чавуну. Підготовка руди полягає в її подрібненні, класифікації, збагаченні (усуненні пустої породи), спіканні (агломерації) дріб'язку, усередненні хімічного складу і сортуванні за розмірами з метою надання руді однорідності за хімічним складом і фізичними властивостями.

Виплавають чавун в доменних печах. *Суть процесу отримання чавуну* в них полягає у відновленні оксидів заліза, що входять до складу руди, оксидом вуглецю, воднем і твердим вуглецем та науглецюванні відновленого заліза.

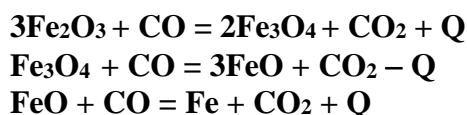
Доменна піч є вертикальним агрегатом шахтного типу (рис. 8.1). Зовні вона замкнута в сталевий кожух, а всередині футерована (викладена) вогнетривкою цеглою. Внутрішні обриси робочого простору називаються профілем доменної печі, який залежно від геометричної конфігурації і технологічного призначення ділиться на 5 частин: колошник, шахта, розпар, заплечики, горн.

Колошник, який розташований у верхній частині печі, призначений для прийому шихтових матеріалів і відведення газів. У *шахті*, яка має форму зрізаного конуса, що розширюється донизу, розміщується основна маса шихти. Така форма шахти забезпечує опускання шихти в міру її плавлення в нижню частину печі і рівномірний розподіл газів у її поперечному перерізі. Найбільш широка частина печі, що має форму циліндра, називається *розпаром*, а нижня частина печі (також має форму циліндра) – *горном*. Простір між розпаром і горном, у вигляді зрізаного конуса, оберненого більшою основою вгору, – *заплечиками*. Завдяки такій формі заплечики підпирають і втримують всю шихту доменної печі, не дають їй опуститися в горн. Описана конфігурація робочого простору створює сприятливі умови для протікання необхідних аеродинамічних і фізико-хімічних процесів.

Доменна піч працює за *принципом протипотоку*: шихтові матеріали рухаються зверху вниз, а назустріч їм піднімається потік гарячих газів – продуктів згоряння палива. При цьому горить паливо, відновлюється і насичується залізо вуглецем, відновлюються інші елементи, утворюється шлак.

У зоні повітряних фурм вуглець коксу взаємодіє з киснем дуття, згоряє, в результаті чого температура досягає 1800 - 2000°C. У таких умовах вуглекислий газ CO₂ взаємодіє з вуглецем коксу і утворює оксид вуглецю CO, який і стає головним відновником заліза. Трохи вище, в зоні печі з температурою 700 - 450°C, частина оксиду вуглецю розкладається з утворенням сажистого вуглецю.

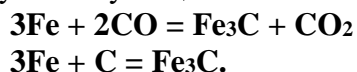
Шихтові матеріали, опускаючись назустріч потоку розжарених газів, нагріваються, з них випаровується волога, виділяються летючі речовини. При досягненні температури 750 - 900°C в шихті відновлюється залізо:



Частина оксиду FeO опускається до розпару і заплечиків та відновлюється вуглецем коксу.

У відновленні заліза беруть участь також сажистий вуглець і водень.

У результаті цих реакцій утворюється тверде губчасте залізо. При температурі 1000 - 1100°C губчасте залізо насичується вуглецем:



Вуглець зменшує температуру плавлення залізовуглецевого сплаву, тому при опусканні в нижню частину шахти сплав починає плавитись, додатково насичується вуглецем та іншими елементами, які відновлюються із руди – Mn, Si, P, S.

Марганець міститься в руді у вигляді окислів і частково відновлюється твердим вуглецем. Кремній знаходиться в пустій породі у вигляді кремнезему SiO_2 і також відновлюється твердим вуглецем. Невідновлені оксиди марганцю і кремнію переходять у шлак.

Фосфор в руді є переважно у вигляді сполуки $\text{P}_2\text{O}_5 \cdot 3\text{CaO}$. Він відновлюється оксидом вуглецю та твердим вуглецем і майже повністю переходить у сплав.

Сірка потрапляє в доменну піч у складі руди і коксу у вигляді сполук FeS_2 , FeS , CaSO_2 , CaS . Значна частина сірки видаляється у вигляді летючих сполук (SO_2 , H_2S), але інша переходить у сплав (FeS) або шлак (CaS).

Таким чином, у результаті відновлення Fe, Mn, Si, P та S і розчинення їх у залізі в горні печі утворюється *чавун*. Одночасно з чавуном у нижній частині печі збирається *шлак* – сплав пустої породи, флюсів, попелу палива, а також частина невідновлених оксидів. В міру того, як утворюються і накопичуються чавун і шлак, їх випускають із печі: чавун через 3...4 години по льотці 11 (рис. 8.1), а шлак – через 1...1,5 год. по льотці 7.

Основні шлаки застосовуються для виготовлення цементу, шлакової цегли, гравію. Із шлаків деревовугільних печей виготовляють теплоізоляційну вату.

Деякі сорти доменного чавуну, наприклад, ливарний чавун, розливаються у форми і вже у вигляді злитків – чушок чавуну – направляються на машинобудівні заводи для переплавлення у вагранках на фасонне литво.

Продуктом доменної плавки є також *доменний* або *колошниковий газ*. Газ, що виходить з доменної печі, містить до 30% оксиду вуглецю. Його теплотворна здатність – від 800 до 950 ккал/м³. Цей газ після очищення використовується як паливо у доменному цеху та інших цехах металургійних заводів.

ЗАВДАННЯ Й МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

1. Вивчити і описати натурні зразки залізних руд, палива, доменного чавуну і феросплавів.

2. Пояснити: а) чим визначається можливість використання тієї чи іншої залізної руди для доменного плавлення; б) які вимоги висуваються до вогнетривких матеріалів; в) чому найбільш досконалим видом палива для виробництва чавуну є деревне вугілля, але все ж таки в практиці металургійного виробництва використовують кокс; г) суть фізико-хімічних процесів, що відбуваються при коксуванні вугілля; д) яку роль у доменному процесі відіграють флюси.

3. Розглянути підготовку шихтових матеріалів до плавлення в доменній печі. Записати в зошит: а) з якою метою проводять подрібнення, класифікацію, збагачення, усереднення хімічного складу і сортування за розмірами шматків залізної руди; б) який спосіб збагачення залізної руди використовується найбільш широко, його суть; в) що таке агломерація і для чого її використовують; г) для чого до складу агломерату вводять флюс.

4. Вивчити будову і принцип дії домни. Зарисувати схему її внутрішнього профілю і вказати основні зони. Пояснити, чому саме така геометрична конфігурація характерна для внутрішнього профілю доменної печі.

5. Вивчити доменний процес. Описати процеси, що протікають у кожній зоні доменної печі. Звернути особливу увагу на те, в яких її зонах і при яких температурах відбуваються процеси відновлення заліза із окислів та його навуглецювання. Записати хімічні реакції цих процесів.

6. Описати склад і властивості продуктів доменного виробництва.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що називається чавуном? У чому суть процесу виробництва чавуну?
2. Охарактеризувати вихідні матеріали для виробництва чавуну, їх склад, призначення, а також підготовку до плавлення в доменній печі.
3. Пояснити будову та принцип роботи доменної печі.
4. Охарактеризувати фізико-хімічні процеси, що проходять в домі.
5. Охарактеризувати продукти доменного виробництва.

Лабораторна робота № 11 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИРОБНИЦТВА СТАЛІ

Мета: Вивчити теоретичні основи технології виробництва сталі

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Основними матеріалами для виробництва сталі є переробний чавун і металобрухт (скрап). Концентрація вуглецю і домішок у сталі значно менша, ніж в чавуні.

Тому суть будь-якої металургійної переробки чавуну в сталь – зменшення вмісту вуглецю і домішок шляхом їх вибіркового окислення і переведення в шлак і газу в процесі плавлення.

Домішки відрізняються своїми фізико-хімічними властивостями, тому для усунення кожної з них в плавильному агрегаті створюють певні умови відповідно до основних законів фізичної хімії.

Згідно із *законом взаємодіючих мас* швидкість хімічних реакцій пропорційна концентрації реагуючих речовин. Оскільки в найбільшій кількості в чавуні міститься залізо, то воно окислюється в першу чергу при взаємодії чавуну з киснем у сталеплавильній печі



Оксид заліза, що утворився при високих температурах, розчиняється в залізі і віддає свій кисень більш активним елементам-домішкам у чавуні, окислюючи їх:



Чим більше оксиду заліза міститься в рідкому металі, тим активніше окислюються домішки. Для інтенсифікації окислення домішок у сталеплавильну піч додають залізну руду, окалину, оскільки в них знаходиться багато оксидів заліза. Отже, основна кількість домішок при переробці чавуну в сталь окислюється за рахунок кисню оксиду заліза.

Швидкість окислення домішок залежить не тільки від їх концентрації, але і від температури металу, що відповідає принципу *Ле-Шательє* (хімічні реакції, що протікають з виділенням теплоти, відбуваються інтенсивніше при більш низьких температурах або при деякому зниженні температури, а реакції, що протікають із поглинанням теплоти, відбуваються активніше при високих температурах або при деякому підвищенні температури). Тому на початкових стадіях технологічного процесу, коли температура металу не висока, інтенсивніше протікають процеси окислення **Si**, **P**, **Mn**, які відбуваються з виділенням теплоти, а вуглець інтенсивно окислюється тільки при підвищенні температури металу (в середині і кінці плавлення).

Після розплавлення шихти в сталеплавильній печі утворюються два різнорідних середовища: рідкий метал і рідкий шлак, які розділяються тому, що мають різну густину. Відповідно до закону розподілу (*закон Нернста*), якщо яка-небудь речовина розчиняється у двох суміжних, але нерозчинних рідинах, то розподіл речовини між цими рідинами

відбувається до встановлення певного співвідношення (константи розподілу), постійного для даної температури. У зв'язку з цим більшість компонентів (**Mn, Si, P, S**) і їх сполуки, розчинні в рідкому металі і шлакові, будуть розподілятися між металом і шлаком у певному співвідношенні, характерному для даної температури.

Змінюючи склад шлаку, можна змінювати співвідношення між кількістю домішок у металі і шлакові так, що небажані домішки будуть переходити з металу в шлак. Забираючи шлак з поверхні металу і створюючи умови для утворення нового шляхом подачі флюсу необхідного складу, можна видаляти шкідливі домішки (S, P та ін.) із металу. Ось чому регулювання складу шлаку за допомогою флюсів є одним з головних шляхів управління металургійними процесами.

Процеси виплавки сталі, згідно наведеним вище законам, здійснюються в декілька етапів.

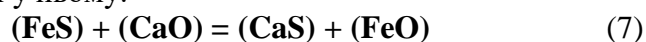
Перший етап – розплавлення шихти і нагрів ванни рідкого металу. На цьому етапі температура металу невисока; інтенсивно проходить окислення заліза, утворення оксиду заліза і окислення домішок Si, P, Mn за реакціями (1) – (4). Найбільш важливе завдання цього етапу: видалення фосфору – однієї із найбільш шкідливих домішок у сталі. Для цього необхідно проводити плавлення в основній печі, в якій можна використовувати основний шлак, що містить CaO. Фосфорний ангідрид, який виділяється за реакцією (3), утворює з оксидом заліза нестійку сполуку $(\text{FeO})_3 \cdot \text{P}_2\text{O}_5$. Оксид кальцію CaO – більш активна основа, ніж оксид заліза і при невисоких температурах зв'язує ангідрид P_2O_5 та переводить його в шлак:



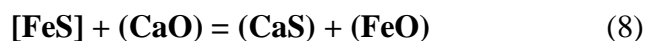
Реакція утворення фосфорного ангідриду протікає з виділенням теплоти, ось чому згідно принципу Ле-Шательє для усунення фосфору із металу достатні невисокі температури ванни металу і шлаку. Аналіз реакцій (3) - (6) показує, що для усунення фосфору із металу також необхідний достатній вміст у шлаці FeO. Для збільшення кількості FeO в шлаці в сталеплавильну піч в цей період плавлення додають окалину, залізну руду, наводячи залістий шлак. В міру переходу фосфору з металу в шлак кількість фосфору в ньому зростає. Відповідно до закону розподілу зменшення фосфору в металі при цьому сповільнюється, і для більш повного його видалення з металу з поверхні забирають шлак і наводять новий із свіжими добавками CaO.

Другий етап – “кипіння” металеві ванни – розпочинається при нагріві до більш високої, ніж на першому етапі, температури. При підвищенні температури металу у відповідності з принципом Ле-Шательє більш інтенсивно протікає реакція окислення вуглецю (5), яка відбувається з поглинанням тепла. В розплаві міститься більше вуглецю, ніж інших домішок і відповідно до закону взаємодіючих мас для його окислення в метал вводять значну кількість руди, окалини або вдувають кисень. Оксид заліза реагує з вуглецем за реакцією (5), а бульбашки оксиду вуглецю CO виділяються з рідкого металу, викликаючи “кипіння” ванни. При “кипінні” зменшується концентрація вуглецю в розплаві до необхідної, вирівнюється температура в об'ємі ванни, частково видаляються неметалеві домішки, які прилипають до бульбашок CO, що піднімаються, а також інші гази, проникаючи в бульбашки CO. Все це сприяє підвищенню якості металу. У зв'язку з цим етап “кипіння” ванни є основним у процесі виробництва сталі.

У цей же період створюються умови для усунення сірки з металу. Сірка в сталі перебуває у вигляді сульфиду $[\text{FeS}]$, який розчиняється також в основному шлаці (FeS). Чим вища температура, тим більша кількість FeS розчиняється в шлаці, тобто більше сірки переходить з металу в шлак. Сульфід заліза, розчинений у шлаці, взаємодіє з оксидом кальцію, який також розчинений у ньому:



Ця ж реакція відбувається на межі метал-шлак між сульфідом заліза $[\text{FeS}]$ в сталі і (CaO) в шлаці:



Утворена сполука не розчинна в залізі, у зв'язку з чим сірка переходить у шлак.

Як видно з реакцій (7) і (8), чим більше в шлаці (CaO) і менше (FeO), тим повніше усувається із сталі сірка. Отже, при плавленні в основних печах можна зменшити концентрацію вуглецю і сірки в сталі, виплавляючи сталь із шихти будь-якого хімічного складу.

У сталеплавильних печах з кислотою футеровкою немає умов для зменшення кількості фосфору і сірки в сталі, оскільки використовувати основний шлак із значною кількістю (CaO) не можна із-за руйнування футеровки, а вміст (FeO) в шлаці недостатній, і отже, в кислих печах можна виплавити сталь тільки із шихтових матеріалів з малою кількістю сірки і фосфору.

Третій етап (завершальний) – розкислення сталі – полягає у відновленні оксиду заліза, розчиненого в рідкому металі. При плавленні підвищена концентрація кисню в металі, необхідна для окислення домішок, але в готовій сталі кисень – шкідлива домішка, оскільки погіршує механічні властивості сталі, особливо при високих температурах. Сталь розкислюють двома способами: осаджувальним і дифузійним.

Осаджувальне розкислення здійснюють введенням у розплавлену сталь розчинних розкислювачів (феромарганцю, феросиліцію та ін.), які в даних умовах мають більшу здатність до реакції з киснем, ніж залізо. У результаті розкислення відновлюється залізо і утворюються оксиди MnO, SiO₂, Al₂O₃ та інші, які мають меншу густину, ніж сталь, і переходять в шлак. Однак частина їх може залишитися в сталі, що погіршує її властивості.

Дифузійне розкислення здійснюється розкисленням шлаку. Феромарганець, феросиліцій та інші розкислювачі в подрібненому вигляді завантажують на поверхню шлаку. Вони повільно проникають крізь шар шлаку і відновлюють оксид заліза, зменшуючи його кількість у шлаці. Відповідно до закону розподілу оксид заліза, що розчинений у сталі, почне переходити в шлак. Оксиди, утворювані при такому способі розкислення, залишаються в шлаці, а відновлене залізо переходить в сталь, що зменшує концентрацію в ній неметалевих вкраплень і підвищує її якість.

У багатьох випадках необхідно виплавляти сталі із спеціальними властивостями. Необхідні властивості в сталях отримують за рахунок введення в них різних хімічних елементів (**Mo, V, Cr, Ni, Nb** та ін.), які називаються легуючими елементами, а такі сталі – легованими. Легування сталі здійснюється введенням феросплавів або чистих металів в необхідній кількості в розплав. Легуючі елементи, спорідненість яких до кисню менша, ніж у заліза (**Ni, Co, Mo, Cu**), при плавленні і розплавленні практично не окислюються і тому їх вводять у піч в будь-який час плавлення (звичайно разом з іншою шихтою). Легуючі елементи, у яких спорідненість до кисню більша, ніж у заліза (**Si, Mn, Al, Cr, V, Ti** і ін.), вводять у метал після або одночасно з розкисленням, в кінці плавки, а іноді безпосередньо в ківш.

Чавун переробляють у сталь в різних за принципом дії металургійних агрегатах: мартенівських печах, кисневих конвертерах та електропечах.

ПРОГРАМА ПІДГОТОВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Вивчити теоретичний матеріал за даним посібником та літературою.
2. Зарисувати спрощену схему електродугової та електроіндукційної печі, кисневого конвертера та мартенівської печі.

ЗАВДАННЯ Й МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

1. Розглянути і записати в зошит: а) які матеріали використовують для виробництва сталі; б) суть металургійної переробки чавуну в сталь; в) хімічний склад переробного чавуну і низьковуглецевої сталі; г) суть законів взаємодіючих мас, Нернста та принципу Ле-Шательє; а також пояснити яку роль вони відіграють в сталеплавильних процесах.

2. Коротко описати суть процесів та основне завдання першого, другого та третього етапів виробництва сталі. Записати і пояснити хімічні реакції, які відбуваються на кожному етапі.

3. Коротко описати будову і принцип дії сталеплавильних агрегатів.

4. Вияснити і записати в зошит: а) які шихтові матеріали використовують при виробництві сталі в кисневому конвертері, мартенівській печі та електропечах; б) основні переваги і недоліки виробництва сталі різними методами.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які сплави називають сталями?

2. Охарактеризувати вихідні матеріали для виробництва сталі та пояснити в чому суть металургійного виробництва сталі.

3. Сформулювати закон взаємодіючих мас, закон Нернста, принцип Ле-Шательє та пояснити, яку роль вони відіграють в сталеплавильних процесах.

4. Охарактеризувати процеси, що відбуваються на різних етапах виробництва сталі.

5. Охарактеризувати будову і принцип роботи кисневого конвертера, мартенівської печі, а також електродугової і індукційної пічок, вказати їх основні переваги та недоліки.

Лабораторна робота № 12 ВИВЧЕННЯ ДІАГРАМИ СТАНУ ЗАЛІЗО-ЦЕМЕНТИТ

Мета: Навчитися аналізувати діаграму стану залізо-цементит

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Уявлення про будову залізовуглецевих сплавів, їх структурні складові, можливі перетворення в них, критичні точки і цілий ряд іншої інформації дає діаграма стану залізо-вуглець. Звичайно діаграму стану залізо-вуглець зображають тільки до концентрації 6,67% С. Справа в тому, що залізовуглецеві сплави з концентрацією вуглецю більшою за 5% не мають практичного застосування, оскільки при більшій концентрації вуглець у залізі виділяється у вигляді великих пластин графіту. В результаті цього сплав стає крихким і руйнується при незначних навантаженнях. Концентрація 6,67% С взята граничною у зв'язку з тим, що така кількість вуглецю міститься в хімічній сполуці – цементиті (Fe_3C). Як відомо, хімічна сполука може розглядатися в сплавах як самостійний компонент, тому цю ділянку діаграми стану залізо-вуглець часто називають діаграмою стану залізо-цементит ($\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$) (рис. 12.1).

Формування фаз або структур в сплавах можна вивчити, як уже зазначалося вище, розглядаючи за діаграмою процеси, що відбуваються в них при охолодженні або нагріванні. При цьому потрібно чітко розуміти нижчевикладене.

1. Фізичний зміст перетворень, що відповідають лініям на діаграмі.

Лінія **ABCD** є лінією ліквідус, і по цій лінії змінюється склад рідкої фази при кристалізації сплавів. Лінія **AHJESCF** – лінія солідус, у відповідності з якою змінюється склад фази, що кристалізується.

Лінія **HN** і **JN** показує температури початку і кінця кристалізації фериту (Φ) в аустеніті (**A**). У відповідності з цими лініями змінюється склад фериту і аустеніту при зміні температури сплаву. Лінія **GS** характеризує температуру початку, а лінія **GP** – кінця перетворення аустеніту в ферит. Відповідно до цих ліній змінюється склад аустеніту і фериту при зміні температури сплаву. Лінії **JE** і **ES** характеризують максимальну розчинність вуглецю в аустеніті в залежності від температури.

2. Найважливішою умовою для успішного аналізу процесів фазових перетворень у сплавах при нагріванні або охолодженні є вміння користуватися правилами для визначення складу і кількості фаз.

3. Необхідно ясно розуміти різницю між фазою і структурою сплаву.

Для прикладу простежимо за формуванням структури сталей із вмістом вуглецю 0,3 і 1,5% при їх повільному охолодженні від температури 1600°C. Критичні точки, що відповідають температурам перетворень, показані на фігуративних лініях (рис. 12.2, а) сплавів I (C = 0,3%) і II (C = 1,5%).

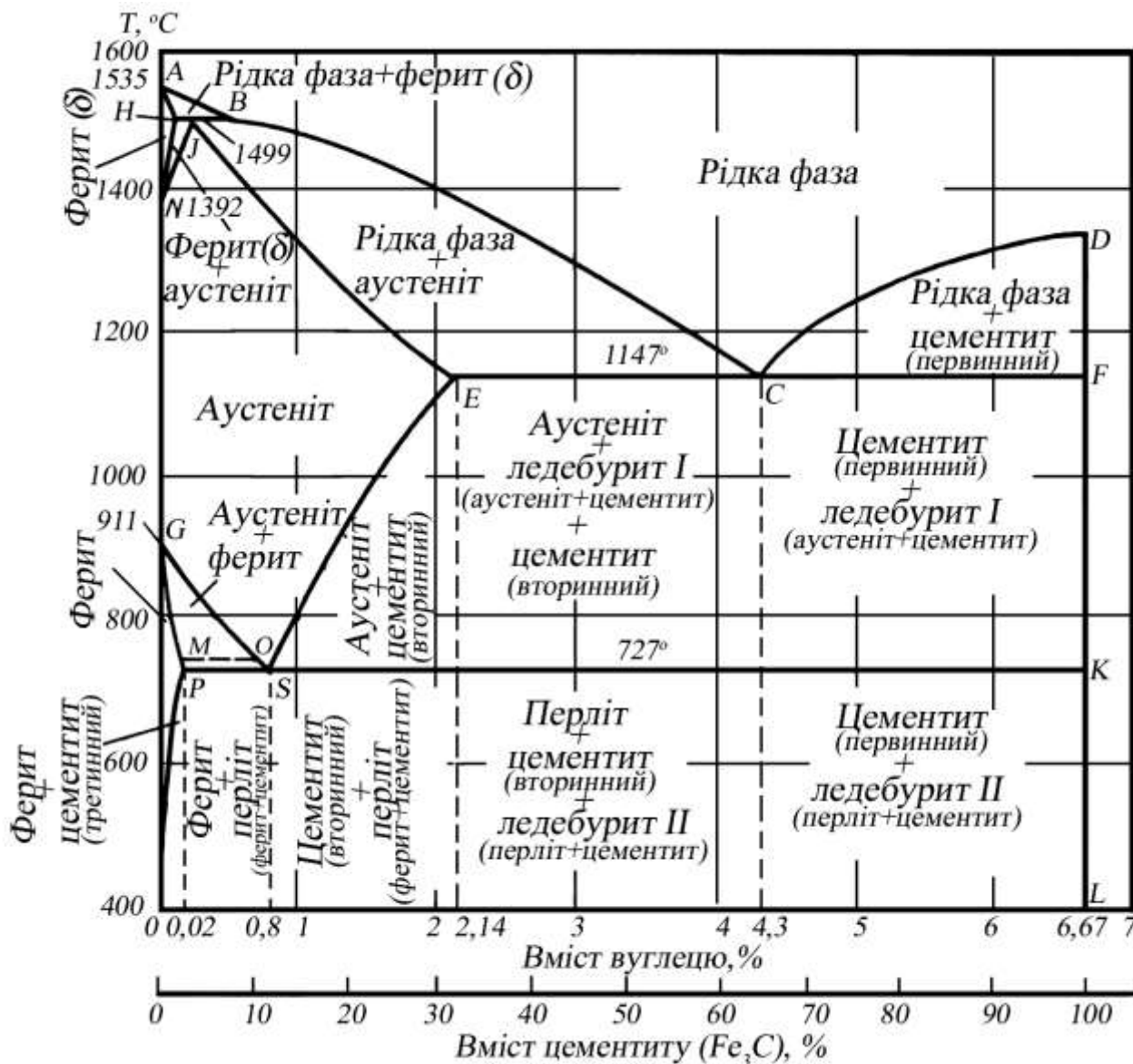
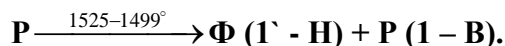


Рис. 12.1. Діаграма стану залізо-цементит

Доевтектоїдна сталь з концентрацією вуглецю 0,3% вище 1525°C знаходиться в рідкому стані. Кристалізація її починається при 1525 °C (точка 1) з виділенням із рідкого розчину кристалів фериту. В процесі кристалізації сплаву склад фериту змінюється згідно з лінією АН від точки 1 до Н, а рідини – згідно з лінією АВ від точки 1 до В. Цю стадію кристалізації можна записати так:



Виділення фериту іде при зниженні температури сплаву ($C = K - \Phi + 1 = 2 + 1 = 1$; фази: ферит і рідкий розчин).

При температурі 1499 °С (точка 2) ферит (0,1%С) вступає у взаємодію з рідким розчином (0,51%С); в результаті цієї реакції утворюються кристали аустеніту (0,16%С). Таке перетворення називають *перитектичним*. Останнє протікає при постійній температурі ($C = 2 - 3 + 1 = 0$; фази: ферит, аустеніт і рідкий розчин) до зникнення фериту:

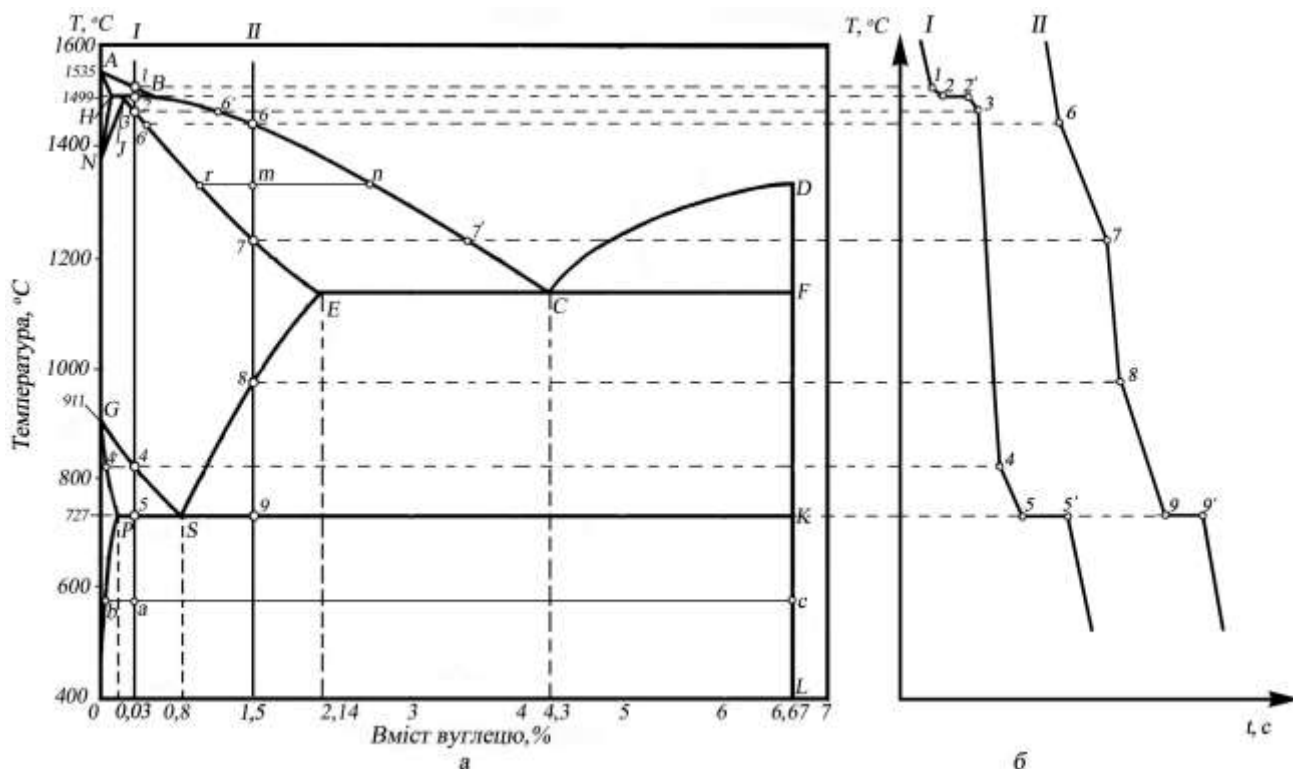


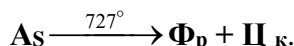
Рис. 12.2. Схема для вивчення перетворень, що відбуваються в сплавах I і II при їх охолодженні: а – діаграма стану; б – криві охолодження сплавів

Після закінчення перитектичного перетворення з рідини, що залишилася, виділяються кристали аустеніту. Кристалізація рідини протікає в інтервалі температур 1499 – 1480°С (точки 2, 3), так як система перебуває в моноваріантній рівновазі ($C = 2 - 2 + 1 = 1$; фази: аустеніт і рідкий розчин), в результаті чого змінюється склад рідкої і твердої фаз: $P_B - 3 \xrightarrow{1499-1480^\circ} A$.

Сплав завершує кристалізуватися при 1480°С (точка 3) і при подальшому охолодженні до 870 °С перетворень не зазнає.

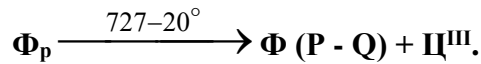
При температурі 870°С (точка 4) в результаті поліморфного перетворення $Fe_\gamma \rightarrow Fe_\alpha$ із аустеніту починає утворюватися ферит. Зниження температури сприяє виділенню фериту ($C = 2 - 2 + 1 = 1$; фази: аустеніт і ферит) і зміні складу фаз: фериту згідно лінії GP (точки 4' - P), а аустеніту згідно лінії GS (точки 4-S). $A_{4S} \rightarrow \Phi_{4-P}$.

На лінії PSK (точка 5) відбувається евтектоїдне перетворення. Аустеніт (0,8%С) розпадається на ферито-цементитну суміш – перліт:



Відповідно до правила фаз евтектоїд формується при постійній температурі ($C = 2 - 3 + 1 = 0$; фази аустеніт, ферит і цементит).

Із зниженням температури сплаву нижче 727 °С розчинність вуглецю в фериті зменшується (лінія PQ). У зв'язку з цим надлишковий вуглець із фериту виділяється у вигляді цементиту третинного:



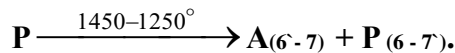
Виділення цементиту третинного є моноваріантним процесом ($C=2-1+1=1$; фази: ферит і цементит). Однак цементит третинний, що виділився, в структурі сталі металографічно не розрізняється, оскільки зливається з цементитом евтектоїду.

Склад і кількість фаз у сталі (наприклад, при 650°C) можна визначити за допомогою правила відрізків. Для визначення складу фаз (Φ і Ц) необхідно через точку "а" на фігуративній лінії сплаву I провести горизонтальну лінію (коноду) до перетину з лініями діаграми PQ і DL (точки v і c). Проекція точки v на вісь концентрації покаже процентний вміст компонентів у фериті, проекція ж точки c – в цементиті. Кількість фаз визначимо із співвідношення відрізків коноди:

$$\Phi = \frac{ac}{vc} \cdot 100 = \frac{6,67 - 0,3}{6,67 - 0,01} \cdot 100 \approx 95\%; \quad \text{Ц} = \frac{av}{vc} \cdot 100 = \frac{0,3 - 0,01}{6,67 - 0,01} \approx 5\%$$

При кімнатній температурі структура сталі з 0,3% С складається із зерен фериту і перліту.

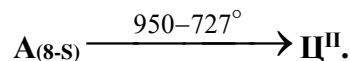
До температури 1450°C (точка **6**) сталь з 1,5%С знаходиться в рідкому стані. При 1450°C починається процес її кристалізації. В інтервалі температур $1450-1250^\circ\text{C}$ (точки **6**, **7**) у сплаві співіснують дві фази: рідкий розчин і аустеніт. В міру охолодження сплаву концентрація компонентів в аустеніті змінюється згідно лінії IE від точки **6** до точки **7**, а в рідині – згідно лінії BC від точки **6** до **7**, що можна записати так:



Склади і кількість фаз у цій частині діаграми (точка **m**) можна визначити за правилом відрізків. Склад рідкої фази знаходиться проекцією точки **n** (конода rmn), а склад твердої фази – проекцією точки **r**. Кількість фаз знаходиться із співвідношення відрізків:

$$A = \frac{mn}{rn} \cdot 100\%; \quad P = \frac{rm}{rn} \cdot 100\%.$$

Процес первинної кристалізації сплаву іде при зниженні температури, що узгоджується з правилом фаз ($C = K - \Phi + 1 = 2 - 2 + 1 = 1$; фази: рідкий розчин і аустеніт). Кристалізація сплаву закінчується в точці **7** (1250°C). В інтервалі температур $1250 - 950^\circ\text{C}$ (точки **7**, **8**) сплав охолоджується, не зазнаючи ніяких перетворень. При охолодженні сплаву нижче 950°C (точка **8**) аустеніт з концентрацією вуглецю 1,5% стає пересиченим. Надлишковий вуглець із зерен аустеніту дифундує до їх границь, і тут виділяється у вигляді цементиту вторинного. Процес формування цементиту вторинного ($C = 2 - 2 + 1 = 1$; фази: аустеніт і цементит) протікає з пониженням температури сплаву. Концентрація вуглецю в аустеніті при охолодженні сплаву від 950 до 727°C змінюється згідно лінії ES від точки **8** до точки **S**:



При температурі 727°C (точка **9**) в сплаві відбувається *евтектоїдне* перетворення, в результаті якого утворюється перліт. Нижче температури 727°C в сплаві протікають перетворення, аналогічні раніше розглянутим (сплав **I**).

Перетворення у сплавах в процесі нагріву відбувається в оберненій послідовності при деякому їх перегріві вище температур рівноважного стану. Вплив перегріву при вивченні перетворень, що відбуваються у сплавах, звичайно не враховують, так як фазові зміни в сплавах відповідають лініям діаграми.

Таким чином, в структурі сталі з концентрацією вуглецю 1,5% при кімнатній температурі спостерігаються зерна перліту, навколо яких є тонка сітка цементиту вторинного. Цементит третинний за допомогою металографічного мікроскопа не виявляється, оскільки зливається з однойменною фазою евтектоїду і цементитом вторинним.

Криві охолодження розглянутих сплавів наведені на рис. 12.2,б.

Якщо у сплаві наявні дві фази або дві структурні складові, то застосування правила відрізків для визначення їх складів і відносної кількості труднощів не викликає. Дещо складніше знайти відносну вагу фаз і структурних складових, якщо в сплаві їх більше двох. Розглянемо, яким чином за допомогою правила відрізків можна розрахувати вагову кількість структурних складових в заевтектоїдній сталі з 1,5% вуглецю при 600°C (див. рис. 12.2). В даному випадку кількість структурних складових необхідно визначати послідовно в міру їх утворення при охолодженні сплаву, кожен раз застосовуючи правило відрізків для двох співіснуючих фаз або структурних складових.

Вагова доля цементиту вторинного, що виділився в інтервалі температури 950-727°C (точки **8, 9**) визначається із відношення відрізків **S - 9** і **S - K** (727°C):

$$Ц'' = \frac{S-9}{S-K} \cdot 100 = \frac{1,5-0,8}{6,67-0,8} \cdot 100 \approx 11,9\%.$$

Кількість перліту, що утворюється при евтектоїдному перетворенні (727°C), складе $100-11,9 = 88,1\%$ від ваги всього сплаву. Концентрація вуглецю у фериті при 727°C складає 0,02%, а в цементиті – 6,67%.

Співвідношення фаз в евтектоїді:

$$\Phi = \frac{S-K}{P-K} \cdot 100 = \frac{6,67-0,8}{6,67-0,02} \cdot 100 \approx 88,2\%$$

$$Ц = 100 - 88,2 \approx 11,8\%.$$

Перерахуємо одержані значення по відношенню до ваги всього сплаву:

$$\Phi = \frac{88,1 \cdot 88,2}{100} \approx 77,7\%; \quad Ц = \frac{88,1 \cdot 11,8}{100} \approx 10,3\%.$$

У процесі повільного охолодження сталі від температури 727°C розчинність вуглецю у фериті зменшується, в результаті чого надлишковий вуглець виділяється у вигляді цементиту третинного. Кількість останнього можна визначити із співвідношення ваги $Ц'''$ до ваги суміші фериту і цементиту:

$$Ц''' = \frac{Qr}{QL} \cdot 100 = \frac{0,02-0,01}{6,67-0,01} \cdot 100 \approx 0,15\%.$$

Підрахуємо вагову долю $Ц'''$ по відношенню до ваги всього сплаву, який виділився із фериту евтектоїда:

$$Ц''' = \frac{77,7 \cdot 0,15}{100} \approx 0,1\%.$$

У результаті виділення $Ц'''$ питома вага фериту евтектоїду зменшиться на 0,1% і буде рівна $77,7 - 0,1 \approx 77,6\%$.

Таким чином, в евтектоїдній сталі (1,5%С) при 600 °С структурні складові по відношенню до ваги всього сплаву розподіляються так: перліт ($\Phi + Ц$) $\approx 77,6 + 10,3 \approx 87,9\%$, цементит $Ц'' - 11,9\%$ і $Ц''' - 0,1\%$.

ПРОГРАМА ПІДГОТОВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Вивчити теоретичний матеріал за даним посібником та приведеними нижче літературними джерелами.
2. Зарисувати криві нагрівання і охолодження чистого заліза.
3. На міліметровому папері зарисувати діаграму стану залізо-цементит (залишаючи справа місце для побудови чотирьох кривих охолодження) і вказати на ній основні точки, лінії і області.
4. Розглянути і записати означення основних фаз (вказавши концентрацію вуглецю в них) і структурних складових залізовуглецевих сплавів.
5. Записати реакції, що відбуваються при охолодженні сплавів на ізотермах **НJB**, **ЕСF** і **PSK** і пояснити їх.

ЗАВДАННЯ Й МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

1. Для заданих викладачем сплавів побудувати криві охолодження (нагрівання) і перевірити правильність їхньої побудови за правилом фаз.
2. Описати перетворення, що відбуваються при охолодженні цих сплавів в температурному інтервалі 1600 – 600°C.
3. Визначити склад і вагову кількість (%) фаз (структурних складових) при температурах, вказаних викладачем.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Дати означення і характеристику основних фаз і структурних складових залізовуглецевих сплавів.
2. Охарактеризувати алотропію заліза.
3. Використовуючи діаграму стану залізо-цементит охарактеризувати перетворення, що відбуваються при нагріванні або охолодженні доєвтектоїдної, евтектоїдної і заєвтектоїдної сталей, а також доєвтектичних, евтектичних і заєвтектичних чавунів в температурному інтервалі 20 - 1600°C.

Лабораторна робота № 13 ВИВЧЕННЯ МІКРОСТРУКТУР ВУГЛЕЦЕВИХ СПЛАВІВ У РІВНОВАЖНОМУ СТАНІ

Мета: Вивчити мікроструктуру технічного заліза, вуглецевих сталей і чавунів у рівноважному стані.

Обладнання, матеріали і інструменти

Металографічний мікроскоп МІМ-7 або МІМ-8, мікрошліфи досліджуваних сталей і чавунів у рівноважному стані.

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Структура залізовуглецевих сплавів у рівноважному стані залежить від концентрації вуглецю, на що вказує діаграма стану Fe–Fe₃C (рис. 12.1), відповідно до якої всі залізовуглецеві сплави діляться на три групи: *технічне залізо, сталі і чавуни*.

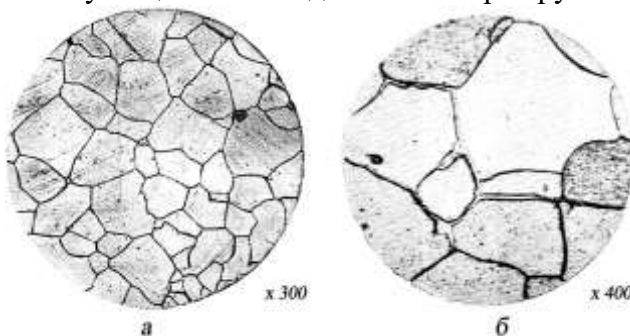


Рис. 13.1.

Мікроструктура технічного заліза:
а – ферит; б – ферит і цементит третинний

Технічне залізо містить не більше 0,02% вуглецю і може бути як однофазовим так і двофазовим сплавом.

Структура сплаву з мінімальним вмістом (до 0,01%) вуглецю (технічно чисте залізо) – ферит (рис. 13.1, а). Ферит має зернисту будову. Незначне збільшення кількості вуглецю в ньому, навіть до 0,01%, внаслідок його незначної розчинності в α -Fe (до 0,006% при 18°C) викликає утворення другої фази – цементиту.

При вмісті вуглецю приблизно до 0,015% цементит присутній в структурі у вигляді відносно невеликої кількості третинного цементиту, що виділяється із фериту при охолодженні внаслідок зменшення розчинності вуглецю в α -Fe. Третинний цементит розміщується головним чином на границях зерен фериту (рис. 13.1, б), що знижує

пластичність і в'язкість сталі. Збільшення концентрації вуглецю понад 0,015% викликає утворення перліту – двофазової структури (ферит + цементит) із сумарним вмістом вуглецю 0,8%. При цьому в сталі із концентрацією вуглецю до 0,1...0,15% ще зберігаються вкраплення третинного цементиту. Кількість перліту зростає пропорційно збільшенню вмісту вуглецю (рис. 13.2) і відповідно зменшується кількість надлишкового фериту.

За мікроструктурою з достатньою для практичних цілей точністю легко визначити концентрацію вуглецю у відпаленій доєвтектоїдній сталі.

Приймаючи ферит (практично) за чисте залізо, можна вважати, що весь вуглець у доєвтектоїдній сталі знаходиться в перліті. Тому для того, щоб підрахувати концентрацію вуглецю в доєвтектоїдній сталі, необхідно визначити площу, що займається перлітом (%), і помножити її на 0,8 (оскільки в перліті міститься 0,8% вуглецю):

$$C = F_n \times 0,8/100\%,$$

де F_n - відносна площа, зайнята перлітом, %.

Наприклад, якщо на досліджуваному полі шліфу перліт займає приблизно 25% площі мікроструктури, то концентрація вуглецю в цій сталі біля 0,2%. Знаючи процентний вміст вуглецю, можна визначити марку сталі.

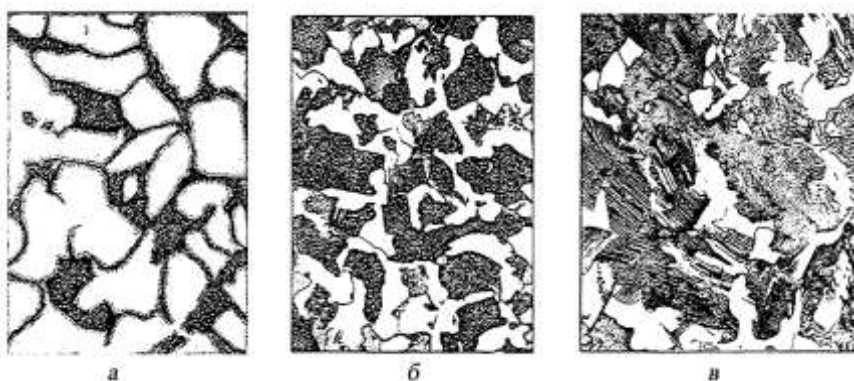


Рис. 13.2. Мікроструктури доєвтектоїдних сталей із вмістом вуглецю:
а – 0,18 %С; б – 0,50 %С; в – 0,70 %С $\times 600$

Сталь з концентрацією вуглецю 0,8% називається *евтектоїдною*, і її структура складається тільки із перліту.

Перліт – це евтектоїдна механічна суміш, що складається із дрібних пластинок (рис. 13.3, а) або зерен (рис. 13.3, б) цементиту, розміщених у феритній основі. В першому випадку такий перліт називається *пластинчастим*, у другому – *зернистим*.

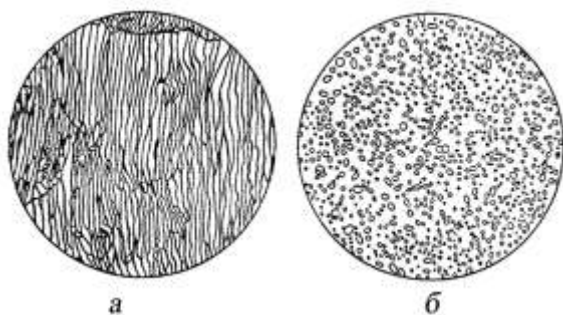


Рис. 13.3. Мікроструктури евтектоїдної сталі: а – перліт пластинчастий; б – перліт зернистий $\times 1000$

На мікروشліфі, протравленому 4%-ним розчином азотної кислоти в етиловому спирті, пластинчастий перліт при великих збільшеннях має чітку пластинчасту будову. Обидві фази, що входять до складу перліту (цементит і ферит), при травленні вказаним травником не забарвлюються, але оскільки цементит більш тверда складова і менше розчиняється в кислоті, ніж ферит, пластинки цементиту виступають у шліфі над феритом, і ми спостерігаємо їх під мікроскопом за чорними смужками тіні, що відбивається самою пластинкою цементиту. Окремі частинки цементиту на феритній основі можна розрізнити тільки при великих збільшеннях, при малих же їхніх збільшеннях ($\times 100...200$), особливо в низьковуглецевих сталях, перліт в основному має вигляд суцільних темних зерен. У зернистому перліті цементит має форму заокруглених зернин, рівномірно розміщених в основному полі фериту (рис. 13.3, б).

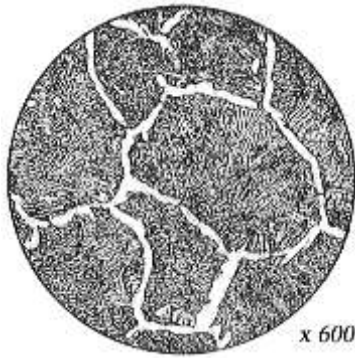


Рис. 13.4. Мікросруктура заевтектоїдної сталі

Механічні властивості перліту залежать від ступеня подрібнення цементиту. Звичайний пластинчастий перліт має границю міцності $\sigma_b = 820$ МПа і відносне видовження $\delta = 15\%$, а грубо пластинчастий - $\sigma_b = 550$ МПа і $\delta = 5\%$. Твердість пластинчастого перліту рівна НВ 200...250, а зернистого - НВ 160...220.

Сталі, в яких концентрація вуглецю більша за 0,8% називаються *заевтектоїдними*. Структура в цих сталях складається із перліту і цементиту вторинного (рис. 13.4). Цементит вторинний звичайно розміщений в заевтектоїдній сталі у вигляді світлої сітки або світлих витягнутих зерен (ланцюжка) по границях перлітних зерен (рис. 13.4).

Кількість цементиту вторинного в структурі заевтектоїдної сталі зростає зі збільшенням концентрації в них вуглецю і складає від 3,4 % (при $C = 1\%$) до 20,4% (при $C = 2\%$) всієї маси сплаву. Якщо відома концентрація вуглецю, кількість цементиту вторинного в сталі можна визначити за діаграмою стану залізо-цементит, користуючись правилом відрізків. Навіть незначна кількість цементиту вторинного в мікросруктурі заевтектоїдної сталі призводить до значного підвищення її твердості і зниження пластичності порівняно з евтектоїдною.

В заевтектоїдній сталі кількість вуглецю (C) визначають за формулою:

$$C = (0,8 \times F_n / 100) + (6,67 \times F_u / 100),$$

де F_n і F_u - відносні площі шліфу, що займаються перлітом і цементитом, %, відповідно.

У доевтектоїдних сталях з великим вмістом вуглецю ферит може виділятися у вигляді тонкої сітки з окремими місцевими потовщеннями по границях зерен перліту, в той час як сітка цементиту має рівномірну товщину. Цементит від фериту можна відрізнити за допомогою травлення мікрошліфа лужним розчином пірата натрію. У цьому випадку цементит темніє, а ферит залишається світлим.

Залізобуглецеві сплави, що містять вуглецю більше 2,14%, називаються *чавунами*. За хімічним складом чавуни відрізняються від сталі високим вмістом вуглецю (більше 2,14%) і постійних домішок (S, P, Si, Mn). Порівняно зі сталями чавуни мають нижчі механічні властивості, але значно кращі технологічні (ливарні, оброблюваність різанням, антифрикційні властивості, зносостійкість тощо). Це зумовлює широке використання чавуну для виготовлення багатьох деталей у різних галузях життєдіяльності людини.

Залежно від стану вуглецю в чавуні розрізняють *білі чавуни*, в яких вуглець знаходиться в зв'язаному вигляді - у вигляді цементиту, і *сірі чавуни*, в яких вуглець знаходиться у вільному стані - у вигляді графіту.

Структурний стан *білих чавунів* залежить від вмісту вуглецю і відповідає діаграмі рівноважного стану Fe - Fe₃C (див. рис. 12.1). За структурою їх поділяють на доевтектичні (2,14...4,3% C), евтектичні (4,3% C) і заевтектичні (4,3%...6,67% C).

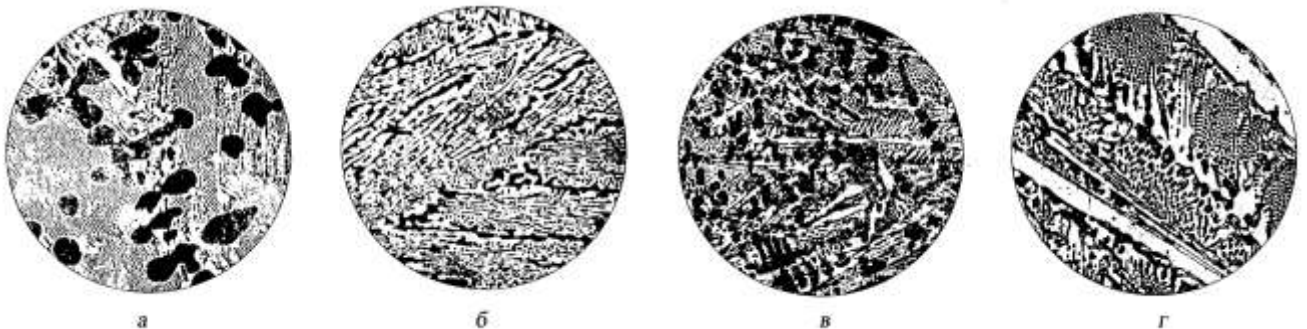


Рис. 13.5. Структури доевтектичного (а), евтектичного (б) та заевтектичного (в, г) чавунів, x100

Структуру доевтектичних білих чавунів складають перліт, ледебурит II і вторинний цементит. Металографічно перліт спостерігається у вигляді темних зерен, цементит - світлих смуг, а ледебурит II - у вигляді ділянок з темними вкрапленнями (суміш дрібних округлих темних зерен перліту, рівномірно розподілених у білій основі цементиту).

Евтектичний чавун має структуру ледебуриту II - рівномірної механічної суміші перліту і цементиту.

Заевтектичний чавун характеризує структура, що складається з первинного цементиту і ледебуриту II.

Одержанню таких структур сприяє підвищений вміст у чавуні марганцю, зменшений вміст кремнію і збільшення швидкості охолодження під час тверднення. Наявність у структурі білого чавуну твердих цементиту і ледебуриту зумовлює їхню високу твердість і крихкість та дуже ускладнює обробку різанням. Тому використання білих чавунів у машинобудуванні обмежене. Використовують їх для виготовлення шроту і зірочок для очистки литва, куль дробильних агрегатів. В основному ж білі чавуни переробляють на сталь або шляхом спеціальної термічної обробки (графітизуюче відпалювання) на ковкий чавун.

Структура сірих, ковких і високоміцних чавунів складається з металевої основи, що пронизана графітовими вкрапленнями. Металева основа таких чавунів може бути перлітною, феритною і ферито-перлітною. Вона зумовлює характеристики твердості, міцності, зносостійкості. Такі ж характеристики, як пластичність, опір руйнуванню при розтягуванні, опір спрацюванню, залежать головним чином від форми, розмірів і характеру розподілу графітових вкраплень.

Розрізняють три основні форми графітових вкраплень (фаз): пластинчасту, пластівчасту та кулясту.

Сірі чавуни. Їм притаманна пластинчаста форма графіту, який можна розглядати як тріщину чи надріз, що створює концентрацію напружень у металевій матриці та різко знижує характеристики міцності чавуну. Сірий чавун - найдешевший конструкційний матеріал. У виробництво надходить у вигляді виливків, має високі ливарні властивості, добре оброблюється різанням, чинить опір зношуванню, здатен розсіювати коливання при вібраційних і змінних навантаженнях (у 2... 4 рази вище за сталь).

Сірі чавуни одержують при введенні до розплаву чавуну речовин (графітизаторів), що сприяють розпаду цементиту і виділенню вуглецю у вигляді графіту. Графітизатором сірого чавуну є кремній. При введенні приблизно 5% кремнію цементит сірого чавуну майже повністю розпадається (перетворюється), утворюючи структуру з пластичної феритної основи і вкраплень пластинчастого графіту (рис. 13.6, а). При зменшенні кількості кремнію цементит перліту розпадається частково, утворюючи ферито-перлітну структурну основу чавуну. Подальше зменшення вмісту кремнію призводить до формування структури сірого чавуну на перлітній основі. Найміцнішими є сірі чавуни на перлітній основі, а найбільш пластичними - на феритній.



Рис. 13.6. Структури сірого чавуну з феритною (а), ферито-перлітною (б) і перлітною (в) основами, $\times 200$

Промисловість випускає такі марки сірих чавунів: СЧ10, СЧ15, СЧ20, СЧ25, СЧ30, СЧ35, СЧ40, СЧ45. При маркуванні сірих чавунів літери СЧ означають - чавун сірий, а цифри - мінімальне значення границі міцності при розтягуванні (σ_b , кгс/мм²).

Залежно від рівня фізико-механічних характеристик сірі чавуни умовно можна поділити на чавуни малої та підвищеної міцності і чавуни зі спеціальними властивостями.

Сірі чавуни малої міцності мають феритну або ферито-перлітну структуру з пластинчастим графітом і відповідають маркам від СЧ10 до СЧ30. Наприклад, при розтягуванні границя міцності чавуну СЧ25 $\sigma_b = 250$ МПа, твердість НВ 180...250.

Сірий чавун підвищеної міцності відповідає маркам від СЧ35 до СЧ45, має перлітну металеву основу і більш тонку розгалужену пелюсткову форму графіту. Міцність таких чавунів $\sigma_b = 350...450$ МПа, твердість НВ 200...289.

Міцність цих чавунів забезпечують легуванням і модифікуванням. Легування здійснюють присадкою невеликої кількості нікелю і хрому, молібдену з титаном або міддю. При цьому одержують дрібнозернисту структуру і більш тонку форму графіту. Модифікування здійснюють добавками (0,1...0,3 % від маси чавуну) феросиліцію, сілікоалюмінію, сілікокальцію та іншими. Їх додають безпосередньо у ківш під час його заповнення розплавом. Структура такого чавуну не містить ледебуритного цементиту, чавун твердне з відбілюванням (білий або половинчастий), хімічний склад чавуну лишається практично незмінним. Модифікований рідкий чавун необхідно одразу розливати у ливарні форми, оскільки ефект модифікування зникає вже через 10... 15 хв.

У машинобудуванні з сірих чавунів СЧ10, СЧ15 виготовляють деталі для низьких і середніх статичних навантажень (станіни верстатів, кришки люків, подушки опор тощо); з чавунів СЧ20, СЧ25 - для підвищених навантажень динамічної дії (картери двигунів, блоки циліндрів, поршні, станіни); СЧ30, СЧ35, СЧ40 - для високих навантажень і зношування (розподільні вали, зубчасті колеса, гільзи блоків циліндрів, гальмівні колодки).

Ковкі чавуни. Це умовна назва більш пластичного, порівняно з сірим, чавуну. Його ніколи не кують. Одержують його шляхом тривалого високотемпературного відпалювання виливків білого чавуну з перлітно-цементитною структурою. Під час графітизуючого відпалювання цементит білого чавуну розпадається, утворюючи графіт пластівчастої форми (рис. 13,7, а, б). Залежно від структури металевої основи розрізняють ковкі феритний і перлітний чавуни.

Феритні ковкі чавуни одержують з білих, які мають у своєму складі 2,4...2,8 % С; 0,8...1,4 % Si; 0,3...0,4 % Mn; 0,08... 0,1 % S; < 0,2 % P.

Перлітні ковкі чавуни виготовляють з білих, які містять 2,8... 3,4 % С; 0,5...0,8 % Si; 0,4...0,5 % Mn; 0,12 % S; 0,2 % P.

Залежно від показників міцності при розтягуванні (σ_b) і відносного видовження (δ) ковкі чавуни розрізняють за марками: КЧ30-6, КЧ33-8, КЧ35-10, КЧ37-12 - це феритні чавуни; КЧ45-6, КЧ50-4, КЧ56-4, КЧ60-3, КЧ63-2 - перлітні.

З ковких чавунів виготовляють високоміцні деталі для змінних і ударних навантажень, підвищеного спрацювання, наприклад, шестерні, шатуни, картер заднього мосту, гальмівні колодки, ступиці, гачкові ланцюги, пальці різальних апаратів тощо. Антикорозійні властивості ковких чавунів досить високі при експлуатації в середовищі вологого повітря, води тощо. Вони широко застосовуються у сільськогосподарському, автомобільному, текстильному машинобудуванні.

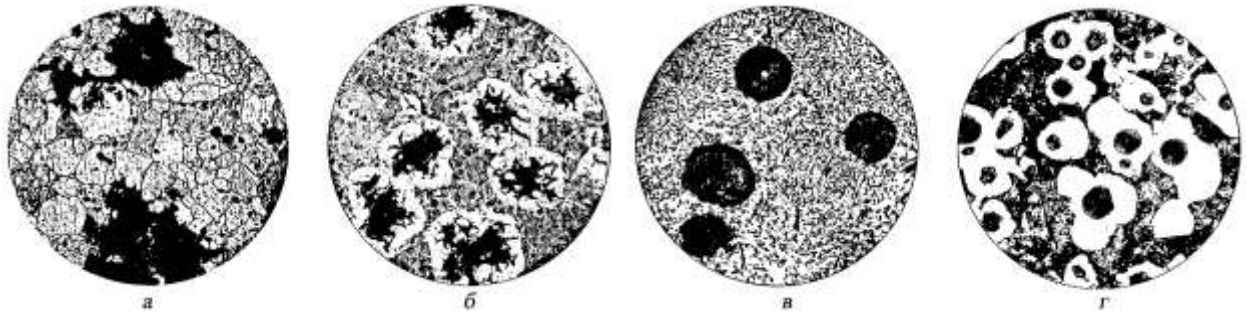


Рис. 13.7. Структури ковкого (а, б) і високоміцного (в, г) чавунів, $\times 200$

Високоміцні чавуни - це різновид сірого чавуну з феритною або перлітною структурою, модифікованого магнієм або комплексними модифікаторами (магній з добавками силіцію та інші). В результаті модифікування одержують графіт кулястої форми і невеликих розмірів (рис. 13.7, в, г). Такі чавуни мають підвищену міцність і порівняно з сірими чавунами здатні чинити опір крихкому руйнуванню. Вони мають феритну або перлітну структуру металевої основи.

Залежно від границі міцності (σ_{ϵ}) і відносного видовження (δ) високоміцні чавуни поділяють на такі марки: ВЧ38-17, ВЧ42-12, ВЧ45-5, ВЧ50-2, ВЧ60-2, ВЧ70-3, ВЧ80-3, ВЧ100-4, ВЧ120-4.

Діапазони зміни властивостей цих марок такі: $\sigma_{\epsilon} = 380 \dots 1200$ МПа, $\delta = 2 \dots 7\%$, твердість НВ 140...369.

Високі механічні властивості цих чавунів дозволяють використовувати їх для виготовлення деталей машин, що працюють за умов значних навантажень, замість поковок і виливків із сталей. З високоміцного чавуну виготовляють деталі ковальсько-пресового обладнання, прокатних станів, парових турбін, тракторів, автомобілів (колінчасті вали, поршні тощо).

ПРОГРАМА ПІДГОТОВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Вивчити теоретичний матеріал за даним посібником та нижче приведеними літературними джерелами.

2. Записати в зошит:

а) що називається технічним залізом, доєвтектоїдною, евтектоїдною і заєвтектоїдною сталями. Розглянути і зарисувати схеми їхніх мікроструктур та пояснити їх. Пояснити, чим відрізняється пластинчастий перліт від зернистого.

б) що називається білим чавуном. Вказати хімічний склад білих чавунів; Описати властивості та сфери їхнього застосування. Розглянути і зарисувати схеми їхніх мікроструктур;

в) що називається сірим чавуном. Зазначити хімічний склад, маркування, механічні властивості, область застосування сірих чавунів. Розглянути і зарисувати схеми їхніх мікроструктур;

г) що називається ковким чавуном. Описати спосіб їхнього одержання. Навести графік відпалювання білого чавуну на ковкий з різною металевою основою. Зазначити їхній хімічний склад, маркування, властивості і сфери застосування;

д) що називається високоміцним чавуном. Описати спосіб його одержання, навести хімічний склад за основними елементами. Навести марки високоміцних чавунів, їхні властивості і сфери застосування. Пояснити переваги високоміцних чавунів перед іншими, в тому числі і ковкими. Розглянути і зарисувати схеми мікроструктур ковких і високоміцних чавунів.

ЗАВДАННЯ Й МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

1. За допомогою металографічного мікроскопа при збільшенні в 200...500 раз провести мікроаналіз зразків відпаленої низьковуглецевої, середньовуглецевої і високовуглецевої сталей твердістю відповідно HB 120, HB 150 і HB 170.

2. Зарисувати й охарактеризувати структури, що спостерігаються в мікроскопі, і визначити приблизний вміст вуглецю в сталях, а також кількісне співвідношення структурних складових. Вказати сфери застосування розглянутих сталей у промисловості.

3. Провести мікроаналіз трьох зразків чавуну твердістю HB 140, HB 220 і HB 350. Зарисувати й охарактеризувати структури чавунів, вказати умови одержання чавунів з цією структурою і приблизні сфери застосування кожного.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які сплави називаються технічним залізом? Охарактеризувати структуру і властивості технічного заліза.

2. Які сплави називаються доевтектоїдними, евтектоїдними, заевтектоїдними сталями? Охарактеризувати їхні структуру і властивості

3. Як впливає концентрація вуглецю на властивості сталі?

4. Що називається чавуном? Як класифікують чавуни? Які чавуни називають білими, сірими, половинчастими, ковкими, високоміцними? Як їх отримують? Яка їхня структура, властивості, сфери застосування, маркування?

Лабораторна робота № 14 ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ ЗЕРНА В СТАЛІ

Мета: Познайомитися з різними методами виявлення зерна в сталі і навчитися визначати величину зерна, користуючись мікроскопом і еталонною шкалою.

Обладнання, матеріали і інструменти

Зразки середньовуглецевої сталі, муфельна піч, шліфувальний верстат, наждачний папір, 4%-ний розчин азотної кислоти в спирті, спирт, металографічний мікроскоп, окуляр-мікрометр.

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Будь-який сталевий виріб має полікристалічну будову, тобто складається із великої кількості зерен. Добре відомо, що від величини цих зерен залежать багато властивостей металу. Так, наприклад, ріст величини зерна різко знижує ударну в'язкість і підвищує поріг холодноламкості. Грубозерниста сталь більш схильна до утворення тріщин при гартуванні, деформації і коробленні. Грубозернистість сталі сприяє зниженню її конструктивної міцності і підвищує крихкість, особливо у деталей, що мають концентратори напружень. Тому в ряді випадків для характеристики металу необхідно знати величину зерна.

Більшість сталевих деталей для надання їм необхідних властивостей піддають термічній обробці. При цьому, як правило, вироби нагріваються вище критичних температур для одержання в них аустенітної структури. Величина зерна аустеніту, що утворюється, має значний вплив на властивості сталі після термічної обробки. Якщо зерно аустеніту виросло до великих розмірів, тоді продукти розпаду (перетворення) аустеніту, що утворюються при охолодженні, будуть грубокристалічними зі зниженими механічними властивостями. Якщо ж зерно аустеніту дрібне, тоді продукти його розпаду також одержуються дрібними, тобто

величина зерна при наступному охолодженні не змінюється. На рис. 15.1 показана схема зміни величини зерна перліту залежно від температури нагрівання в аустенітній області.

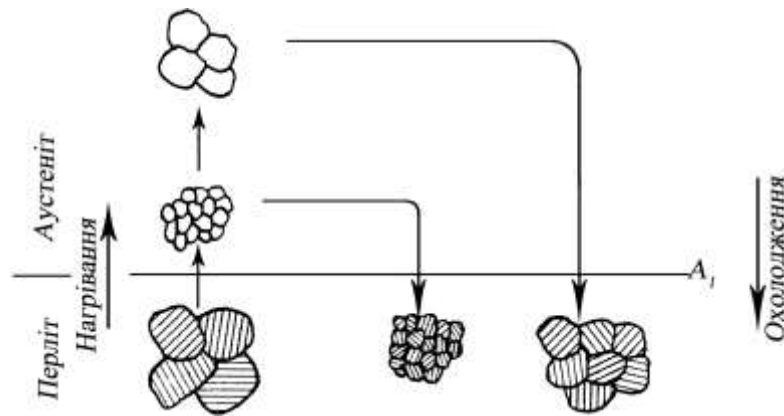
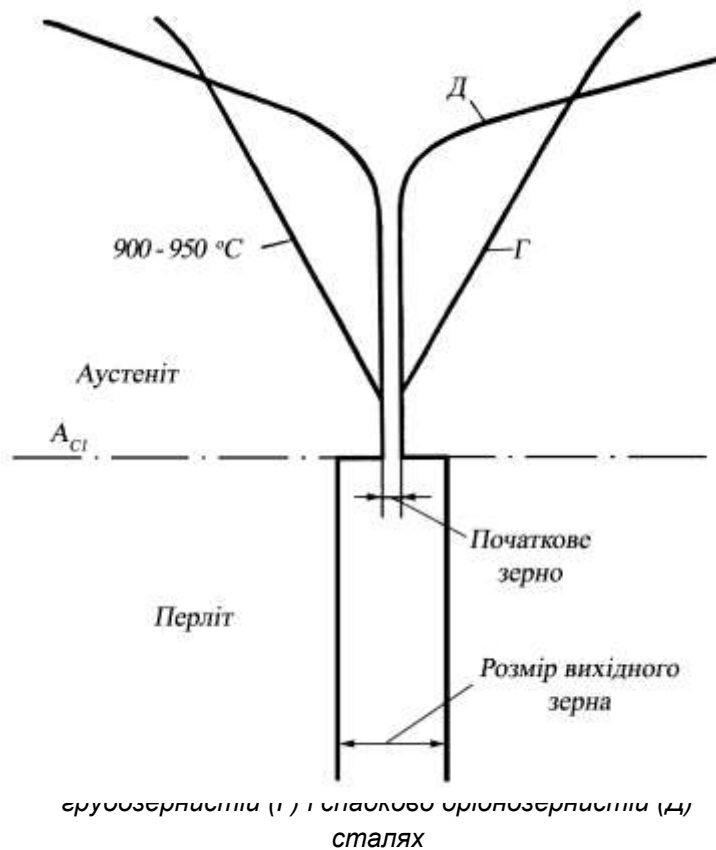


Рис.15.1. Схема зміни величини зерна перліту залежно від температури нагрівання в аустенітній області

Розглянемо механізм процесу утворення аустенітних кристалів із перліту, коли сталь нагріта вище температури A_{c1} (727°C) (рис. 15.2).

Центри кристалізації аустеніту виникають у кристалах фериту в тих місцях, де концентраційні флуктуації збагачення атомами вуглецю складають $0,8\%$. Ймовірність росту аустенітного зародка, що знаходиться всередині об'єму феритного зерна, надзвичайно мала, оскільки для росту зародка необхідний неперервний притік атомів вуглецю, кількість яких у фериті дуже мала ($0,02\%$). Найбільш сприятливими ділянками для утворення і росту кристалів аустеніту є ті зони зерен (пластинок) фериту, що прилягають до кристалів цементиту, тобто границі зерен між феритом і цементитом - структурними складовими перліту.



сфероїдизація (Г) і сталевий сфероїдизація (Д) сталей

Оскільки ці границі дуже розгалужені, тому перетворення починається з утворення великої кількості дрібних аустенітних зерен. Розмір цих зерен характеризує величину початкового зерна аустеніту.

При подальшому нагріванні (або збільшенні тривалості витримки при відповідній температурі) одні зерна аустеніту ростуть за рахунок інших. Рушійною силою росту зерна аустеніту є різниця вільних енергій дрібнозернистої структури (де поверхнева енергія велика) і грубозернистої структури аустеніту (де поверхнева енергія менша).

При рості зерна атоми переходять (в результаті само-дифузії) від сусіднього зерна аустеніту до того, що росте, через межу, внаслідок чого межі зерен переміщуються.

Інтенсивність росту аусте-

нітного зерна залежить від вмісту вуглецю в сталі і від швидкості дифузії.

Найбільш інтенсивно росте зерно аустеніту евтектоїдної сталі. Наявність надлишкових кристалів фериту або цементиту в сталях, відмінних від евтектоїдного складу, в межах температур двофазних областей гальмує ріст аустенітного зерна

Схильність до росту зерна в сталях різна. Розрізняють два типи сталей: спадково дрібнозернисту та спадково грубозернисту; перша характеризується малою схильністю до росту зерна, друга – підвищеною схильністю.

Зміна розмірів зерна при нагріванні двох принципово різних за кінетикою росту зерна сталей показана на рис. 15.2. Перехід через критичну точку A_{C1} супроводжується різким зменшеннями величини зерна. При подальшому нагріванні зерно аустеніту в дрібнозернистій сталі не росте до $950...1000^{\circ}\text{C}$, після чого усуваються фактори, перешкоджаючі росту, і зерно починає швидко рости. В грубозернистій сталі нічого не перешкоджає росту зерна, який і починається зразу ж після переходу через критичну точку.

Під спадковою зернистістю слід розуміти схильність аустенітного зерна до росту.

Різна схильність до росту зерна визначається характером розкислення сталі і її складом. Сталі, розкислені тільки феромарганцем і феросиліцієм, відносяться до групи спадково грубозернистих сталей. Сталі, додатково розкислені алюмінієм, відносяться до групи дрібнозернистих. Сприятливий вплив алюмінію багато дослідників пояснюють стійкістю дисперсних частинок нітриду алюмінію AlN , які при кристалізації сталі розмішуються по границях зерен, утворюючи бар'єри, перешкоджаючі росту зерна при нагріванні. Однак таке гальмування росту зерна аустеніту існує тільки до певної температури нагрівання, при якій відбувається розчинення частинок AlN , і зерно росте навіть у більшій мірі, ніж в спадково грубозернистій сталі.

На величину зерна аустеніту впливає також швидкість нагрівання: з підвищенням швидкості нагрівання величина зерна аустеніту зменшується. Це пояснюється тим, що при великих швидкостях нагрівання швидкість зародження центрів (Ч.Ц.) аустеніту збільшується швидше, ніж швидкість росту кристалів аустеніту (Ш.Р.). Так, при підвищенні температури від 740 до 800 величина Ч.Ц. збільшується у 270 разів, в той час як Ш.Р. – тільки в 41 раз.

Більшість легувальних елементів гальмує ріст зерна аустеніту. Найбільш різко сповільнює ріст зерна титан, цирконій, ванадій, утворюючи розчинні в аустеніті карбіди (TiC , ZrC , VC), менш сильно - хром, вольфрам і молібден. Марганець і фосфор збільшують схильність зерна аустеніту до росту.

Слід відмітити, що терміни "спадково грубозерниста" і "спадково дрібнозерниста" сталь не означають, що вона завжди буде мати грубе або дрібне зерно. Вони вказують лише на те, що при нагріванні до певних температур грубозерниста сталь буде мати більше зерно ніж дрібнозерниста (вище 727°C , але нижче $930...950^{\circ}\text{C}$).

Спадково дрібнозерниста сталь при достатньо високій температурі може мати навіть більш грубе зерно аустеніту, ніж спадково грубозерниста сталь (див. рис.15.2.). Тому введено поняття про дійсне зерно, тобто зерно, отримане в сталі у результаті тієї або іншої термічної обробки.

Розмір дійсного зерна аустеніту визначається температурою нагрівання, тривалістю витримки при цій температурі і схильністю даної сталі до росту зерна при нагріванні.

Властивості сталі визначаються розміром дійсного зерна. Збільшення його розмірів порівняно мало впливає на $\sigma_{0.2}$, σ_b , δ , ψ , але різко знижує ударну в'язкість (роботу поширення тріщини) і підвищує поріг холодноламкості.

Спадкове зерно впливає в основному на технологічні властивості сталі. Спадково дрібнозернисту сталь можна нагріти до більш високих температур ($1000... 1100^{\circ}\text{C}$), не допускаючи перегрівання сталі.

Дрібнозернисту сталь можна обробити тиском і закінчувати деформацію при більш високих температурах без перегрівання.

Зерно аустеніту виявляють різними методами (ДЕСТ 5639-65): цементациєю, окисленням, за феритною або цементитною сіткою і травленням границь зерен.

Метод цементації використовують для низьковуглецевих сталей. Зразки розмішують в залізному контейнері і засипають карбюризатором (наприклад сумішшю BaCO_3 з 40 або 60% деревного вугілля). Потім контейнер накривають кришкою або листовим азбестом і обмащують вогнетривкою глиною. Далі після повного прогрівання витримують в печі при 930°C протягом 8 годин. При цьому концентрація вуглецю в аустеніті, що знаходиться в поверхневому шарі, досягає заевтектоїдної концентрації. При наступному повільному охолодженні по границях зерен виділяється вторинний цементит, що утворює суцільну сітку. Після охолодження виготовляють мікрошліф і травлять 4% - ним спиртовим розчином азотної кислоти. Величина зерна визначається за цементитною сіткою, що знаходиться на границях бувших аустенітних зерен.

Метод окислення використовують для конструкційних і інструментальних сталей. Приготовлений мікрошліф нагрівають до необхідної температури. Оскільки дифузія вуглецю по границях зерен більш інтенсивна, ніж по тілу зерна, тому він проникає по границях зерен на більшу глибину, внаслідок чого на поверхні шліфу утворюється плівка окислів різної товщини.

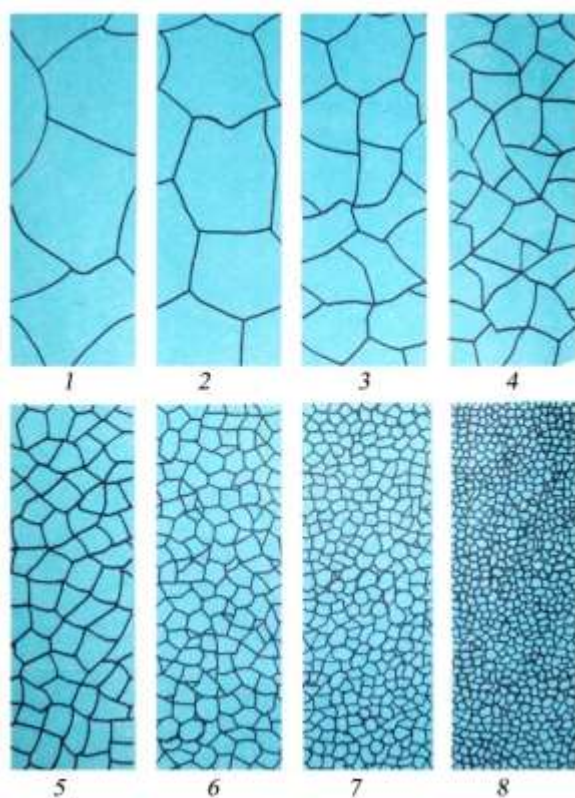


Рис. 15.3. Шкала зернистості сталі, (цифри вказано бал зерна) $\times 100$

Визначити величину зерна в сталі можна також методом виявлення феритної або цементитної сітки, що виділяється по границях бувших аустенітних зерен. Феритна сітка спостерігається в доевтектоїдних сталях, цементитна - в заевтектоїдних.

Зразки нагрівають в печі до температури 930°C (або до температури гартування) і охолоджують: вуглецеві доевтектоїдні сталі на повітрі, вуглецеві заевтектоїдні і низьколеговані (із швидкістю $50 \dots 100^\circ\text{C}$ за 1 год.) до температури $720 \dots 730^\circ\text{C}$, а потім у воді.

Потім виготовляють мікрошліф і виявляють зерно травленням 4%-ним спиртовим розчином азотної кислоти.

Величину зерна визначають під мікроскопом при збільшенні в 100 раз. Зерна, видимі на шліфі, порівнюють з еталонними зображеннями, приведеними на рис. 15.3; величина зерна еталонів характеризується номером (балом). Сталі, в яких величина зерна відповідає 1-4-му балу, відносяться до грубозернистих, а сталі з балом зерна 5 - 10 - до дрібнозернистих.

Величина зерна може бути визначена і підрахунком числа зерен, що приходяться на одиницю поверхні шліфу.

ПРОГРАМА ПІДГОТОВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Вивчити теоретичний матеріал за даним посібником та нижче приведеними літературними джерелами.
2. Описати механізм утворення аустеніту із перліту евтектоїдної сталі.
3. Зарисувати діаграму ізотермічного перетворення перліту в аустеніт евтектоїдної сталі і пояснити за її допомогою як впливає швидкість нагрівання на хід перетворення $A \rightarrow P$.

4. Записати в зошит, що називається початковим, спадковим і дійсним зерном аустеніту, спадково дрібнозернистою і спадково грубозернистою сталями.

5. Описати суть визначення величини зерна методами цементації, окислення виявлення феритної або цементитної сітки.

ЗАВДАННЯ Й МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

Завдання. *Визначити величину зерна сталі.*

1. Одержати два зразки однієї марки сталі. На одному зразку визначити величину зерна за методом виявлення феритної або цементитної сітки.

2. На поверхні другого зразка зробити мікрошліф для виявлення зерна методом окислення. Далі нагріти мікрошліф в муфельній печі до 930°C і дати витримку 30 хв. Потім на 30..60 с відкрити піч для подачі повітря, після чого мікрошліф охолодити в воді.

Після охолодження зразок обережно відполірувати, для того, щоб частково усунути плівку окислів з поверхні, контролюючи при цьому результати під мікроскопом. Надмірне полірування може усунути весь шар окислів. Для виявлення контрастної сітки шліф протравити 4%-ним розчином азотної кислоти в спирті.

3. Розглядаючи шліф під мікроскопом, порівняти величину зерна, одержану двома способами.

Описати методику виконання експерименту, зарисувати структури і дати оцінку використуваним методам.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Охарактеризуйте механізм перетворення перліту в аустеніт. Поясніть за допомогою діаграми ізотермічного перетворення перліту в аустеніт евтектоїдної сталі, як впливає швидкість нагрівання на хід перетворення А → П.

2. У яких випадках виникають явища перегрівання і перепалювання сталей? У чому їхня суть? Позитивно чи негативно вони впливають на властивості сталей? Чому?

3. З якою метою визначають величину зерна в металевих виробках?

4. Описати ріст зерна аустеніту при нагріванні та вказати від яких факторів він залежить. Чому?

5. Які заходи дозволяють дістати дрібне зерно аустеніту при нагріванні сталі?

6. Які є способи визначення величини зерна в сталях. У чому їхня суть?

Лабораторна робота № 15 ВИЗНАЧЕННЯ КРИТИЧНИХ ТОЧОК СТАЛІ МЕТОДОМ ПРОБНИХ ГАРТУВАНЬ

Мета: Навчитись визначати критичні точки в сталях методом пробних гартувань.

Обладнання, матеріали та інструменти

Зразки виготовлені із доевтектоїдної вуглецевої сталі у вигляді шайб діаметром 15...20 мм і висотою 12...15 мм, муфельна піч, посудина з водою для гартування, наждачний папір, щипці, твердомір, мілівольтметр, термопара.

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

При нагріванні або охолодженні в металах і сплавах відбуваються структурно-фазові перетворення. Температури при яких відбуваються ці перетворення, прийнято називати

критичними температурами або критичними точками. Знання критичних точок необхідне не тільки для характеристики перетворень, але і для виконання теплової обробки і, зокрема, встановлення режимів термічної обробки (температури нагрівання для відпалювання, нормалізації, гартування і високого відпускання). Положення критичних точок в сталях залежить від їхнього хімічного складу, зокрема від концентрації вуглецю, а також від наявності легувальних елементів. На діаграмі стану залізо-цементит (див. рис. 12.1) критичні точки сталей характеризуються лініями: лінія **PSK** - відповідає критичним точкам **Ac1**, якщо перетворення відбуваються при нагріванні і **A_{c1}** - при охолодженні, лінія **GS** - **Ac3** - при нагріванні і **A_{c3}** - при охолодженні (для доєвтектоїдних сталей), лінія **SE** - **Ac_m** (для заєвтектоїдних сталей). Температури гартування і відпалювання вибирають звичайно на 30...60°C вище **Ac3** для доєвтектоїдної і на 30...50°C вище **Ac1** для заєвтектоїдної вуглецевої сталі.

Однак діаграма залізо-цементит характеризує стан лише чистих залізо-вуглецевих сплавів, але у промислових сплавах перебувають, крім того, Mn, Si, P і S (а також в незначній кількості Cr, Ni і ін.). У вуглецевих сталях вплив цих домішок на положення критичних точок незначний, що і дозволяє з деяким наближенням визначати температури для проведення термічної обробки за діаграмою залізо-цементит. Зі збільшенням у них вмісту марганцю (більше 0,7...0,8 %) або кремнію (більше 0,5...0,6 %) або при введенні до їхнього складу інших легувальних елементів (Cr, Ni і ін.) положення критичних точок³ значно змінюється і визначення їх за діаграмою залізо-цементит або за потрібною діаграмою залізо-цементит-легувальний елемент для сталі, що містить декілька легувальних елементів, стає неможливим.

Внаслідок відсутності діаграм ряду багатокомпонентних систем для призначення режимів термічної обробки необхідне експериментальне визначення критичних точок – областей перетворень⁴. Для широкого застосування сталей критичні точки визначені і вказані в технічній літературі і довідниках. Однак критичні точки різних плавок можуть дещо відрізнятися, особливо для складнолегованої сталі при відхиленні у вмісті окремих елементів від середнього складу. На заводах, для визначення режиму термічної обробки легованої сталі різних плавок, попередньо визначають критичні точки. Вони особливо необхідні для сталей з новим хімічним складом. Для їхнього визначення застосовують дилатометричний і диференціально-термічний методи, метод пробних гартувань, а також метод вимірювання електроопору. Застосування дилатометричного і диференціально-термічного методів забезпечує високу точність. Найбільш простим, але менш точним є метод пробних гартувань; він полягає в наступному. Із досліджуваної сталі виготовляють зразки у вигляді шайб діаметром 15...20 мм і висотою 12...15 мм. Один зразок нагрівають нижче передбачуваної температури **Ac1**, швидко охолоджують у воді і вимірюють його твердість; другий зразок нагрівають на 10...15°C вище, також охолоджують і вимірюють його твердість. Таким же чином нагрівають до все більш високої температури кожний наступний зразок. Припустимо, що потрібно визначити критичні точки **Ac1** і **Ac3** доєвтектоїдної вуглецевої сталі; положення цієї сталі на діаграмі стану залізо-цементит (без урахування впливу домішок) показано вертикальною лінією (рис. 14.1). Очевидно, що нагрівання нижче точки **Ac1**, наприклад до т.1, не може змінити структуру й підвищити твердість; остання може навіть трохи понизитися, якщо сталь була попередньо недостатньо відпущена або відпалена.

Однак твердість зростає, якщо сталь нагріти трохи вище **Ac1**, наприклад до температури, що відповідає т.2 (рис. 14.1), а потім охолодити у воді. Структура в цьому

³ В потрібному або багатокомпонентному сплаві критичним точкам відповідає інтервал температур перетворення, положення якого залежить від складу сплаву.

⁴ При значній швидкості нагрівання положення критичних точок може зміщуватися в бік більших температур; зміщення може досягати десятків і навіть сотень градусів при дуже швидкому нагріві (наприклад, струмами високої частоти).

випадку зміниться; сталь одержить структуру ферит + аустеніт. У результаті швидкого охолодження сталь одержить структуру ферит + мартенсит, тому що аустеніт при охолодженні перетвориться в мартенсит. А ферит, що зберігся при нагріванні до т.2, залишиться при охолодженні без структурних змін. Утворення більш твердої складової мартенситу підвищує твердість.

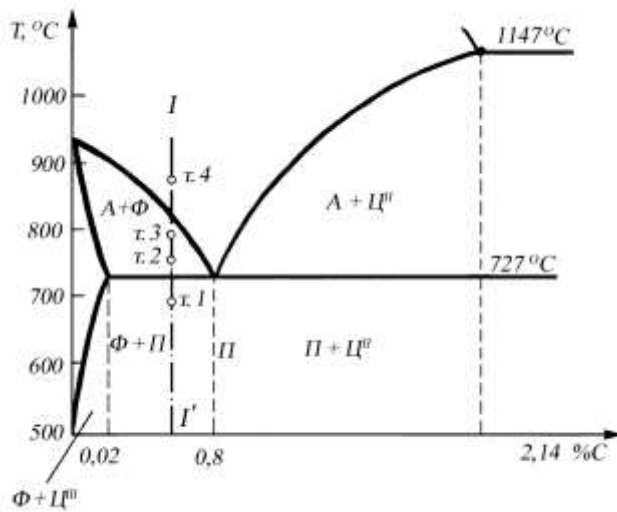


Рис. 14.1.

Стальний кут діаграми залізо-цементит (область перетворень у твердому стані)

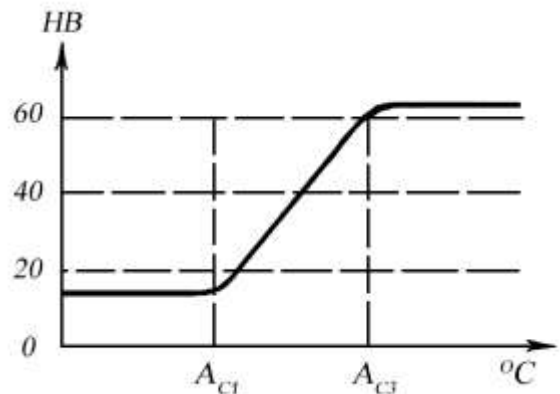


Рис. 14.2.

Діаграма для визначення критичних точок доєвтектоїдної сталі способом пробних гартувань

Після більш високого нагрівання, наприклад до т.3 (рис. 14.1), твердість ще більше збільшиться. Оскільки з підвищенням температури в інтервалі $A_{c1} \dots A_{c3}$ кількість аустеніту зростає, а кількість фериту зменшується. В зв'язку з чим у загартованій сталі повинна збільшуватися кількість більш твердої складової - мартенситу⁵. Підвищення твердості повинне тривати доти, поки не буде досягнута температура A_{c3} . Тоді сталь при нагріванні одержує повністю аустенітну структуру, а при охолодженні - структуру мартенситу. Очевидно, що подальше підвищення температури гартування не змінить структуру сталі і її твердість у загартованому стані⁶. Результати вимірювання твердості записують у таблицю, за даними якої будують криву у координатах твердість - температура нагрівання. Вигляд такої кривої для доєвтектоїдної сталі показано на рис. 14.2: температура початку підвищення твердості відповідає точці A_{c1} , а кінця підйому точці A_{c3} .

Криві для евтектоїдної і заєвтектоїдної сталі мають інший хід. При нагріванні нижче A_{c1} ці сталі, як і доєвтектоїдні, не змінюють структуру, але при нагріванні вище точки A_{c3} евтектоїдна сталь одержує структуру аустеніту, а заєвтектоїдна - аустеніт + цементит. Після загартування евтектоїдна сталь має структуру мартенситу; заєвтектоїдна - мартенситу й цементиту. Ці структурні стани визначають високу твердість (> 60 HRC). Ще більш високе нагрівання мало змінює твердість, крива твердості на діаграмі має у зв'язку із цим різкий перелом, що відповідає температурі A_{c1} .

⁵ Нагрівання в інтервалі $A_{c1} - A_{c3}$ змінює склад аустеніту доєвтектоїдної сталі, а отже, і склад мартенситу, що утвориться при охолодженні; мартенсит, отриманий гартуванням з більш низької температури в цьому інтервалі, має більшу твердість. Але ця зміна не дуже значна.

⁶ У загартованій сталі (більше 0,5 % C) зберігається невелика кількість залишкового аустеніту. Більш високе нагрівання (на 70—100°C вище A_{c3}) викликає ріст зерна аустеніту, утворення грубокристалічного мартенситу й збереження в структурі загартованої сталі великої кількості залишкового аустеніту. Ці зміни мало впливають на твердість доєвтектоїдної вуглецевої і низьколегованої сталей; у легованих, а також у вуглецевій заєвтектоїдній сталі після гартування від високих температур зберігається підвищена кількість залишкового аустеніту, що викликає зниження твердості.

Точність способу пробних гартувань залежить від величини інтервалу температур нагрівання кожного наступного зразка. У промисловості для визначення температур загартування досить надійне нагрівання через кожні 10°C, причому до кожної температури нагрівають два - три зразки. Точність визначення критичних точок у цьому випадку становить приблизно $\pm 5^\circ\text{C}$. Така точність є достатньою для практичних цілей, наприклад при визначенні температур для проведення термічної обробки деталей машин і конструкцій, але не є достатньою при вивченні діаграм стану й для багатьох дослідницьких робіт.

ПРОГРАМА ПІДГОТОВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Вивчити теоретичні відомості за даним посібником та нижче приведеною літературою.
2. Зарисувати в зошит та пояснити графік залежності швидкості дифузії атомів вуглецю у кристалічній решітці заліза, різниці вільних енергій аустеніту і перліту, а також швидкості перетворення аустеніту в перліт у залежності від ступеня переохолодження;
3. Описати:
 - а) методику побудови діаграми ізотермічного перетворення аустеніту;
 - б) методику визначення критичних точок сталі методом пробних гартувань;
 - в) механізми перетворення перліту в аустеніт, аустеніту в перліт, аустеніту в мартенсит, мартенситу в перліт.

ЗАВДАННЯ Й МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

Завдання. *Визначити критичні точки вуглецевої сталі методом пробних гартувань.*

Для дослідження беруться зразки, виготовлені із однієї і тієї ж марки доевтектоїдної сталі діаметром 15 мм і товщиною 5...10 мм, які нагрівають до різних послідовно зростаючих температур з інтервалом 15...25°C і гартують у воді. Нижня температура гартування повинна бути нижчою за передбачувану точку A_{c1} , а верхня - вище передбачуваної точки A_{c3} . Час нагрівання зразків встановлюється із розрахунку 1 хв. на 1 мм їхнього поперечного перерізу.

Всі зразки, загартовані від різних температур, піддають випробуванню на твердість.

За одержаними результатами будують криву залежності зміни твердості зразків даної сталі від температури гартування.

Звернемося до реального прикладу. Нехай ми маємо 22 зразки відпаленої вуглецевої доевтектоїдної сталі. Виберемо нижню температуру, гартування 675°C, а верхню - 900°C. Інтервал між температурами гартування двох послідовних зразків - 25°C. Для кожної із вибраних 10 температур гартування слід взяти по два зразки, всього 20 зразків; два зразки потрібні для визначення твердості у вихідному стані. Якщо зразки діаметром 15 мм і висотою 10 мм, то їх слід витримувати при температурі нагрівання під гартування 15 хв.

Зразки №1 і №2 використовуються для визначення твердості вихідного відпаленого стану сталі.

Далі необхідно послідовно загартувати зразки від вказаних в табл. 14.1 температур і визначити їхню твердість. До кожної даної температури нагрівають два зразки, що проходять обробку в адекватних умовах.

Кожні два зразки розмішують у пічці, попередньо нагрітій до температури гартування; не рекомендується розмішувати в печі, нагрітій до найбільш низької температури гартування зразу всі або декілька зразків, які потрібно нагрівати до різних температур, оскільки зразки, знаходячись в різних умовах нагрівання, набувають різної величини зерна.

Для правильного нагрівання і точного вимірювання температури зразки слід розмішувати на середині печі і спай термопару встановлювати як можна ближче до зразків.

Щоб запобігти окисленню і зневуглецюванню, що виникає при нагріванні і витримці при температурі гартування, зразки краще нагрівати в розплаві солей. Якщо ж вони нагріваються у відкритій печі, то перед вимірюванням твердості потрібно на одному з торців зняти (за допомогою наждачного паперу) достатній шар.

Послідовність виконання роботи така:

1. Одержати у викладача для дослідження 22 зразки відпаленої вуглецевої доевтектоїдної сталі.

2. Виміряти твердість зразків № 1 і № 2 у вихідному відпаленому стані і середнє їхнє значення записати у табл. 14.1.

3. Провести гартування зразків у воді від різних температур, виміряти їхню твердість і дані записати в табл. 14.1.

4. За результатами досліджень побудувати криву в координатах твердість-температура нагрівання для гартування.

Таблиця 14.1

№ зразка	Температура нагрівання для гартування, °С	Твердість (середня), НВ	Мікроструктура
1, 2	Відпалений		
3, 4	675		
5, 6	700		
7, 8	725		
9, 10	750		
11, 12	775		
13, 14	800		
15, 16	825		
17, 18	850		
19, 20	875		
21, 22	900		

Таблиця 14.2

Марка сталі	Ас1	Ас3	Марка сталі	Ас1	Ас3
10	730	875	65	727	752
20	735	855	У7	725	765
30	735	812	У8	720	740
35	730	802	У9	730	760
40	727	788	У10	730	800
45	725	770	У12	730	820
50	720	760			

5. За одержаною кривою визначити критичну точку Ас1 (місце початку підйому кривої) і критичну точку Ас3 (місце кінця підйому кривої) досліджуваної сталі.

6. Користуючись одержаними значеннями температур критичних точок Ас1 і Ас3 і даними табл. 14.2 визначити марку досліджуваної сталі.

7. Користуючись літературними даними і діаграмою стану залізо-цементит встановити структури сталі після гартування від різних температур і назви відповідних структур записати в табл. 14.1.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які точки в металах і сплавах прийнято називати критичними? Які критичні точки в сталях характеризуються лініями **PSK**, **GS** і **SE** на діаграмі стану залізо-цементит?

2. Охарактеризувати перетворення, що відбуваються в сталях під час нагрівання вище критичних температур.

3. Охарактеризувати методику побудови діаграми ізотермічного перетворення аустеніту.

4. Охарактеризувати перетворення, що відбуваються в сталях при охолодженні з різними швидкостями.

5. Що в основному впливає на швидкість перетворення А → П в інтервалі температур:
а) А_{г1}...550 °С; б) 550...300 °С. Чим можна пояснити, що при великих ступенях переохолодження час перетворення аустеніту значно збільшується?

6. Згадавши механізм кристалізації і враховуючи, що перетворення А → П відбувається за тим же самим механізмом, встановіть, у чому різниця перліту (Ф + Ц), який утворився із аустеніту при 700 і 550 °С.

Лабораторна робота № 16 **ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ РЕЖИМІВ ВІДПАЛЮВАННЯ** **І НОРМАЛІЗАЦІЇ НА ВЛАСТИВОСТІ ВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ**

Мета: 1. Ознайомитися з технологією проведення основних видів відпалювання і нормалізації вуглецевих сталей та навчитися встановлювати залежність їхніх механічних властивостей (твердості) від режиму термічної обробки.
2. Навчитися вибирати і проводити різні види відпалювання й нормалізацію.

Обладнання, матеріали і інструменти

Муфельні печі, зразки доевтектоїдних і заевтектоїдних перегрітих і наклепаних сталей у вигляді шайб діаметром 15...20 мм і висотою 12...15 мм, шліфувальний верстат, наждачний папір, 4% - ний розчин азотної кислоти в спирті, металографічний мікроскоп, твердомір.

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

В машинобудівній промисловості для виготовлення деталей, інструментів і пристосувань широко використовують вуглецеву сталь. Для задоволення вимог, що висуваються до цих виробів, сталь піддається термічній обробці.

Термічна обробка (ТО) - це сукупність технологічних операцій нагрівання, витримки і охолодження, що проводяться в певній послідовності, з метою одержання потрібних механічних, технологічних, експлуатаційних і фізико-хімічних властивостей за рахунок зміни внутрішньої будови (структури) металу.

Ця обробка є одним із найбільш поширених в сучасній техніці способів одержання необхідних властивостей металів. Вона використовується або як проміжна операція для зменшення твердості металів і поліпшення їхньої обробки різанням, тиском тощо, або як остаточна операція технологічного процесу, що забезпечує заданий рівень фізико-механічних властивостей готового виробу.

Термообробкою можна в широкому діапазоні змінювати міцність, жароміцність, пластичність, в'язкість, технологічні властивості (здатність до кування, штампування, шліфування, зварювання тощо), магнітні, електричні, корозійні, теплові, оптичні властивості та ін.

ТО підвищує конструктивну міцність, надійність і довговічність матеріалу конструкцій, вузлів, деталей у процесі їх експлуатації. Номенклатура деталей, що піддаються ТО, дуже велика – від найдрібніших деталей у прецизійних приладах до великих виливок і поковок. Вона суттєво впливає на працездатність і собівартість суміжних операцій виробництва. При цьому собівартість самої ТО не перевищує 2...4 % повної собівартості.

Основними параметрами, що характеризують режим ТО є: температура і швидкість нагрівання, тривалість витримки при заданій температурі, швидкість охолодження.

Температура нагрівання сталі залежить від положення критичних точок і виду ТО. Швидкість нагрівання залежить від хімічного складу сталі, розміру і форми оброблюваних деталей, їхньої маси, характеру і розміщення виробів у печі, типу нагрівальних пристроїв, температури нагрівання тощо. Витримка при заданій температурі необхідна для завершення фазових перетворень, що відбуваються в металі, а також для вирівнювання температури по всьому об'єму деталі. Швидкість охолодження головним чином залежить від стійкості переохолодженого аустеніту, тобто від хімічного складу сталі, а також від структури, яку необхідно одержати. З цією метою підбирають різні охолоджувачі.

В основі ТО сталей лежать чотири основні перетворення: перліту в аустеніт, аустеніту в перліт, аустеніту в мартенсит і мартенситу в перліт.

Нагрівання евтектоїдної сталі, відповідно до (рис. 12.1) лівої частини діаграми Fe - Fe₃C вище за температуру критичної точки A_{с1} (727°C, лінія PSK) призводить до утворення із перліту аустеніту. Причиною цього перетворення є перебудова кристалічної решітки заліза ОЦК (α-Fe) у кристалічну решітку ГЦК (γ-Fe), що викликає фазове перетворення фериту в аустеніт і розчинення цементиту (другої фази перліту) в новоутвореній фазі (аустеніті).

Формування структури сталі при охолодженні в значній мірі залежить від швидкості охолодження. При повільному охолодженні евтектоїдної сталі (0,8% C) нижче за температуру критичної точки A_{н1} (рис. 12.1) відбувається евтектоїдне перетворення аустеніту на феритно-цементитну суміш, що називається *перлітом*. Зазначимо, що перетворення (розпад) може відбуватися лише за температур, нижчих від критичної точки A_{н1} (727°C), за умови, що вільна енергія аустеніту вища за вільну енергію продуктів його перетворення. Тобто аустеніт має бути переохолодженим. Від ступеня переохолодження (температури), за якого відбувається перетворення, залежать швидкість перетворення та структурний стан продуктів розпаду аустеніту.

Розрізняють три основні етапи перетворення аустеніту під час охолодження:

- 1) перетворення Fe_γ → Fe_α (ГЦК → ОЦК - решітка);
- 2) зародження центрів кристалізації цементиту (Fe₃C);
- 3) розростання зерен цементиту.

Внаслідок цих процесів відбувається утворення і розростання пластинчастих кристалів фериту і цементиту, що утворюють перлітну колонію. Перетворення (A_{0,8} → П(Ф_{0,02}+Ц_{6,67})) починається із зародження центрів кристалізації цементиту біля границь зерен. Пластинки цементиту ростуть вглибину зерна аустеніту, при цьому сусідні мікрооб'єми аустеніту збіднюються на вуглець і перетворюються у ферит. Так формується феритно-цементитна суміш.

Алотропічне перетворення заліза – процес бездифузійний і тому протікає миттєво. Другий процес – утворення цементиту – дифузійний, пов'язаний з виходом атомів вуглецю із твердого розчину. Отже, для його завершення необхідний деякий час. Тому при швидкому охолодженні в точці перлітного перетворення зародки цементиту не встигають сформуватися і ця точка зміщується в область більш низьких температур. При цьому чим більша швидкість охолодження сталі, тим при більш низькій температурі (при більшому ступені переохолодження) закінчується процес перетворення аустеніту на феритно-цементитну суміш.

Залежність ступеня переохолодження аустеніту від швидкості охолодження евтектоїдної сталі показана в табл. 16.1.

Таблиця 16.1

Швидкість охолодження, °C/с	Температура закінчення розпаду, °C	Ступінь переохолодження аустеніту, °C
1/60	710	27
1	680	47
10	650	77
50	600	127
100	550	177
500	240	487

Зі збільшенням швидкості охолодження сталі збільшується ступінь переохолодження аустеніту (знижується температура розпаду аустеніту), зростає число зародків цементиту, але одночасно зменшується швидкість дифузії вуглецю. В результаті будова феритно-цементитної суміші подрібнюється, що викликає підвищення твердості і міцності.

При швидкості охолодження $1^{\circ}\text{C}/\text{хв}$. реалізуються всі етапи перетворення і формується структура пластинчастого *перліту* (див. рис. 16.1, а) з міжпластинчастою відстанню $\Delta_0 = 0,6 \dots 1,0$ мкм і твердістю НВ 180...250. Збільшення швидкості охолодження до $5^{\circ}\text{C}/\text{с}$ дає змогу реалізувати перший та другий етапи перетворення повністю, а третій лише частково. При цьому утворюється дисперсніша ферито-цементитна суміш ($\Delta_0 = 0,25 \dots 0,3$ мкм і НВ 250...300) – *сорбіт* (див. рис. 15.6, б). При швидкостях охолодження $40 \dots 60^{\circ}\text{C}/\text{с}$ сповна реалізується перший та другий етапи, а третій зупиняється одразу ж на початку перетворення. Тому утворюється дуже дрібна структура ферито-цементитної суміші ($\Delta_0 = 0,1 \dots 0,15$ мкм і НВ 350...450) – *тростит* (див. рис. 16.1, в).

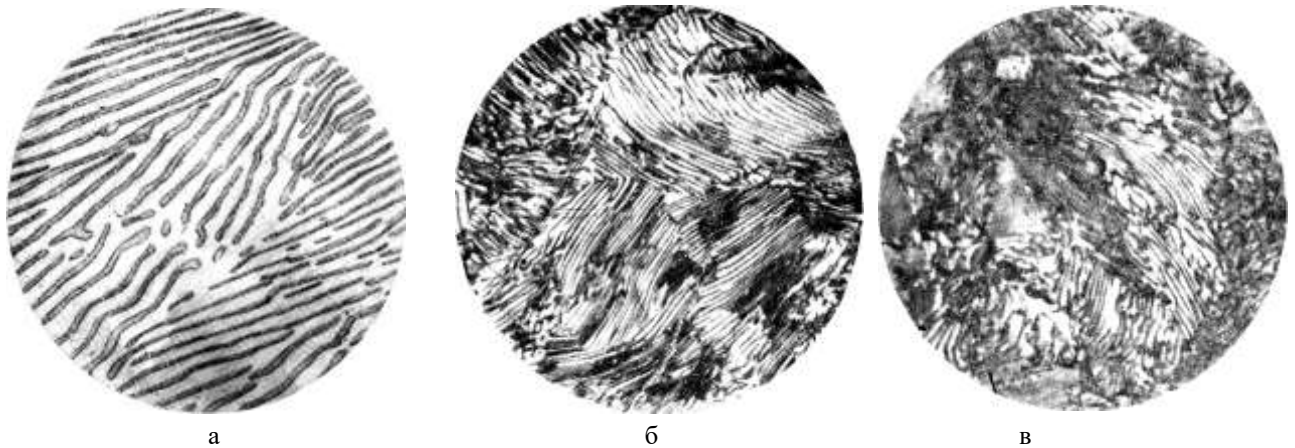


Рис. 16.1. Мікроструктури отримані при охолодженні аустеніту евтектоїдної сталі з різними швидкостями: а – перліт, б – сорбіт гартування, в – тростит гартування $\times 2000$

При швидкості охолодження $150 \dots 200^{\circ}\text{C}/\text{с}$ аустеніт переохолоджується до температур $240 \dots 200^{\circ}\text{C}$, при яких дифузія атомів вуглецю практично відсутня. В цих умовах перетворення аустеніту відбувається бездифузійним шляхом: кристалічні решітки Fe_{γ} завдяки кооперативному (одночасному) зміщенню однієї чи кількох суміжних площин атомів заліза перетворюються на решітки Fe_{α} . При цьому шляхи переміщення атомів заліза не перевищують відстаней між ними в решітці. Оскільки дифузійні процеси загальмовані, весь вуглець, розчинений в аустеніті, залишається в решітці Fe_{α} . Розчинність вуглецю в аустеніті значно більша, ніж у фериті, тому утворюється перенасичений твердий його розчин у Fe_{α} , який називається *мартенситом* (рис. 16.2).



Рис. 16.2. Мікроструктура мартенситу, $\times 1000$

При утворенні мартенситу решітки Fe_{α} дуже спотворюються, перетворюючись із кубічних на тетрагональні. Це дуже міцна та тверда структурна складова сталі, разом з цим і крихка. Велика твердість мартенситу пояснюється значними внутрішніми напруженнями в його решітці, зумовленими надмірною кількістю розчиненого

вуглецю, подрібненням блокової структури його зерна та великою щільністю дислокацій. Властивість мартенситу залежать від вмісту вуглецю в ньому; зі збільшенням вмісту вуглецю твердість, а в деякому інтервалі й границя міцності зростають, а пластичність та ударна в'язкість спадають.

Описані перетворення використовують на практиці – при нагріванні й охолодженні з різною швидкістю отримують потрібні структури, а отже і властивості сталі. Так, нагріваючи

евтектоїдну сталь до аустенітного стану і повільно охолоджуючи її, отримують саму м'яку структуру (перліт). (Відповідна операція ТО – *відпалювання і нормалізація*).

Охолоджуючи нагріту до аустенітного стану евтектоїдну сталь зі швидкістю більшою за $150^{\circ}\text{C}/\text{с}$, отримують структуру мартенситу. Ця операція термообробки називається *гартуванням*. Однак після гартування сталь використовувати не можна. Вона дуже крихка і має низьку міцність. Її необхідно шляхом нагрівання до певних температур (але не більших за критичні) привести в більш стійкий стан. Ця операція ТО називається *відпусканням*.

Вуглецеві сталі піддають таким видам ТО: відпалюванню, нормалізації, гартуванню і відпусканню, а також хіміко-термічній обробці.

Відпалюванням називається така операція ТО при якій сталь нагрівається вище температур фазових перетворень і після необхідної витримки повільно охолоджується (звичайно разом з пічкою).

При повільному охолодженні сталі наближаються до фазової і структурної рівноваги. Мета відпалювання - виправлення структури після гарячої обробки (кування, прокатки, виливання), зменшення твердості і міцності для покращення умов обробки різанням, підготовка структури до наступної ТО і холодного штампування, зменшення хімічної неоднорідності сталі і зменшення внутрішніх напружень. Розрізняють відпалювання 1-ого і 2-ого роду, які в свою чергу поділяються на: дифузійне або гомогенізаційне, рекристалізаційне, низьке або відпалювання для зменшення внутрішніх напружень (види відпалювання 1-ого роду), а також на повне, неповне, ізотермічне, світле (види відпалювання 2-ого роду).

Нормалізацією називається така операція ТО при якій доевтектоїдну сталь нагрівають до температури вище $A_{с3}$, а заевтектоїдну - вище A_{cm} на $50...60^{\circ}\text{C}$ з наступним охолодженням на повітрі. Після охолодження на спокійному повітрі сталь набуває дрібнозернистої однорідної структури, зменшуються внутрішні напруження у виробках, усуваються багато дефектів, що виникли при попередній обробці сталей виробів.

Структура низьковуглецевої сталі після нормалізації та сама, що й після відпалювання (ферито-перлітна), а в середньо- та високовуглецевих сталях – сорбітна. В заевтектоїдних сталях нормалізацією усувають грубу сітку вторинного цементиту. Твердість і міцність сталі після нормалізації вищі, ніж після відпалювання. Різниця у властивостях нормалізованої та відпаленої низьковуглецевої сталей невелика, а в середньовуглецевих – суттєва. Тому нормалізація перших може замінити відпалювання, а других гартування з високим відпусканням.

Нормалізацію найчастіше застосовують як проміжну обробку для поліпшення структури сталі, наприклад перед її гартуванням. Однак іноді вона може бути кінцевою, тому що дає можливість дістати сприятливе поєднання властивостей міцності та пластичності сталі, наприклад при виготовленні сортового прокату (рейки, швелери тощо).

Нормалізацією з високим відпусканням замість відпалювання виправляють структуру і легованих сталей.

ПРОГРАМА ПІДГОТОВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Вивчити теоретичний матеріал за даним посібником та приведеними нижче літературними джерелами.

2. Зарисувати нижній лівий кут діаграми стану залізо-цементит і вказати на ньому інтервали температур для проведення різних видів відпалювання та нормалізації сталей.

ЗАВДАННЯ Й МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

Завдання 1. Вивчити технологію проведення різних видів відпалювання вуглецевих сталей.

1. Використовуючи діаграму стану залізо-цементит та діаграму ізотермічного перетворення переохолодженого аустеніту різних вуглецевих сталей, навчальні посібники і довідникову літературу визначити для двох заданих викладачем марок вуглецевих сталей температури для проведення дифузійного, рекристалізаційного, низького, повного і неповного відпалювання та записати їх в самостійно складену таблицю.

2. Вияснити і описати технологію проведення кожного виду відпалювання, а також описати перетворення, що відбуваються в заданих сталях при цих термообробках і отриману структуру. Обов'язково вказати з якою метою застосовують кожну термообробку, а також за рахунок яких процесів або явищ досягається результат кожної термообробки.

3. Структуру заданих сталей необхідно підготувати до наступної обробки різанням. Який вид відпалювання для цього потрібно вибрати? Чому? Які структури і властивості при цьому вони будуть мати?

Завдання 2. Побудувати графік нормалізації досліджуваної сталі.

1. Одержати у викладача два однакових за формою і розмірами зразки виготовлені із однієї і тієї ж сталі і вияснити їхню марку.

2. Визначити твердість зразків досліджуваної сталі у вихідному стані.

3. Визначити температуру для проведення нормалізації досліджуваної сталі та загальний час нагрівання зразків із розрахунку 1,5 хв на 1 мм діаметра і дані записати в табл. 16.1.

Таблиця 16.1.

Марка сталі	Діаметр або товщина зразка, мм	Твердість у вихідному стані, НВ (HRC)	Час нагрівання, хв	Твердість після нормалізації

4. Зразки розмістити в печі, нагрітій до температури нормалізації для сталі даної марки і витримати в печі необхідний час.

5. За допомогою щипців вийняти зразки із печі і охолодити на спокійному повітрі .

6. Зачистити плоскі поверхні зразків, визначити їхню твердість і середнє її значення записати в таблицю 16.1.

7. Побудувати графік нормалізації в координатах температура - час.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що називається термічною обробкою?

2. Яка операція термічної обробки називається відпалюванням? Охарактеризуйте види відпалювання 1-ого і 2-ого роду. З якою метою використовують ці види відпалювання? За рахунок яких явищ або процесів досягається мета при різних видах відпалювання? Яку структуру і властивості мають сталі після таких термообробок?

3. Що називається нормалізацією? Мета цього виду термічної обробки? В яких випадках і чому відпалювання можна замінити нормалізацією?

4. Структуру сталі 45 і У12 необхідно підготувати до наступної обробки різанням. Який вид термічної обробки потрібно вибрати з цією метою для кожної із сталей? Чому? Яку структуру і властивості при цьому будуть мати сталі?

5. Що називається наклепом? Як змінюється структура і чому в процесі рекристалізаційного відпалювання наклепаної сталі? Як визначити температуру для проведення рекристалізаційного відпалювання?

6. При яких умовах у заевтектоїдній сталі вторинний цементит виділяється у вигляді сітки по границях зерен і як можна ліквідувати цей дефект?

7. Стальний лист після холодної витяжки і рекристалізаційного відпалювання дістав грубокристалічну будову. Як можна виправити цей дефект?

Відповідь: піддати листи: 1) повному відпалюванню; 2) неповному відпалюванню; 3) нормалізації.

Лабораторна робота № 17 **ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ НАГРІВАННЯ І ШВИДКОСТІ ОХОЛОДЖЕННЯ** **ПРИ ГАРТУВАННІ НА ТВЕРДІСТЬ ВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ**

Мета: Навчитися вибирати температуру нагрівання і швидкість охолодження для проведення гартування вуглецевих сталей.

Обладнання, матеріали і інструменти

Зразки із доевтектоїдної сталі, муфельні печі, посудини з водою для гартування, наждачний папір, щипці, твердомір.

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Гартування – зміцнювальний вид термообробки, що широко застосовується в машинобудуванні для підвищення твердості, міцності та стійкості до спрацювання сталевих деталей. Зміна властивості сталі після гартування пов'язана з утворенням метастабільної (нерівноважної) структури.

Для набуття метастабільних структур сталеві деталі нагрівають і витримують при температурі існування аустеніту. А потім охолоджують зі швидкістю, яка дає змогу зафіксувати мартенсит. Результати гартування залежать від температури нагрівання, тривалості витримки, швидкості охолодження тощо.

Практично з метою перетворення перліту на аустеніт сталь потрібно нагріти вище лінії евтектоїдного перетворення (див. рис. 12.1), витримати до утворення однорідного за складом аустеніту й охолодити з критичною швидкістю гартування, що не допускає утворення рівноважної температури. Процес гартування сталі внаслідок перетворення кристалічної решітки супроводжується збільшенням внутрішніх напружень, що можуть бути більшими за границю міцності сталевих деталей, що гартується. Тому після її гартування зразу чи через деякий час можуть з'явитися тріщини. З метою ліквідації руйнівних внутрішніх напружень у деталі проводять відпускання сталі, після чого мартенсит переходить в одну із структур – мартенсит, тростит або сорбіт відпускання.

Для гартування доевтектоїдної сталі її нагрівають до температури вище критичної точки A_{c3} , а евтектоїдну і заевтектоїдну сталі – вище точки A_{c1} на $30...50^{\circ}C$, витримують при цій температурі й охолоджують зі швидкістю, не меншою за критичну. Підвищення твердості загартованої евтектоїдної сталі порівняно з відпаленою значне, приблизно в 3,5 рази. Якщо до гартування відпалена сталь мала твердість HB 180, то після нього її твердість зростає до HB 670.

Гартують, як правило, сталі із підвищеним умістом вуглецю, а сталі, в яких він менший за 0,3%, не гартують, оскільки в них не відбувається суттєвого підвищення твердості та міцності.

Загартована доевтектоїдна сталь, як правило, має структуру дрібногolkового мартенситу з незначною кількістю залишкового аустеніту, евтектоїдна сталь – структуру мартенситу з залишковим аустенітом, а заевтектоїдна – структуру мартенситу із вторинним цементитом і залишковим аустенітом.

Залежно від режиму термообробки розрізняють повне та неповне гартування сталі. Для повного гартування сталь нагрівають до температури на $30...50^{\circ}\text{C}$ вище критичної точки A_{c3} (A_{cm}), а для неповного – вище точки A_{c1} , але нижче точки A_{c3} (A_{cm}). Температура гартування визначається залежно від умісту вуглецю відповідно до ліній діаграми залізо-цементит (рис. 12.1). Для доєвтектоїдної сталі застосовують тільки повне гартування, а для заєвтектоїдної – неповне, коли в її структурі залишається надлишковий цементит, який не розчинився.

Нагрівання доєвтектоїдної сталі вище A_{c3} на $70...100^{\circ}\text{C}$ шкідливе, оскільки приводить до росту зерна аустеніту і до утворення після швидкого охолодження грубоголчастого мартенситу. Крім того в структурі загартованої сталі збережеться більша кількість залишкового аустеніту. В результаті перегрівання погіршаться механічні властивості (твердість і міцність зменшаться).

Для неповного гартування виробів з доєвтектоїдної сталі їх потрібно нагрівати в інтервалі температур, що відповідають критичним точкам A_{c1} - A_{c3} , унаслідок чого утвориться структура аустеніту з деякою кількістю фериту. Після охолодження вона буде складатися з мартенситу і фериту. Останній має невисоку міцність, він м'який і його присутність в загартованій сталі небажана, тому що ферит зменшує міцність сталі. Отже, неповне гартування доєвтектоїдної сталі недоцільне. У зв'язку з цим, доєвтектоїдні сталі піддають *повному гартуванню*, тобто нагрівають їх до температури вищої A_{c3} на $30...50^{\circ}\text{C}$.

При нагріванні вище A_{c1} на $30...50^{\circ}\text{C}$ євтектоїдна сталь має структуру аустеніту, а заєвтектоїдна – аустеніт + цементит. Після гартування в євтектоїдній сталі утворюється структура мартенситу, а в заєвтектоїдній - аустеніт + цементит. Крім того, в структурі цих сталей буде знаходитися деяка кількість залишкового аустеніту.

Нагрівання заєвтектоїдної сталі вище A_{cm} непотрібне і навіть шкідливе, оскільки сталь після гартування стає більш крихкою і не дає підвищення твердості. Цементит – дуже тверда складова, тому присутність його у загартованій на мартенсит сталі не знижує її твердості, нагрівання ж вище A_{cm} веде до перегрівання сталі (утворення грубоголчастого мартенситу з підвищеною кількістю залишкового аустеніту). У зв'язку з цим всі заєвтектоїдні сталі піддають *неповному гартуванню*, тобто їх нагрівають вище A_{c1} на $30...50^{\circ}\text{C}$.

Час нагрівання для гартування складається із часу прогрівання зразка (деталі) до заданої температури і часу витримки при цій температурі.

Тривалість витримки при температурі гартування визначається часом, необхідним для перетворення вихідної структури в аустеніт і вирівнювання його хімічного складу по всьому об'єму.

Час нагрівання залежить також від конструкції нагрівального пристрою. При нагріванні в електричних повітряних печах швидкість нагрівання складає $0,8...1$ хв. на 1 мм перерізу зразка.

Швидкість нагрівання в соляній ванні в 2 рази вища, ніж в електричній печі, а в розплавленому свинці в 3-4 рази.

Швидкість охолодження сталі при термічній обробці визначається в основному необхідністю отримання певної структури. Вирішальну роль у утворенні мартенситу при гартуванні сталі відіграє швидкість охолодження аустеніту. Як впливає з діаграми ізотермічного розпаду аустеніту, вона має бути більшою за критичну, але не повинна виходити за межі інтервалу температур мінімальної стійкості аустеніту.

В області температур, розташованих вище точки мінімальної стійкості аустеніту, вигідним є охолодження сталі з помірною швидкістю. Для середньовуглецевих сталей область мінімальної стійкості аустеніту лежить між 650 і 500°C . При вищих температурах аустеніт відносно стійкий, і передчасне перетворення його на феритно-перлітну суміш не відбувається. В той же час при плавному охолодженні сталі в області високих температур вирівнюється температура по перерізу і зменшуються температурні напруження. Сталь ще досить пластична, тому ймовірність короблення сталевих виробів та утворення тріщин - мінімальна.

Повільне охолодження сталі бажане також в області, розташованій нижче інтервалу температур мінімальної стійкості аустеніту, тому що там його стійкість знову підвищується. При 300°C і нижче швидке охолодження сталі особливо небезпечне внаслідок того, що вона стає не такою пластичною, ніж при високих температурах. Термічні напруження в сталі додаються до напружень, які виникають при перетворенні аустеніту на мартенсит. Тому при швидкому охолодженні підвищується небезпека утворення тріщин і короблення сталі.

Швидкість охолодження сталевих деталей можна регулювати, застосовуючи різноманітні гартівні середовища: воду, водяні розчини солей, кислот, лугів і полімерів, різні масла, розплавлені солі та метали, емульсії тощо.

Головною вимогою до гартівних середовищ є велика охолодна здатність в інтервалі температур 650...550°C (температурний інтервал мінімальної стійкості аустеніту за С-подібною кривою) і зменшена охолодна здатність при 300°C та нижче (в інтервалі температур мартенситного перетворення).

Гартування найчастіше здійснюють занурюванням нагрітого виробу в охолодне середовище. Охолодження відбувається в три стадії: спочатку плівкове кипіння, потім бульбашкове та контактний теплообмін. Спершу швидкість охолодження виробу незначна, оскільки на першій стадії утворюється плівка пари, що обгортає всю поверхню виробу й уповільнює теплообмін. Далі настає друга стадія охолодження, яка характеризується руйнуванням парової плівки. Внаслідок цього відбувається зіткнення всієї поверхні виробу з рідиною. Збільшуються теплообмін і швидкість охолодження. А далі виріб охолоджується до температури, за якої не відбувається кипіння рідини та пароутворення. Тому процес охолодження виробу проходить із невеликою швидкістю, в основному відведенням теплоти рідиною, тобто охолодження переходить у третю стадію — конвективний теплообмін.

На швидкість гартування сталі впливають природа охолодної рідини та її температура. Гартівне середовище підбирають, виходячи з критичної швидкості гартування сталі. Залежно від інтенсивності її охолодження внаслідок гартування можна здобути структуру мартенситу, трооститу чи сорбіту. Орієнтуючись на кінцеву структуру, для охолодження сталі підбирають відповідне охолодне середовище. Воно повинно бути нетоксичним, дешевим, вибухово- і пожежобезпечним і мати інші властивості, що забезпечують нормальну роботу цеху.

Поширеними охолодниками вважаються вода й масло. Останнє застосовується при гартуванні вуглецевих сталей, якщо потрібні малі швидкості охолодження. Найпоширенішим і дешевим охолодником, що має дуже велику охолодну здатність при завантаженні в нього деталей, є звичайна холодна вода.

Охолодним середовищем, крім рідини, можуть бути повітря, гази та металеві плити. Під час охолодження нагрітих деталей струменем повітря чи газу його спрямовують на поверхню деталі або навіть залишають деталі в приміщенні цеху, де вони охолоджуються досить повільно. Охолоджувати нагріті деталі можна також, затиснувши їх між холодними металевими плитами. Порівняльну характеристику охолодної здатності різних середовищ наведено в табл. 17.1.

Велику охолодну здатність має вода та водяні розчини лугів і солей з температурою 18°C. Їх найчастіше застосовують для гартування сталі з малою стійкістю аустеніту.

Висока охолодна здатність води та деяких водяних розчинів пов'язана з великою теплоємністю й, особливо, з високим значенням теплоти пароутворення води. З підвищенням температури її охолодна здатність різко спадає і при 50°C стає меншою від охолодної здатності масла. Кипляча вода взагалі не забезпечує гартування, оскільки виріб, занурений в таку воду, покривається шаром мало-теплопровідної пари, який утруднює охолодження сталі. Поява парової оболонки або прилипання пухирів пари до поверхні охолоджуваного виробу може відбутись також при його охолодженні в холодній воді, що може призвести до «плямистого» гартування. Тому виріб у гартівній ванні потрібно енергійно рухати, а вода в ній має бути проточною. Різко підвищують охолодну здатність води розчинені в ній солі, луги тощо (див. табл. 17.1).

Таблиця 17.1. Швидкість охолодження сталі в різних гартівних середовищах

Гартівне середовище	Швидкість охолодження (°C/с), в інтервалі температур °C	
	650...550	300...200
Дистильована вода	250	200
Вода при температурі, °C:		
18	600	270
28	500	270
45	100	270
74	30	200
10%-й водяний розчин при 18 °C:		
NaOH	1200	300
NaCl	1100	300
Na ₂ CO ₃	800	270
H ₂ SO ₄	750	300
5%-й водяний розчин KMnO ₄	450	100
Гліцерин	135	175
Емульсія масла у воді	70	200
Мильна вода	30	200
Масло:		
мінеральне машинне	150	30
трансформаторне	120	25
Сплав 75 % Sn і 25 % Cd при 175 °C	450	50
Плити:		
мідні	60	30
сталеві	35	15
Повітря:		
спокійне	3	1
підтиском	30	10

Найкращі охолодні властивості має підігріте масло. Тому, як правило, гартування сталі ведуть у нагрітому маслі (до 70...80°C), а щоб уникнути «пістрявості» гартування, здійснюють циркуляцію масла і жорсткий контроль його температури. Масляне охолодне середовище створює рівномірні умови охолодження сталі в усьому інтервалі температур охолодження. Застосування циркуляції масляного охолодного середовища, як і водяного, підвищує швидкість охолодження сталі, причому охолодження її в маслі сприяє утворенню одноріднішої структури в загартованих деталях. Тому масло, як охолодник, не можна замінити ні нагрітою водою, ні водяними емульсіями.

До недоліків, які має мінеральне масло, можна віднести повільне охолодження сталі у перлітному інтервалі температур та зниження гартівної здатності внаслідок його загусання у процесі нагрівання, спалахування і пригоряння до поверхні виробів. До того ж масло – дорогий охолодник. Через це ведуться пошуки дешевших та задовільних за швидкістю охолодження синтетичних охолодних середовищ.

Як охолодне середовище застосовують також водяні розчини полімерів, які за своїми охолодними властивостями займають проміжне місце між водою і маслом. Швидкість охолодження деталей в розчинах полімерних середовищ порівняно з водою більш уповільнена, оскільки полімерний охолодник має високу в'язкість і під час гартування на поверхні виробів утворює рівну плівку полімеру, що погіршує теплообмін. Характерною особливістю охолодників у вигляді розчинів пластмас є їхня властивість захищати поверхні від окиснення, а виробів – від появи тріщин. Як присадки до гартівного середовища використовують поліетиленгліколь, полівініловий спирт, метилцелюлозу, ефір, гліцерин тощо.

Суміші води та масла й інші емульсії мають дуже низьку гартівну здатність порівняно з водою, а розплавлені легкоплавкі суміші солей чи металів – ще слабкішу. До слабких охолодників належать також мідні та сталеві плити, повітря під тиском і спокійне.

Як охолодник останнім часом заслуговує на увагу киплячий шар – охолодження виробів у середовищі дрібних твердих частинок (наприклад, піску), які підтримують у завислому стані продуванням повітря або інших газів. Швидкість охолодження в киплячому

шарі посідає проміжне місце між швидкістю охолодження в маслі та на повітрі. Вона залежить від тиску і температури повітря (газу). Гартування сталі в киплячому шарі забезпечує рівномірність її охолодження, відсутність парової сорочки і корозії поверхні. Такі поширені охолодники, як гліцерин, масло, розплавлені солі, формують у сталевих виробках, що гартуються, структуру мартенситу або бейніту. Для гартування деталей на мартенсит застосовують такі охолодники: воду з температурою 18°C; 10%-ні водяні розчини NaOH, HCl, H₂SO₄. При гартуванні сталі на троостит як охолодники використовують: воду з температурою 50°C, емульсію масла у воді, мінеральне машинне масло, трансформаторне масло, мідні плити. Для гартування сталевих деталей на сорбіт застосовують воду з температурою 74°C, мильну воду, сталеві плити.

Залежно від виду виробів та охолодного обладнання треба застосовувати відповідні способи занурення їх в охолодник. Неприпустимо, наприклад, класти виріб, що охолоджується, на дно ванни. Під час занурювання виробів можна керуватися такими положеннями: довгі та вузькі вироби (свердла, розвертки, протяжки, напилки) слід занурювати строго вертикально, тонкі й плоскі (дискові фрези, пилки, пластини тощо) – вузьким боком, порожнисті (циліндричні фрези, штампи тощо) – порожниною доверху. Громіздкі вироби треба охолоджувати проточною рідиною. Для місцевого гартування нагрівають відповідне місце виробу й охолоджують його струминою рідини або ж виріб уміщують у ванну нагрітою частиною, що гартується.

ПРОГРАМА ПІДГОТОВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Вивчити теоретичний матеріал за даним посібником та приведеними нижче літературними джерелами.
2. Описати механізм та особливості мартенситного і бейнітного перетворень.
3. Описати способи гартування сталі.
4. Зарисувати сталевий кут діаграми стану залізо-цементит і вказати на ній інтервал температур нагрівання для гартування до- і заєвтектоїдних сталей.

ЗАВДАННЯ Й МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

Завдання 1. Вивчити вплив температури нагрівання при гартуванні на твердість вуглецевої сталі.

1. Одержати у викладача зразки виготовлені із доєвтектоїдної сталі (сталь 40 або 50) у вигляді шайб діаметром 15...20 мм і висотою 12...15 мм та вивчити у нього марку сталі.
2. Визначити за допомогою твердоміра твердість зразків у вихідному стані.
3. Досліджувані зразки завантажити у печі нагріті до температур 650, 750, 800, 850 і 900°C.
4. Після необхідної витримки зразки охолодити у воді.
5. Загартовані зразки зачистити на наждачному папері з двох сторін до усунення окалини, після чого за допомогою твердоміра визначити їхню твердість.
6. Одержані результати записати в табл. 17.1.
7. Використовуючи діаграму стану залізо-цементит, навчальну і довідникову літературу визначити структуру досліджуваних зразків у вихідному стані і після гартування від різних температур. Дані записати в табл. 17.1.

Таблиця 17.1.

Марка сталі	Твердість у вихідному стані, HB (HRC)	Температура нагрівання для гартування, °C	Твердість після гартування, HB (HRC)	Мікроструктура
		650		
		750		
		800		
		850		
		900		

9. Побудувати графік залежності твердості досліджуваної сталі від температури нагрівання для гартування.

Завдання 2. Вивчити вплив швидкості охолодження при гартуванні на властивості вуглецевої сталі.

1. Одержати у викладача п'ять зразків відпаленої сталі 45 і визначити їхню твердість. Дані записати в табл. 17.3.

2. Вибрати за допомогою діаграми стану залізо-цементит оптимальну температуру нагрівання для гартування сталі 45.

3. Визначити час витримки при температурі нагрівання, залежно від розмірів зразків.

4. Провести гартування першого зразка у воді, що має температуру 18°C, другого – у воді, що має температуру 70°C, третього – у 10% розчині NaCl, четвертого – в мінеральному маслі, п'ятого – на спокійному повітрі.

5. Зачистити поверхню загартованих зразків від окалини і поверхневого знеуглецьованого шару на шліфувальному верстаті. При зачистці для запобігання перегрівання зразки охолоджувати водою.

6. Виміряти твердість загартованих зразків і результати записати в табл. 17.3.

7. Провести аналіз одержаних результатів і висновок записати в зошит.

Таблиця 17.3

Марка сталі	Твердість у вихідному стані, HRC	Температура гартування, °C	Охолоджуюче середовище	Твердість після гартування, HRC	Мікроструктура
			Вода (18°C)		
			Вода (75°C)		
			Мінеральне масло		
			10% розчин NaCl		
			Спокійне повітря		

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Охарактеризувати механізм і особливості мартенситного перетворення. Які особливості вигляду мікроструктури мартенситу під металографічним мікроскопом?

2. Охарактеризувати механізм бейнітного перетворення. Чим відрізняється структура нижнього бейніту від верхнього?

3. Який вид термічної обробки називається гартуванням? З якою метою використовують гартування сталей? Від чого залежать температура нагрівання, час нагрівання і тривалість витримки при гартуванні сталевих виробів? Охарактеризуйте середовища, що використовують для охолодження при гартуванні?

4. Які ви знаєте способи гартування сталей? їх призначення, суть, технологія проведення? Які дефекти і чому можуть виникнути при гартуванні сталей?

5. Які ви знаєте практичні прийоми гартування деталей (з ввігнутою поверхнею, видовженої форми, зі змінним перерізом, плоских тощо).

6. Чим пояснюється, що твердість заевтектоїдної сталі після повного гартування зі збільшенням вмісту вуглецю в сталі зменшується?

7. Чим можна пояснити доцільність повного гартування доевтектоїдних сталей і неповного гартування заевтектоїдних сталей?

8. Мітчики із сталі У12 загартовані: перший від температури 760 С, другий - від температури 850°C. Використовуючи діаграму стану залізо - цементит, поясніть, який із цих мітчиків загартований правильно, має кращі ріжучі властивості і чому?

9. Чим пояснюється менша можливість утворення гартувальних тріщин при застосуванні масла як охолодника?

Лабораторна робота № 18 ВИЗНАЧЕННЯ ПРОГАРТОВУВАНОСТІ СТАЛІ МЕТОДОМ ТОРЦЕВОГО ГАРТУВАННЯ

Мета: Навчитися визначати прогартуваність сталі дослідним шляхом.

Обладнання, матеріали та інструменти

Муфельна піч, потенціометр, термopара, твердомір Роквелла, зразки для торцевого гартування, сталевий циліндричний стакан з графітовою або вугільною підставкою і кришкою, пристрій для торцевого гартування, пристосування для вимірювання твердості.

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Загартуваність і *прогартуваність* – найважливіші характеристики сталей. Це пов'язано з тим, що більшість деталей машин вимагають поєднання високих значень в'язкості і міцності. Для цього їх піддають комплексній термічній обробці – поліпшенню, тобто гартуванню на мартенсит і високому відпусканню на сорбіт. Вибір поліпшення як виду термообробки виправдовується тим, що найбільш важлива характеристика, що визначає якість деталі, – ударна в'язкість, завжди одержується максимальною при високому відпуску мартенситу. Тому важливо при гартуванні отримати мартенсит по всьому перерізу виробу.

Мартенсит утворюється тільки в тих частинах деталі, що охолоджуються із швидкістю, рівною або більшою за критичну. Там, де швидкість охолодження менша за критичну, перетворення аустеніту відбувається з утворенням структур проміжного перетворення (голчастого трооститу – бейніту) або ферито-цементитних структур різного ступеня дисперсності (трооститу, сорбіту, перліту).

Здатність сталі загартуватися на більшу або меншу глибину називається *прогартуваністю*. Прогартуваність – одна з найважливіших характеристик. Під прогартуваністю розуміють глибину проникнення загартованої зони. Прогартуваність слід відрізняти від загартуваності. *Загартуваність* – здатність сталі набувати в результаті гартування високу твердість. Загартуваність визначається твердістю поверхні загартованої деталі і залежить головним чином від концентрації вуглецю в сталі.

Таблиця 18.1. Твердість напівмартенситної зони в залежності від концентрації вуглецю в сталі

Концентрація вуглецю, %	Твердість сталі HRC	
	вуглецевої	легованої
0,08 - 0,17	–	25
0,18 - 0,22	25	30
0,23 - 0,27	30	35
0,28 - 0,32	35	40
0,33 - 0,42	40	45
0,43 - 0,52	45	50
0,53 - 0,62	50	55

Експериментально встановлено, що різке падіння твердості відбувається тоді, коли в структурі загартованої сталі поряд з мартенситом кількість трооститу досягає 40...60%. Тому за глибину проникнення загартованої зони, що характеризує прогартуваність, береться відстань від поверхні виробу до шару з напівмартенситною структурою, тобто із структурою, що складається із 50% мартенситу і 50% трооститу. Зазначена відстань називається *характеристичною відстанню*, а твердість напівмартенситного шару – *критичною твердістю*. Критична твердість залежить від концентрації вуглецю в сталі (табл. 18.1).

Швидкість охолодження сталі залежить в основному від охолоджуючої здатності гартувального середовища, розмірів і форми деталей. Критична швидкість гартування в свою чергу визначається концентрацією вуглецю і легувальних елементів у сталі, температурою і часом аустенізації, тобто розміром зерна аустеніту і його однорідністю.

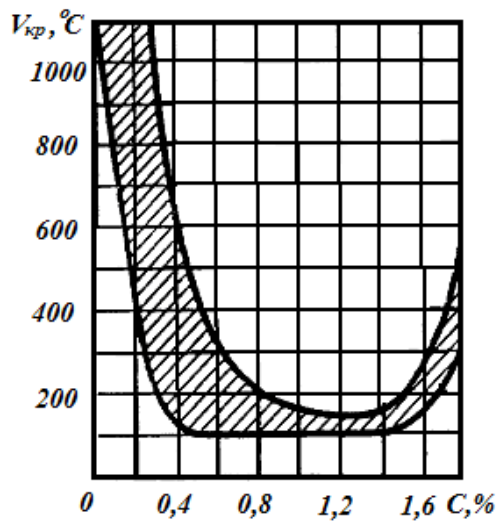


Рис. 18.1. критична швидкість гартування вуглецевих сталей в залежності від концентрації вуглецю (за Е. Гудремоном)

Чим більша швидкість охолодження і нижча критична швидкість гартування даної сталі, тим на більшу глибину прогартується виріб. Оскільки прогартовуваність залежить від критичної швидкості гартування, то очевидно, що на глибину прогартовуваності суттєвий вплив здійснюють такі фактори:

- а) хімічний склад сталі (вуглець і легувальні елементи);
- б) величина зерна аустеніту і його однорідність;
- в) розмір і форма загартованого виробу;
- г) охолоджуюча здатність гартувального середовища.

Залежність критичної швидкості гартування ($V_{кр}$) від концентрації вуглецю в сталі показана на рис. 18.1. Як видно, з підвищенням концентрації вуглецю в доевтектоїдних сталях критична швидкість зменшується, отже, прогартовуваність зростає. В заевтектоїдних сталях підвищення концентрації

вуглецю призводить до зменшення глибини загартованого шару, що пояснюється так. Заевтектоїдні сталі нагрівають для гартування до температур, що відповідають аустенітно-цементитній області діаграми стану залізо-цементит, тобто вище температури лінії **PSK** на 30...50°C (рис. 12.1). Із ростом концентрації вуглецю в сталі збільшується кількість цементиту в аустенітній основі. Частинки цементиту при охолодженні, виконують роль центрів кристалізації, знижуючи стійкість переохолодженого аустеніту.

Аналогічним чином зменшується прогартовуваність при наявності всередині зерен аустеніту і по їх границях карбідів таких елементів, як титан, молібден, ванадій, вольфрам. Для повного або часткового усунення частинок карбідів можна підвищити температуру гартування і час витримки сталі. Наприклад, вуглецеву заевтектоїдну сталь нагрівають не до нормальних температур гартування (вище A_{c1}), а в аустенітну область (вище лінії **SE**); леговані конструкційні – вище 820...900°C. За рахунок розчинення карбідів аустеніт збагачується вуглецем і легувальними елементами. При цьому він стає більш однорідним. Все це збільшує стійкість переохолодженого аустеніту. Одночасно при високих температурах росте зерно аустеніту, що приводить до зменшення протяжності міжзеренних границь, які є місцями, де переважно розпочинається перетворення.

Однак збільшувати прогартовуваність таким шляхом не рекомендується, оскільки при гартуванні з високої температури виникає небезпека виникнення гартувальних тріщин і погіршуються деякі властивості сталі.

Всі легувальні елементи, крім кобальту, розчиняючись в аустеніті, збільшують його стійкість при переохолодженні; отже, сприяють підвищенню прогартовуваності.

Значно підвищують прогартовуваність хром, нікель, марганець. Введення в сталь одночасно декількох легувальних елементів (хром і нікель; хром, нікель і молібден тощо) приводить до ще більшого зниження критичної швидкості гартування і різкого підвищення прогартовуваності конструкційної сталі. Найбільш ефективні в цьому відношенні невеликі добавки бору (0,002...0,003% до ваги сталі), що вводяться в добре розкислену сталь.

Правильний підбір легувальних добавок дозволяє досягнути в масивних перерізах деталей наскрізну прогартовуваність. Вироби з легованих сталей можна загартувати в маслі, а не у воді. При гартуванні в маслі зменшуються внутрішні гартувальні напруження,

що приводять до спотворення деталей, і зменшується імовірність утворення гартувальних тріщин.

Існує декілька методів визначення прогартуваності. Але основним з них є метод торцевого гартування.

Цей метод застосовується для масового контролю всіх вуглецевих і легованих сталей мартенситного класу (тобто таких, що загартовуються навіть при охолодженні на повітрі). Суть його полягає в тому, що із досліджуваної сталі виготовляють стандартний зразок (рис. 18.2) діаметром 25 мм і висотою 100 мм, на одному кінці якого є головка для опори в пристрої при гартуванні.

Поверхня зразка (особливо торець, охолоджуваний водою) повинна чисто оброблятися ріжучим інструментом. Умови нагрівання, охолодження і вихідна структура зразка передбачаються ГОСТ 5657-51. При нагріванні зразка не допускається зневуглецювання або окислення охолоджуваного торця. Зразок перед випробуванням повинен бути нормалізований. Температура нагрівання зразків із вуглецевих сталей вибирається за діаграмою Fe-Fe₃C у залежності від концентрації вуглецю в ній, а для зразків із легованих сталей – за спеціальною таблицею вказаного ГОСТу. Витримка при вибраній температурі – 30 хвилин. Атмосфера в печі повинна бути нейтральною, в протилежному випадку зразок розміщують у сталевому циліндричному стакані, ставлять торцем на графітну або вугільну підставку і закривають кришкою (рис. 18.3).

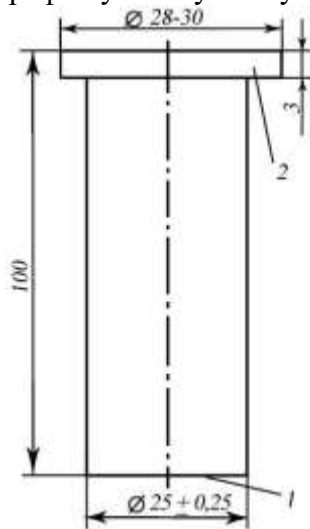


Рис. 18.2. Стандартний зразок для дослідження на прогартуваність:
1 – охолоджуваний торець; 2 – головка

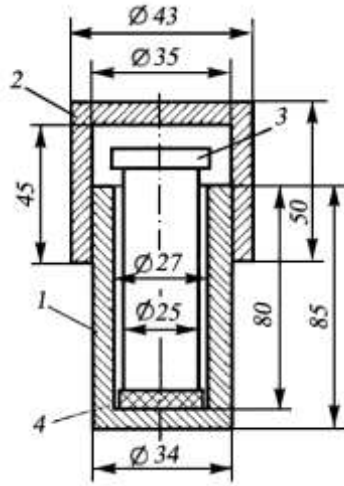


Рис. 18.3. Стальний стакан для попередження окислення зразка і його зневуглецювання при нагріванні в печі без контролюючої атмосфери:
1 – стакан; 2 – кришка;
3 – зразок; 4 – графітова підставка

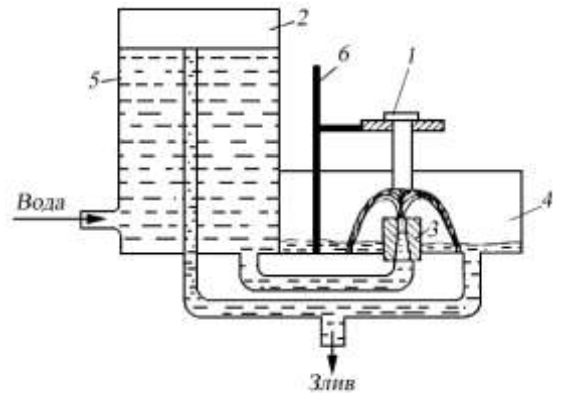


Рис. 18.4. Схеми установки для торцевого гартування:
1 – зрівнювальна трубка для створення постійного напору;
2 – напірний бачок; 3 – ітатив;
4 – зразок; 5 – сопло;
6 – зливна коробка

Торцеве гартування проводиться на спеціальному пристрої (рис. 18.4), що повинен бути розміщений недалеко від печі, щоб можна було швидко перенести зразок із печі в пристрій. Перед випробуванням на холодному зразку регулюють точність попадання струмини води в торець і вільну висоту стовпа води, яка повинна бути 65 мм. Діаметр сопла (наконечника від підвідної труби) рівний 12,5 мм, а відстань від сопла до торця зразка також 12,5 мм. Після регулювання, перед розміщенням нагрітого зразка в пристрої, останній необхідно просушити. Нагрітий до температури гартування зразок швидко встановлюється в пристрої і відкривається кран. Струмина води повинна омивати тільки робочий торець. Температура води 10...25°C. Зразок витримують над струминою води до повного охолодження (не менше 10 хв.).

Швидкість охолодження торця найбільша і відповідає швидкості охолодження поверхні виробів у воді. В міру віддалення від торця швидкість охолодження поступово

зменшується. Верхні частини зразка охолоджуються зі швидкістю, що відповідає швидкості охолодження поверхні виробів на повітрі. Таким чином, в одному зразку можна знайти певні перерізи, які охолоджуються з будь-якою швидкістю, що цікавить дослідника.

Після гартування на зразку з двох протилежних сторін по твірній циліндра шліфуються площини шириною 5...10 мм. При шліфуванні необхідно стежити, щоб зразок не нагрівався. На відшліфованих поверхнях вимірюється твердість за Роквеллом (шкала С) через кожні 1,5 мм від загартованого торця (16 замірів), а потім через 3 мм закінчують випробування, коли на певній відстані від торця твердість не змінюється. Після вимірювання твердості зразка на одній площині його повертають і вимірюють твердість на другій площині. Потім для кожної пари точок, що знаходяться на однаковій відстані від торця, вираховують середнє арифметичне значення твердості і записують в табл. 18.2.

Таблиця 18.2. Результати вимірювання твердості вздовж зразка

№ вимірювання	Відстань від загартованого торця	Твердість HRC		
		1-а площина	2-а площина	Середнє значення

Для графічного зображення одержані експериментальні дані наносять на сітку координат, де на осі ординат відкладають твердість HRC, а на осі абсцис – відстань від загартованого торця в мм. Нанесені точки з'єднують і отримують криву прогартуваності (рис. 18.5).

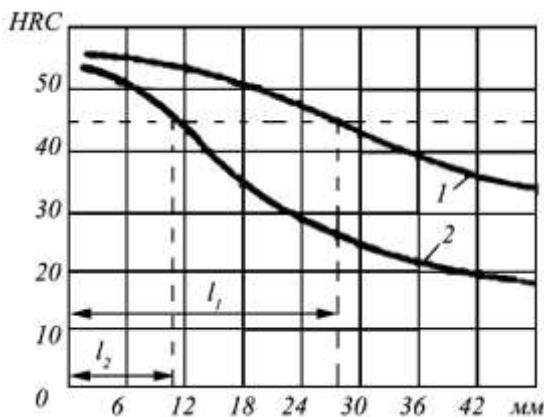


Рис. 18.5. Розподіл твердості за довжиною зразка після торцевого гартування для сталей з різною прогартуваністю

Відстань від торця до напівмартенситної зони називається характеристичною відстанню і визначає прогартуваність сталі (l_1 і l_2 на рис. 18.5). Чим більша характеристична відстань, тим краща прогартуваність. Із аналізу рис. 18.5 видно, що сталь 1 має кращу прогартуваність, ніж сталь 2, оскільки $l_1 > l_2$.

За характеристичною відстанню і за допомогою раніше побудованих номограм можна визначити критичні діаметри для деталей різної форми і розмірів, охолоджуваних при гартуванні зануренням в різні рідини. Одна із таких номограм, що розроблена М.Є. Блантером, приведена (в спрощеному вигляді) на рис. 18.6.

Для визначення критичного діаметра за цією номограмою користуються шкалою розміщеною у верхній частині номограми, яка характеризує відстань від загартованого торця до напівмартенситної зони в мм. На цій шкалі потрібно знайти характеристичну відстань, визначену дослідним шляхом. Від знайденого значення опускається перпендикуляр до перетину з прямою «Ідеальне охолодження». Від точки перетину проводиться горизонталь вліво до лінії, що відповідає охолоджуючому середовищу (вода, мінеральне масло, повітря). Одержана точка «а» (див. рис. 17.6, на прямій «Вода 20°C», «в» – «Мінеральне масло», «с» – «Повітря») проєктується на горизонтальну вісь, розміщену в нижній частині номограми. Вісь має три шкали, за якими знаходиться розмір перерізу $D_{кр}$ різної форми, що прогартується наскрізь при охолодженні у вказаних середовищах.

За приведеною номограмою можна визначити швидкість охолодження серцевини виробу шляхом продовження горизонталі від прямої «Ідеальне охолодження» до лівої вертикальної осі «Швидкість охолодження».

Нарешті, за номограмою визначається так званий «Ідеальний критичний діаметр» D . Це максимальний розмір перерізу виробу, який прогартується наскрізь в ідеальному охолоджувачі, де охолодження з поверхні відбувається із безмежно великою швидкістю.

Поняття „Ідеальний критичний діаметр” вводиться для характеристики прогартовуваності сталі незалежно від способу охолодження і геометрії виробу.

ПРОГРАМА ПІДГОТОВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Вивчити теоретичний матеріал за даним посібником та приведеними нижче літературними джерелами.
2. Описати як визначається прогартовуваність сталі методом торцевого гартування.
3. Зарисувати форму стандартного зразка і схему пристрою для торцевого гартування.

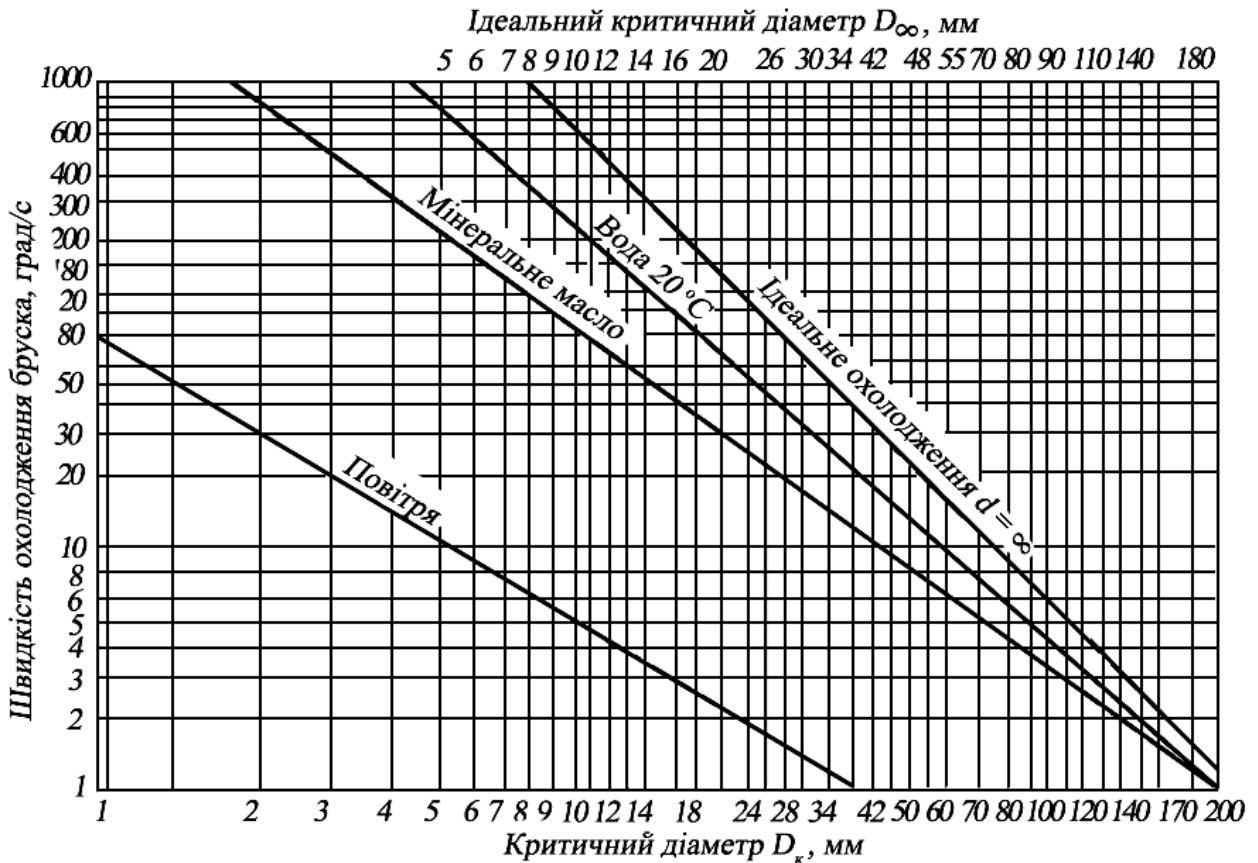


Рис. 18.6. Номограма для визначення прогартовуваності (за М.Є. Блантером)

ЗАВДАННЯ Й МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

1. Одержати у викладача зразки для дослідження.
2. Вибрати температуру нагрівання зразків в залежності від марки сталі.
3. Провести випробування на прогартовуваність зразків, виготовлених із вуглецевої і легованої сталей, що містять однакову кількість вуглецю. Перед випробуванням необхідно відрегулювати пристрій на висоту стовпа води і точність попадання струмини води в охолоджуваній торець. Потім пристрій просушити.
4. Виміряти твердість за Роквеллом на торці і на відшліфованих поверхнях через кожні 1,5 мм від торця.
5. Побудувати діаграму прогартовуваності досліджуваних сталей в координатах твердість – відстань від торця.
6. Використовуючи номограму М.Є. Блантера, визначити значення ідеального критичного діаметра; швидкість охолодження серцевини виробів; розміри деталей, що прогартовуються наскрізь в залежності від їх геометрії і охолоджуючого середовища.
7. Встановити вплив легування на прогартовуваність досліджуваної вуглецевої сталі.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що називається загартовуваністю і прогартовуваністю сталі?
2. У чому суть визначення прогартовуваності сталі методом торцевого гартування?
3. Від чого залежить загартовуваність сталі?
4. Охарактеризуйте фактори, що впливають на глибину прогартовуваності. Від чого залежить прогартовуваність вуглецевих сталей? Чому леговані сталі мають кращу прогартовуваність ніж вуглецеві?
5. Поясніть, чи можна з метою збільшення прогартовуваності рекомендувати високі температури нагрівання для гартування? Чому?

Лабораторна робота № 19 ВІДПУСКАННЯ І СТАРІННЯ ВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ

- Мета:**
1. Ознайомитися з процесами, що відбуваються при відпусканні і старінні загартованої вуглецевої сталі.
 2. Експериментально дослідити вплив температури відпускання на твердість вуглецевої сталі.
 3. Навчитися самостійно аналізувати структуру і властивості загартованої сталі після відпускання

Обладнання, матеріали і інструменти

Загартовані зразки вуглецевої сталі, твердомір, муфельні печі, наждачний папір, щипці.

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Відпускання сталі належить до завершальних операцій її термообробки і здійснюється після гартування сталі. Отриманий при гартуванні мартенсит, тобто значно пересичена вуглецем α -фаза, дуже нестійка і розпадається (перетворюється) уже при кімнатній температурі. Нестійкий і залишковий аустеніт, не дивлячись на те, що його перетворення іде тільки при нагріванні вище 150°C . При нагріванні збільшується рухливість атомів (що сприяє процесу утворення більш рівноважної структури у загартованій сталі), в результаті чого мартенсит і залишковий аустеніт перетворюються на ферит та цементит, і вільна енергія у всьому об'ємі сталі зменшується. Крім того, кристалики карбїду Fe_3C , дуже дрібні при низьких температурах перетворення, при підвищенні температури і з бігом часу збільшуються, що призводить до зменшення вільної енергії системи.

Процес нагрівання загартованої, при якому розпадаються (перетворюються) мартенсит і залишковий аустеніт та збільшується розмір карбїдів, називається *відпусканням*⁷. Температури відпускання лежать нижче критичної точки A_{C1} (727°C).

Зміна структур, що відбувається при відпусканні деталей з вуглецевих сталей, визначається температурою та тривалістю відпускання, а також концентрацією вуглецю в сталі. Чим більший вміст вуглецю в аустеніті, тим вища перенасиченість α -розчину та нижча температура мартенситного перетворення при гартуванні сталі, тим більша кількість залишкового аустеніту в ній.

Відпускання вуглецевих сталей супроводжується структурними змінами передусім у кристалах мартенситу. Першою причиною таких змін є утворення в мартенситі ділянок із неоднорідною концентрацією (сегрегацій) вуглецю.

⁷ У загальному випадку відпусканням називають нагрівання пересиченого твердого розчину, що переводить систему в більш стабільний стан.

Експериментально встановлено, що дефекти кристалічних решіток є енергетично сприятливими для розміщення атомів вуглецю, тому вони притягуються до дислокацій і дислокаційних стінок. Внаслідок того, що в нормальних решітках мартенситу позиції атомів вуглецю енергетично менш стійкі, ніж дефектні, в місцях структурних дефектів навіть при кімнатній температурі відразу після гартування сталі й у процесі її охолодження від температури початку мартенситного перетворення до кімнатної утворюються сегрегації вуглецю. При температурах відпускання до 100...150°C у мартенситі сталей з умістом вуглецю більш як 0,7% утворюються *кластери* (плоскі скупчення атомів вуглецю одноатомної товщини). Скупчення атомів вуглецю зумовлює зміщення атомів заліза, що призводить до спотворення решітки мартенситу.

Наступною структурною зміною під час відпускання сталі можна вважати виділення проміжних карбідів з мартенситу. Експериментально виявлено при температурі приблизно 100°C метастабільну структуру ϵ -карбіду з імовірно такою формулою $Fe_{2,4}C$. Цей карбід має гексагональну кристалічну решітку на відміну від складної ромбічної решітки цементиту. ϵ -карбід не виділяється в сталях з концентрацією вуглецю, меншою від 0,2 %, тому що під час відпускання більшість атомів вуглецю зв'язані з дислокаціями. Збільшення температури та тривалості відпускання сприяє підвищенню стійкості ϵ -карбіду. Утворення метастабільного ϵ -карбіду замість стабільного цементиту Fe_3C пояснюється наявністю поверхневої енергії, що створює потрібні умови для появи ϵ -карбіду, а не цементиту.

При температурі вище 250 °C і в інтервалі температур 300...400°C дуже активно відбувається утворення більш стабільної структури – цементиту Fe_3C . Вона близька до структури цементиту сталі після відпалювання. Такий процес пояснюється наявністю при високих температурах об'ємної та поверхневої вільної енергії, що сприяє утворенню і росту зерен цементиту Fe_3C , а не проміжного карбіду. Цементит утворюється безпосередньо з перенасиченого α -розчину розчиненням менш стабільного, що утворився раніше, проміжного карбіду та завдяки перебудові решітки проміжного карбіду в решітку Fe_3C .

До завершальних процесів карбідоутворення під час відпускання сталі належать процеси, не пов'язані з фазовими перетвореннями: коагуляція і сфероїдизація цементиту. Його частинки набувають круглої форми і збільшуються в розмірах.

Відпускання високовуглецевих сталей супроводжується розпадом (перетворенням) залишкового аустеніту. Останній при гартуванні цих сталей утворюється у великій кількості. Його розпад найінтенсивніше спостерігається в інтервалі температур 200...300 °C. Під час відпускання сталі залишковий аустеніт перетворюється на нижній бейніт.

Під час відпускання сталі відбувається також зміна стану матричної фази, що спостерігається у всьому температурному інтервалі та характеризується зменшенням умісту вуглецю в α -розчині при виділенні карбідної фази.

За даними досліджень Г. В. Курдюмова, розпад мартенситу відбувається при температурі нижче 150°C (двофазний розпад) і при температурі 150...300°C, коли настає збіднення вуглецем α -розчину при одночасному зростанні карбідних частинок.

На першій стадії розпаду мартенситу рухливість атомів вуглецю досить мала, але достатня для утворення карбідних пластин із мартенситного оточення. Через недостатню рухливість атомів вуглецю не забезпечується дифузійний ріст частинок карбіду з неохоплених розпадом ділянок мартенситу з високим умістом вуглецю. Внаслідок цього утворюється мартенсит з різним умістом вуглецю, тобто в структурі одночасно існує два твердих α -розчини з різним умістом вуглецю. Тому такий розпад називається *двофазним*. Розвиток процесу розпаду в цьому випадку відбувається не завдяки росту карбідних частинок із розчину, а внаслідок утворення нових частинок карбіду з мартенситу з вихідним умістом вуглецю.

Підвищення температури до рівня 150...300°C сприяє прискоренню дифузії вуглецю. Така температура достатня, щоб забезпечити дифузійний ріст карбідних частинок одночасно з двофазним розпадом α -розчину. При температурі близько 300°C α -розчин швидко збіднюється, в ньому залишається близько 0,1 % вуглецю, і процес розпаду швидко згасає.

Подальше нагрівання сталі призводить до стану, коли різницю між решітками матричного α -розчину й α -заліза виявити неможливо.

Важливими процесами, що відбуваються в α -фазі під час відпускання сталі, є також повернення та рекристалізація. Вони проходять при різних температурах і стримуються частинками карбідних виділень. Указати початкову температуру повернення неможливо, але при температурі близько 400°C в ϵ -фазі зменшується густина дислокацій, яка була дуже великою в мартенситі до відпускання сталі, поступово зникають межі між пластинчастими кристалами фериту, зерна якого збільшуються і набувають круглої форми. В α -фазі поступово знімається фазовий наклеп, що виник при мартенситному перетворенні. Слід зазначити, що описані процеси проходять майже одночасно, а температурні межі, за яких відбуваються структурні зміни, досить умовні.

При відпусканні сталі прийнято виділяти чотири інтервали температур, коли спостерігаються основні перетворення в структурі сталі. Цей поділ базується на об'ємних дефектах, виявлених Ганеманном і Трегером. Серед всіх структурних складових сталі, одержаних при гартуванні і відпусканні, мартенсит має найбільший об'ємний ефект, а аустеніт - найменший⁸. Тому перетворення мартенситу на ферит і цементит викликає стиснення сталі, а розпад аустеніту – її розширення. Це дозволяє робити висновки про те, розпад якого із цих розчинів переважає при тій або іншій температурі відпускання.

Перше перетворення проходить в інтервалі температур $100\text{...}200^{\circ}\text{C}$. Воно полягає у виділенні частини вуглецю у вигляді метастабільного ϵ -карбіду. Дуже дисперсні його кристали когерентно зв'язані з решітками мартенситу. Збіднення мартенситу вуглецем відбувається нерівномірно, поряд із збідненими вуглецем його ділянками (поблизу карбідів) зберігаються ділянки мартенситу з вихідним умістом вуглецю. Перше перетворення з дуже малою швидкістю проходить без нагрівання сталі. Зниження кількості розчиненого вуглецю зумовлює зменшення тетрагональності решітки мартенситу. Зовні це проявляється в скороченні довжини зразків сталі. Вміст вуглецю в мартенситі після перетворення залежить від вихідної його кількості в сталі перед гартуванням, тоді як при нагріванні сталі до більш високих температур він визначається лише температурою.

Друге перетворення проходить в інтервалі температур $200\text{...}300^{\circ}\text{C}$ і поширюється на весь об'єм мартенситу. Розпад залишкового аустеніту відбувається за механізмом бейнітної реакції: утворюється суміш кристалів низьковуглецевого мартенситу та дисперсних карбідів. Це позначається на видовженні зразків (зменшенні густини сталі), тим більшому, чим більше залишкового аустеніту було в загартованій сталі, \square -карбіди поступово перетворюються на цементит.

Третє та четверте перетворення (інтервал температур $300\text{...}400^{\circ}\text{C}$) характеризуються скороченням довжини загартованих зразків. В інтервалі цих температур закінчується виділення вуглецю з α -розчину й утворюється цементит Fe_3C . Зменшуються внутрішні напруження в сталі. Структура сталі, що сформувалася при її нагріванні до 400°C , складається з феритно-цементитної суміші високого ступеня дисперсності, а при більш високих температурах (четверте перетворення) спостерігається збільшення частинок фериту і цементиту (*коагуляція*).

Таким чином, залежно від температури нагрівання сталі під час її відпускання утворюються структури мартенситу, бейніту, трооститу або сорбіту відпускання. Структури відпускання трохи відрізняються від структур гартування і більш сприятливі для експлуатації сталевих деталей.

Загартована сталь набуває не лише підвищеної міцності та твердості, а й схильності до крихкого руйнування; тому після її гартування з метою підвищення в'язкості та усунення гартівних напружень відпускання сталі виконують обов'язково. Температура відпускання впливає на границю міцності, границю текучості, твердість, відносні видовження та звуження, а також на ударну в'язкість сталі. З підвищенням температури відпускання

⁸ В системі Fe-C найбільший питомий об'єм має графіт.

міцність вуглецевої сталі зменшується, а характеристики її пластичності поліпшуються. Ударна в'язкість КСУ вуглецевої сталі інтенсивно зростає при температурах відпускання, вищих за 300°C, і набуває максимального значення при температурі 600°C.

Твердість, границя міцності та границя текучості загартованої без відпускання та відпущеної при температурі 200°C вуглецевої сталі практично однакові. Тому з урахуванням термічних напружень можна підвищувати швидкість охолодження відпущених сталевих деталей в межах, коли не проявляється небезпечна дія напружень.

Режим відпускання вибирають залежно від марки сталі, маси виробів і вимог до їхніх механічних властивостей. Температура нагрівання виробу визначається видом відпускання, а нагрівання рекомендується виконувати плавно та рівномірно. Найкраще вироби слід завантажувати в холодну піч і нагрівати їх із швидкістю приблизно 50...100°C/год. На якість відпускання впливає тривалість витримки. Її визначають так, щоб забезпечувалася стабільність властивостей виробів. Тривалість витримки має становити приблизно 2...3 год. Практично тривалість низького відпускання, наприклад сталевих інструментів, становить 0,5...2 год, але тривалість відпускання при температурі 100...120°C, коли спад твердості небажаний, збільшують до 15 год. Таке тривале відпускання виключає появу наступних об'ємних змін при експлуатації інструмента. При середньому та високому відпусканнях сталевих деталей витримку призначають у межах 1...8 год. для деталей масою понад 200 кг.

Структура відпущеної сталі формується в період витримки при температурі відпускання, тому інтенсивність наступного охолодження не зумовлює яких-небудь змін у ній. Як правило, після відпускання сталеві деталі охолоджують на спокійному повітрі.

На практиці режимні параметри відпускання сталі визначають за довідниками, а також за спеціальними номограмами, в яких взаємно пов'язані між собою процентний вміст вуглецю в сталі, температура нагрівання, тривалість витримки та твердість HRC. Користуючись номограмою, можна визначити твердість вуглецевої сталі, відпущеної за певним режимом.

Старінням металів та їх сплавів називають процеси, що відбуваються довільно, тобто без впливу зовнішнього середовища, а з плином часу ведуть до зміни їхніх властивостей. Наприклад, такими є процеси зміни напружень у масивних чавунних виливках під час зберігання їх протягом довгого періоду на складах, зміни механічних властивостей і розмірів загартованих деталей та інструментів, зміни структури металу загартованих деталей з часом, внаслідок чого підвищується твердість та зменшується пластичність металу. Можливими є випадки короблення виробів як наслідок зміни об'єму і розмірів їх.

Зміцнення металу при старінні є наслідком виділення з перенасиченого твердого розчину вторинних фаз у високодисперсному стані. Надмірні компоненти виділяються в складі субмікроскопічних включень по тілу чи в межах зерен, які утруднюють переміщення дислокацій. Здебільшого старіння супроводжується різким спадом пластичності та ударної в'язкості металу, що є абсолютно недопустимим.

Причиною старіння залізобуглецевих сплавів є утворення при їх швидкому охолодженні перенасиченого розчину вуглецю й азоту в залізі. Наприклад, при температурі 727°C у фериті розчиняється 0,02 % С, а при кімнатній – всього лише 0,008 %. У процесі старіння надмірний вуглець (азот) виділяється у вигляді дрібнодисперсних скупчень карбідів або нітридів. Причиною старіння загартованих середньо- та високовуглецевих сталей може бути поступове перетворення залишкового аустеніту на мартенсит.

Процес зміцнення металу внаслідок виділення в ньому вторинних фаз називається *дисперсійним старінням*, або *твердінням*. Якщо старіння сталі відбувається після її термообробки, його називають *термічним*.

Найбільш схильними до дисперсійного старіння є низьковуглецеві сталі з умістом вуглецю 0,03...0,05%, а також особливо киплячі сталі (розкислені тільки марганцем, що мають підвищений вміст розчинених газів (азоту, кисню тощо). З підвищенням умісту вуглецю схильність сталі до старіння зменшується.

Деякі сталі мають схильність до старіння в наклепаному стані (після вальцювання, гнуття та інших операцій холодної пластичної деформації) навіть після невеликих ступенів обтиснення. Це пояснюється прискоренням процесів розмежування компонентів твердого розчину, які приводять до утворення скупчень атомів розчиненого компонента (а потім і виділень) біля дислокацій. Цей процес не має безпосереднього зв'язку з діаграмою стану сплаву і називається *деформаційним старінням*.

Швидкість процесу зміцнення сталі залежить від її температури. За кімнатної температури максимального зміцнення при старінні сталь може досягти задовільно тривалий час – від десятків годин до багатьох місяців. Однак уже при температурі 50 °С для цього вистачає кількох годин. Нагрівання ж сталі до температури 100...300°С веде до зменшення її твердості, тобто відбувається відпускання сталі.

Процес старіння сталі при кімнатній температурі називається *природним*, а якщо він відбувається при нагріванні до невисоких температур – *штучним*.

Природне старіння сталі – небажане явище. Окрихчений після тривалого вилежування автомобільний чи котельний сталевий лист стає непридатним для виготовлення з нього виробів холодним штампуванням. Старіння – одна з причин утворення кільцевих тріщин на трубах з низьковуглецевої сталі в місцях їх розвальцювання та гнуття.

Для відновлення пластичності сталі перед її холодною пластичною деформацією застосовують відпалювання. З метою зберігання сталості розмірів та попередження короблення сталевих деталей під час експлуатації перед кінцевими операціями обробки застосовують термообробку їх, яка також називається старінням і поділяється на природне та штучне.

Природне старіння здійснюється вилежуванням деталей на відкритому повітрі тривалістю не менше трьох місяців. Штучне старіння полягає в нагріванні деталей до температури, яка не повинна бути більшою від температури низького відпускання, тривалий витримці її при цій температурі та повільному охолодженні до кімнатної температури. Найкраще старіння виконувати з нагріванням до температури 125...200°С в печі (чи масляній ванні) з витримкою до 8...15 год. (іноді до 25...30 год.) й охолодженням разом із піччю. Штучним старінням можна стабілізувати напруження в деталях і зберегти їхню високу твердість після гартування.

Деякі сталеві деталі під час експлуатації нагріваються і в них відбувається коагуляція фаз з відповідним зниженням міцності. Такі деталі піддають старінню з метою здобуття рівня їхніх властивостей, що буде стабільним за умов експлуатації деталей. Таке старіння сталі називається її *стабілізацією*.

У низьковідпущених сталях з підвищеним умістом вуглецю протягом тривалого часу можуть продовжуватися процеси розпаду мартенситу та перетворення залишкового аустеніту на мартенсит, що зумовлює зміну їхніх властивостей. Як зазначено вище, негативний вплив залишкового аустеніту усувають обробкою сталі холодом. Стабілізацію мартенситу здійснюють за допомогою тривалого низького відпускання сталі. Температура стабілізації вуглецевої і низьколегованої сталей становить 120°С, тривалість нагрівання – 200 год.; температура стабілізації високолегованої сталі – 160°С, тривалість її нагрівання – до 500 год.

Під час відпускання сталі відбуваються деформація та зміна розмірів деталей, пов'язані з появою внутрішніх напружень, що супроводжують фазові перетворення. Хоча деформація сталі під час її відпускання значно менша, ніж після гартування, вона може бути причиною появи браку.

Здебільшого відпускання сталевих виробів призначають перед виконанням заключних формозмінювальних операцій технологічного процесу. Тому можливі незначні зміни геометричної форми сталевих виробів після відпускання можна усунути, передбачивши відповідні припуски на кінцеву його обробку.

Суттєве короблення, а також тріщини можуть виникнути внаслідок тривалої перерви між гартуванням і відпусканням сталі. Для запобігання цим дефектам рекомендується якомога більше скорочувати перерву.

Найпоширенішим видом браку при відпусканні сталі є невідповідність її твердості технічним умовам. Недостатня твердість відпущених сталевих деталей може бути зумовлена застосуванням зниженої температури гартування, внаслідок чого утворюється недостатньо легований мартенсит, або підвищеної температури відпускання. Цей дефект усувають відпалюванням сталі з наступними повторним її гартуванням і відпусканням відповідно до заданого режиму обробки.

Причиною завищеної твердості сталі найчастіше бувають недостатня температура її відпускання чи недостатня тривалість витримки сталевих виробів у печі, коли процеси формування потрібних структури і властивостей не закінчились. Виправити цей дефект можна повторним відпусканням сталі при певній температурі.

Невідповідність твердості сталі технічним умовам також усувається відпалюванням з наступним її гартуванням і відпусканням.

У деяких вуглецевих доевтектоїдній та легованій сталях після відпускання в інтервалі температур 250...400°C спостерігається зниження ударної в'язкості (відпускна крихкість першого роду). Її пов'язують з нерівномірністю перетворення мартенситу відпускання. Внаслідок прискороного перебігу цього процесу поблизу границь зерен створюється підвищена концентрація напружень. Ці місця стають крихкими. Повторне відпускання сталі при тій самій температурі не усуває крихкість, тому її називають *необоротною*. В цьому разі підвищити ударну в'язкість сталі можна тільки повторним її відпусканням при температурі понад 400°C.

Найважливішою умовою, що попереджує появу браку під час відпускання сталі, є суворе дотримання режимних параметрів її обробки.

ПРОГРАМА ПІДГОТОВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Вивчити теоретичний матеріал за даним посібником та приведеними нижче літературними джерелами.
2. Описати:
 - а) структурні зміни, що відбуваються у кристалах мартенситу при відпусканні вуглецевих сталей;
 - б) фактори, що впливають на вибір режиму відпускання;
 - в) види браку, що може виникнути при відпусканні сталі.

ЗАВДАННЯ Й МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

1. Одержати у викладача загартовані зразки і вияснити марку сталі з якої вони виготовлені.
2. Зачистити поверхні зразків на шліфувальному верстаті і визначити їхню твердість. Результати записати в табл. 19.1.
3. Провести відпускання зразків при 180, 380, 520 і 680°C (протягом 30...50 хв.). Визначити після відпускання їхню твердість і дані записати в табл. 19.1.
4. Побудувати графік залежності твердості відпущених зразків від температури відпускання.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що називається відпусканням? Охарактеризувати з якою метою застосовують відпускання, його суть і види. Технологія проведення відпускання.

2. Які перетворення відбуваються у загартованій на мартенсит вуглецевій сталі при відпусканні?

Таблиця 19.1

Марка сталі	Твердість у вихідному загартованому стані, HRC	Температура відпускання, °C	Твердість після відпускання, HRC	Мікроструктура сталі
		–		
		180		
		380		
		520		
		680		

3. Охарактеризувати структуру і властивості загартованої і відпущеної вуглецевої сталі.

4. Пояснити чому, на відміну від гартування, швидкість охолодження не впливає на структуру відпущеної сталі.

5. Що таке старіння? Охарактеризувати старіння сталі. Яка різниця між відпусканням і старінням?

6. Охарактеризувати суть і призначення обробки холодом.

Лабораторна робота № 20 ВИВЧЕННЯ МІКРОСТРУКТУРИ, ТВЕРДОСТІ І ГЛИБИНИ ЦЕМЕНТОВАНОГО ШАРУ

- Мета:**
1. Ознайомитися з технологією проведення хіміко-термічної обробки сталевих виробів.
 2. Навчитися проводити цементацію і вибирати режим ТО після цементації.
 3. Навчитися проводити мікроаналіз цементованих виробів.

Обладнання, матеріали та інструменти

Зразки із сталі 10 або 20, металевий ящик, твердий карбюратор, муфельна піч, гартувальні посудини з водою або маслом, шліфувальний верстат, наждачний папір, 4%-ний розчин азотної кислоти в спирті, твердомір, металографічний мікроскоп, щипці.

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Цементациєю називається процес насичення поверхневого шару сталевих виробів вуглецем. Цементация здійснюється з метою одержання високої твердості на поверхні виробу при збереженні в'язкої серцевини. Вона сприяє підвищенню стійкості проти спрацювання. Процес цементації складається із трьох стадій: *дисоціації*, яка полягає в розпаді молекул оксиду вуглецю і утворенні активних атомів вуглецю; *адсорбції*, тобто поглинанні атомів вуглецю, що перебувають у газовій, рідкій або твердій фазі, поверхнею сталевих виробів і утворенні хімічних зв'язків з атомами металу; *дифузії*, тобто проникненні атомів вуглецю вглиб металу.

Товщина дифузійного шару залежить від температури нагрівання, тривалості витримки при насиченні і концентрації вуглецю на поверхні.

Цементації піддають деталі, виготовлені із низьковуглецевих сталей, що працюють в умовах контактного спрацювання і знакозмінних навантажень. Її проводять при температурах вище $A_{с3}$ (900...950°C). Чим менше вуглецю в сталі, тим вища температура нагрівання для цементації. В результаті цементації концентрація вуглецю в поверхневому

шарі складає 0,8...1,0%. Більш висока концентрація вуглецю сприяє підвищенню крихкості цементованого шару.

Цементований шар має змінну концентрацію вуглецю по товщині, яка зменшується від поверхні до серцевини. У зв'язку з цим після повільного охолодження в структурі цементованого шару можна виділити 3 зони: заевтектоїдну, що складається із перліту і цементиту вторинного, евтектоїдну, що складається із перліту, доевтектоїдну, що складається із перліту і фериту (рис. 20.1). За глибину цементованого шару звичайно приймають суму заевтектоїдної, евтектоїдної і половину доевтектоїдної зон. Товщина цементованого шару для більшості сталей складає 0,8...1,4 мм.

Середовище, в якому проводять цементацію, називається карбюризатором. В лабораторних умовах найпростіше здійснити цементацію у твердому карбюризаторі. Твердий карбюризатор складається із активованого деревного вугілля (дубового або березового). Для прискорення процесу до деревного вугілля додають активатори – вуглекислий барій (BaCO_3), кальциновану соду (Na_2CO_3) і т.д. в кількості 10...40% від маси вугілля. Звичайно робоча суміш, що використовується для цементації, складається із 25...35% свіжого карбюризатора і 65...75% відпрацьованого. В цьому випадку вміст BaCO_3 в суміші складає 5...7%. В ящику між шматочками вугілля є повітря, кисень якого взаємодіє з вуглецем карбюризатора, утворюючи оксид вуглецю CO . Дотикаючись до поверхні деталей, оксид вуглецю дисоціює за реакцією: $2\text{CO} = \text{CO}_2 + \text{C}_{\text{ат}}$.

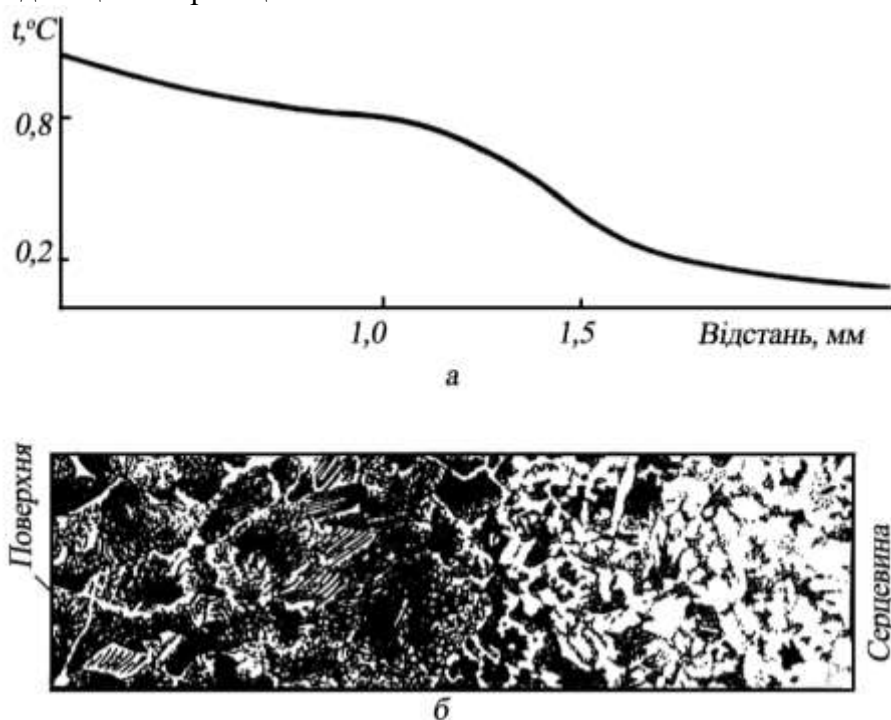


Рис. 20. 1. Зміна концентрації вуглецю в поверхневому шарі цементованої деталі (а); мікроструктура цементованого шару (б)

Атомарний вуглець ($\text{C}_{\text{ат}}$), що виділився, дифундує в глибину металу. Домішки вуглекислих солей активують процес цементації, оскільки при цьому утворюється оксид вуглецю.

Тривалість витримки в печі при температурі цементації залежить від необхідної товщини цементованого шару. На практиці витримка приймається із розрахунку росту шару зі швидкістю 0,1 мм/год. Підвищення температури цементації до 1000...1100°C дозволяє прискорити процес, але такий режим можна застосовувати тільки для спадководрібнозернистих сталей.

Звичайно ящики після цементації охолоджують на повітрі. Після цементації деталі піддають нормалізації для подрібнення зерна, повторному гартуванню і низькотемпературному відпусканню. В результаті такої обробки поверхневий шар набуває

структури мартенситу відпускання із залишковими карбідами, що забезпечує твердість HRC 60-63.

ПРОГРАМА ПІДГОТОВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Вивчити теоретичний матеріал за даним посібником та приведеними нижче літературними джерелами.
2. Запишіть у зошит:
 - а) що це таке дифузанти, дисоціація, адсорбція, карбюратор, дифузія? Яку роль вони відіграють при ХТО;
 - б) склад твердого і газоподібного карбюратора? Який з них кращий? Чому?
 - в) яка мета цементації? За рахунок чого досягається мета при цементації

ЗАВДАННЯ Й МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

1. В металевий ящик насипати шар карбюратора товщиною 3...4 см і розмістити там три зразки розміром 10×10×60 мм. Потім зразки засипати шаром карбюратора і ящик закрити кришкою.
2. Ящик розмістити в печі, нагрітій до температури 1050...1100°C, нагріти і витримати при цій температурі 20 хв.
3. Ящик вийняти з печі, зняти кришку, два зразки вийняти і охолодити у воді або маслі, а третій охолодити разом з пічкою.
4. Виміряти твердість загартованих зразків.

Таблиця 20.1

№ зразка	Режим		Твердість	Мікроструктура		Глибина цементації в мм
	цементації	термообробки після цементації		серцевини	цементованого шару	

5. Один загартований зразок розрізати, виготовити з нього мікрошліф і, після травлення 4%-ним розчином азотної кислоти в спирті, вивчити мікроструктуру.
6. Другий загартований зразок відпустити при 180...200°C протягом 1...1,5 год. і виміряти його твердість.
7. Зразок охолоджений разом з ящиком, розрізати і виготовити мікрошліф. Після травлення 4%-ним розчином азотної кислоти в спирті вивчити мікроструктуру. Одержані результати записати в табл. 20.1.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що називається хіміко-термічною обробкою (ХТО)?
2. З яких трьох стадій складаються процеси ХТО?
3. Охарактеризуйте всі види ХТО, вкажіть їхню мету, технологію проведення.
4. Охарактеризуйте інші види поверхневого зміцнення деталей, вкажіть їхню мету, технологію проведення.

Лабораторна робота № 21 ВПЛИВ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА ТВЕРДІСТЬ КОНСТРУКЦІЙНОЇ ЛЕГОВАНОЇ СТАЛІ

Мета: Навчитися проводити термічну обробку конструкційної легованої сталі.

Обладнання, матеріали та інструменти

Вразки сталей 38X, 40X, 40XH; твердомір, муфельна піч, гартувальні посудини з маслом, наждачний папір, щипці.

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Міцність, в'язкість, жаро- і холодотривкість, а також корозійна тривкість вуглецевих сталей є недостатніми для багатьох важконавантажених деталей машин і будівельних конструкцій; крім того, вони крихкі. Прогартуваність вуглецевих сталей також мала у зв'язку з великою критичною швидкістю гартування, в результаті чого на мартенсит загартовується тільки поверхневий шар заготовки, а внутрішні шари загартовуються лише на троостит або сорбіт, а заготовки більших розмірів залишаються зовсім не загартованими. Таким чином, вуглецеві сталі часто не відповідають підвищеним вимогам машинобудування, і тому замість них використовують леговані сталі.

Леговані сталі – це сплави на основі заліза та вуглецю, у складі яких є легувальні елементи.

Легувальними називаються хімічні елементи, які спеціально вводять у сталь, щоб змінити її структуру та властивості. Найчастіше використовують такі легувальні елементи, як Cr, Ni, Mn, Si, W, Mo, V, Co, Ti, Al, Cu тощо. Але леговані сталі є дорожчі за вуглецеві. Тому для ефективного їх використання інженер повинні розуміти їх позитивні сторони і недоліки порівняно з вуглецевими.

Поєднуючи легування з термічною обробкою, можна отримати бажану структуру, а отже й механічні, технологічні, фізичні або хімічні властивості. Як правило, застосування легованих сталей без термообробки економічно не виправдане.

Режим термічної обробки (ТО) конструкційних сталей визначається головним чином вмістом вуглецю, а також залежить від кількості легувальних елементів. При цьому ТО легованих сталей порівняно з вуглецевими має свої особливості. Відмінність ТО легованої сталі полягає у виборі температур і швидкості нагрівання до цих температур, витримці при цих температурах і способах охолодження.

Нагрівання легованих сталей при ТО повинно бути повільнішим, ніж вуглецевих, у зв'язку із пониженою теплопровідністю легованих сталей і можливістю утворення тріщин при швидкому нагріванні. Особливо обережно необхідно нагрівати деталі із сталей, що містять такі хімічні елементи, які мають низьку теплопровідність, наприклад, вольфрам.

Вибір температури нагрівання для проведення гартування, як відомо, проводиться в залежності від температур критичних точок. У зв'язку з цим необхідно нагадати, що всі легувальні елементи можна розділити на дві групи:

1) елементи, які підвищують критичні точки A_1 і A_3 , а отже і температуру нагрівання при ТО - відпалюванні, нормалізації і гартуванні;

2) елементи, які знижують критичні точки.

До першої групи відносяться Cr, V, W, Si і ін. У зв'язку з цим відпалювання, нормалізацію і гартування сталей, які містять вказані елементи, проводять при більш високих температурах, ніж вуглецеві сталі.

До другої групи елементів відносяться Mn, Ni і ін.

Крім критичних точок, при виборі температури гартування, звертають увагу на схильність аустенітного зерна до росту. Якщо сталь схильна до росту аустенітного зерна, тоді температуру нагрівання під гартування вибирають поближче до критичної точки сталі (щоб виключити одержання грубозернистої структури). Однак це не сприяє повному розчиненню легованих карбідів в аустеніті і одержанню легованого мартенситу, який має кращі механічні властивості порівняно з нелегованим мартенситом.

Усі легувальні елементи, за винятком Mn, перешкоджають росту аустенітного зерна при нагріванні. Особливо сильний вплив здійснюють карбідотвірні елементи (Cr, V, W, Mo і ін.). Карбіди, розміщуючись по границях зерен, перешкоджають їхньому росту при

нагріванні. Отже, леговані сталі (за винятком марганцевистих), при нагріванні для гартування не схильні до росту аустенітного зерна і їх можна нагрівати до більш високих температур, ніж вуглецеві.

Час витримки при ТО легованих сталей вибирається дещо більшим, ніж вуглецевих, оскільки легована сталь має меншу теплопровідність і для повного прогрівання деталі необхідно більше часу. Крім того, більш тривала витримка сприяє повному розчиненню легованих карбідів в аустеніті і, таким чином, утворенню легованого аустеніту. При гартуванні легований аустеніт перетворюється в легований мартенсит, механічні властивості якого кращі (як уже було зазначено вище), ніж у нелегованого, за рахунок зміцнення його легувальними елементами. Тривкість проти розпаду легованого мартенситу також вища, оскільки легувальні елементи, особливо хром, затримують його перетворення до 450...500°C. Завдяки цьому твердість легованої сталі зберігається до температур 450...500°C, в той час, як у вуглецевій сталі мартенсит починає розпадатися уже при нагріванні до 200...250°C, що приводить до зменшення твердості вуглецевих сталей при нагріванні вище цих температур.

Слід також зазначити, що після гартування, залишковий легований аустеніт, що зберігається, має значно більш високу тривкість, ніж залишковий аустеніт вуглецевої сталі. Так, якщо у вуглецевій сталі залишковий аустеніт перетворюється на мартенсит при нагріванні до 270...300°C, то в легованих сталях він може зберігатися до температур 450...550°C. Вище було зазначено, що в легованих сталях до цих температур зберігається також без перетворення легований мартенсит. Отже, в результаті нагрівання загартованої легованої сталі до температур 450...550°C відбувається розпад легованого мартенситу з утворенням дрібнодисперсних карбідів, а також розпад залишкового аустеніту з утворенням мартенситу. Ці процеси викликають підвищення твердості сталі в цьому температурному інтервалі, яка в деяких випадках може бути навіть більша, ніж після гартування. Це явище називається *вторинною твердістю*.

Швидкість охолодження при гартуванні вибирається, як відомо, у відповідності з величиною критичної швидкості гартування. Усі легувальні елементи, крім кобальту, зменшують критичну швидкість гартування. Практично це приводить до того, що леговані сталі мають більшу прогартуваність, ніж вуглецеві, і їх можна загартовувати на мартенсит в маслі, тобто при меншій швидкості охолодження, ніж вуглецеві.



Рис. 21.1. Залежність ударної в'язкості конструкційної сталі від температури відпускання: 1 – швидке охолодження, 2 – повільне охолодження

явище зв'язують з нерівномірністю перетворення відпущеного мартенситу, що відбувається швидше поблизу границь зерен, а в об'ємі зерна повільніше. Відпускна крихкість I роду "необоротна", тобто при повторному нагріванні уже не спостерігається.

Відпускна крихкість II роду спостерігається у легованих сталях при повільному охолодженні після відпускання в області 450...650°C. Існує декілька пояснень природи цього

Крім перерахованих явищ, при відпусканні легованої сталі, спостерігається інший, ніж у вуглецевої, характер зміни ударної в'язкості в залежності від температури відпускання. Звичайно ударна в'язкість із збільшенням температури відпускання збільшується, а швидкість охолодження не впливає на властивості сталі. Але для деяких конструкційних сталей у певних температурних інтервалах спостерігається зменшення ударної в'язкості (рис. 21.1). Цей дефект називається *відпускну крихкістю*. Розрізняють відпускную крихкість I і II роду.

Відпускна крихкість I роду спостерігається при відпусканні в області 300°C у легованих, а також вуглецевих сталей і не залежить від швидкості охолодження. Це

дефекту. Розглянемо найбільш поширені. При високому відпусканні по границях зерен відбувається утворення і виділення дисперсних вкраплень карбідів. Пригранична зона збіднюється на легувальні елементи. При наступному повільному охолодженні відбувається дифузія атомів фосфору із внутрішніх об'ємів зерна до границь. Приграничні зони зерна збагачуються фосфором, міцність границь у зв'язку з тим, що вони стають крихкі, знижується, ударна в'язкість падає. Цьому дефекту сприяють марганець, хром і фосфор ($> 0,001\%$). Зменшують схильність до відпускну крихкості II роду молібден і вольфрам (до $0,5\%$) і швидке охолодження після відпускання. Відпускну крихкість II роду "оборотна", тобто при повторному нагріванні і повільному охолодженні тих же сталей у небезпечних інтервалах температур цей дефект може повторитися.

ПРОГРАМА ПІДГОТОВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Вивчити теоретичний матеріал за даним посібником та приведеними нижче літературними джерелами.
2. Описати:
 - а) за якими ознаками класифікуються леговані сталі;
 - б) як маркуються леговані сталі;
 - в) особливості ТО легованих сталей порівняно із вуглецевими;
 - г) суть і причини виникнення явищ відпускну крихкості I і II роду.

ЗАВДАННЯ Й МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

Роботу доцільно виконувати на зразках сталей 35X, 40X або 40XH у вигляді шайб діаметром 12...15 мм і висотою 20...25 мм.

1. На одному або двох зразках виміряти твердість у вихідному стані.
2. Зразки нагріти в печі до температури $840...860^{\circ}\text{C}$ і після необхідної витримки (25...30 хв.) загартувати в маслі, після чого виміряти їхню твердість і отримані результати записати в табл. 21.1.

Таблиця 21.1

Режим термобробки	Твердість, HRC	Мікроструктура
Вихідний стан		
Гартування		
Відпускання при температурі, $^{\circ}\text{C}$		
200		
300		
400		
500		
600		

3. Загартовані зразки відпустити при температурах 200, 300, 400, 500 і 600°C , після чого виміряти їхню твердість, а також зробити висновки щодо їхньої мікроструктури і результати записати в таблицю 21.1.

4. Побудувати графік залежності твердості загартованих зразків від температури відпускання. Зробити висновок.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які сталі називають конструкційними? Охарактеризуйте принципи вибору матеріалу для виготовлення конструкцій чи деталей, виходячи з умов експлуатації.
2. Як класифікуються і маркуються леговані конструкційні сталі?
3. Які особливості ТО легованих сталей порівняно з вуглецевими? Як впливає термічна обробка на мікроструктуру і властивості легованих сталей?
4. В чому суть і природа явищ відпускну крихкості I-го і II-го роду?

Лабораторна робота № 22

ВИБІР МАТЕРІАЛУ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ІНСТРУМЕНТІВ ТА ЇХНЯ ТЕРМІЧНА ОБРОБКА

- Мета:**
1. Навчитися вибирати матеріал для виготовлення різних інструментів та розробляти технологічні процеси їх термічної обробки.
 2. Навчитися проводити термічну обробку різних інструментів.

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Для виготовлення робочої частини ріжучих інструментів застосовують п'ять груп інструментальних матеріалів: інструментальні вуглецеві і леговані сталі, швидкорізальні сталі, тверді сплави, мінералокераміку і надтверді матеріали. Із них виготовляють інструменти чотирьох типів: 1) ріжучі; 2) вимірювальні; 3) штампи холодного деформування; 4) штампи гарячого деформування.

Номенклатура і умови роботи інструментів кожного типу відрізняються великою різноманітністю. Тільки ріжучих інструментів існує більше тисячі типорозмірів.

У процесі роботи інструменти, особливо ріжучі і штампові, перебувають під дією високих контактних тисків на робочу частину, що викликає її спрацювання. У більшості випадків контактна поверхня інструмента розігрівається до декількох сотень градусів. У зв'язку з цим інструментальні матеріали повинні мати певні фізико-механічні і технологічні властивості, з яких головними є твердість, міцність і пластичність, теплостійкість і теплопровідність, опір налипанню матеріалу, що обробляється, зносостійкість, а також загартовуваність і прогартовуваність (для інструментальних сталей), стійкість проти перегрівання і окислення, зварюваність або здатність до з'єднання паянням, схильність до утворення тріщин при паянні і здатність шліфуватися.

Від вказаних властивостей цих матеріалів залежать такі важливі технологічні показники, як продуктивність обробки різанням, стійкість і надійність інструменту тощо.

Практично не існує таких матеріалів, які б одночасно мали високі твердість, міцність, теплові характеристики тощо

Щоб правильно вибрати інструментальний матеріал для конкретних умов обробки або правильно використати той що є при відсутності можливості такого вибору, необхідно знати вплив властивостей на процес різання.

Твердіть. Щоб проникнути в поверхневий шар оброблюваної заготовки, матеріал ріжучих лез робочих частин інструментів повинен мати твердість значно більшу за твердість оброблюваного матеріалу. Чим більша твердість інструмента, тим більша його стійкість і швидкість різання. Зі збільшенням твердості підвищується опір інструмента механічному зношуванню і більш тривалий час зберігається гострою ріжуча частина інструмента.

Твердість інструментальних матеріалів може бути природною, тобто властивою цьому матеріалу при його утворенні, а може бути одержана спеціальною обробкою. Так, інструментальні сталі поставляються із заводів у відпаленому стані, і в цьому стані вони порівняно легко піддаються обробці різанням. Після виготовлення інструменти піддаються термічній обробці, шліфуванню і заточуванню. В результаті термообробки суттєво підвищуються твердість і міцність інструментальних сталей. При твердості термооброблених інструментів, виготовлених із інструментальних сталей в межах HRC 63...64 досягається найбільш стійка їхня робота і найменша їхня спрацьовуваність. При меншій твердості зростає спрацьовуваність лез інструментів.

Однак не для всіх інструментів і умов обробки доцільно вибирати інструментальний матеріал з найбільшою твердістю, оскільки з її підвищенням збільшується крихкість і схильність до утворення тріщин при паянні і заточуванні, погіршується здатність

шліфуватися. У зв'язку з цим при виборі інструментального матеріалу необхідно враховувати не тільки твердість, але і інші його властивості.

Тверді сплави, мінералокераміка і синтетичні інструментальні матеріали, що використовують для виготовлення ріжучих частин інструментів, мають високу природну твердість, суттєво переважаючи твердість термооброблених інструментальних сталей.

Конструкційні метали і сплави, що мають твердість HRC 30...35, задовільно обробляються інструментами, виготовленими із інструментальних сталей, термооброблених до твердості HRC 63...64, тобто при співвідношенні їхньої твердості приблизно рівної двом. Конструкційні метали і сплави оброблені до HRC 45...55, можуть бути оброблені твердими сплавами. Синтетичні інструментальні матеріали завдяки своїй твердості здатні обробляти загартовані сталі.

Міцність. У процесі різання на інструмент діють сили, що піддають його стискуванню, згинанню, скручуванню та іншим видам деформації. Під дією цих сил у матеріалі робочої частини виникають великі напруження. Щоб ці напруження не привели до руйнування робочої частини, інструментальні матеріали повинні бути достатньо міцними. Поняття міцності має двояке значення: міцність ріжучих елементів, що перебувають у зоні різання і піддаються впливу стружки, що сходить, та тепловій дії, а також міцність не ріжучих елементів інструмента. У першому випадку міцність характеризує такі ріжучі властивості інструмента, як опір крихкому і пластичному руйнуванню ріжучої частини; у другому – жорсткість, вібростійкість і надійність інструмента в цілому.

Із всіх інструментальних матеріалів найкраще поєднання характеристик міцності мають інструментальні сталі. Відношення між їхніми границями міцності на згин і розтяг рівне 1,3...1,6, а відношення між границями міцності на стискування і розтягування – 1,6...2,0. Завдяки цьому робоча частина інструментів, виготовлених із інструментальних сталей, успішно витримує складний характер навантаження і може працювати на стискання, кручення, згинання і розтягування.

Далі в порядку спадання характеристик міцності розміщуються: тверді сплави, мінералокераміка, синтетичні інструментальні матеріали і алмаз. Всі ці матеріали достатньо добре витримують навантаження. Однак їхнім суттєвим недоліком є низьке значення міцності на згин. Границя ж міцності на розтягування цих матеріалів настільки мала, що взагалі не дозволяє проводити обробку різанням. Якщо в процесі роботи в них виникають розтягуючі напруження. При використанні цієї групи матеріалів необхідно за рахунок відповідної геометрії робочої частини добиватися щоб у процесі різання в них виникали тільки стискуючі напруження.

Теплостійкість. Механічні властивості інструментального матеріалу змінюються під дією температури різання. У процесі різання леза ріжучих інструментів нагріваються, причому найбільша температура досягається на контактних поверхнях лез. Нагрівання до температури нижче деякого його критичного значення, різного для різних інструментальних матеріалів, не впливає на їхній структурний стан, а отже і на твердість і на міцність. Після нагрівання до цієї температури і охолодження інструментальні матеріали не змінюють своїх властивостей. Зі збільшенням температури вище критичного значення в інструментальних матеріалах відбуваються структурні зміни у результаті чого твердість і міцність матеріалу зменшуються і досягають таких значень, коли інструмент швидко починає зношуватися і втрачає свої ріжучі властивості. Температура, до якої інструментальний матеріал зберігає свою ріжучу здатність, називається *теплостійкістю*. У раніше розроблених стандартах на інструментальні і швидкорізальні сталі застосовувався термін «*червоностійкість*», що ідентичний з терміном «*теплостійкість*».

В основі терміну «червоностійкість» лежить фізична властивість металів у нагрітому до 600 °С стані випромінювати темно-червоний колір. За своєю суттю термін «червоностійкість» характеризує здатність сталі зберігати при нагріванні високі твердість, міцність та зносостійкість, набуті під час термообробки.

Враховуючи, що температура ріжучого леза в значній мірі залежить від швидкості різання (підвищується зі збільшенням останньої), матеріали, що мають більшу теплостійкість, навіть при різній твердості можуть працювати з більш високими швидкостями різання і обробляти більш тверді матеріали.

Теплопровідність. Збільшити працездатність ріжучого інструмента можна не тільки за рахунок підвищення теплостійкості інструментального матеріалу, але і завдяки покращенню умов відведення тепла, що виділяється в процесі різання на лезі інструмента і викликає його нагрівання до високих температур. Чим більша кількість теплоти відводиться від леза в глибину маси інструмента, тим нижча температура на його контактних поверхнях. Крім того, матеріали з більшою теплопровідністю менш схильні до утворення тріщин при заточуванні і паянні.

Теплопровідність інструментальних матеріалів залежить від їхнього хімічного складу і температури нагрівання. Наприклад, теплопровідність інструментальних швидкорізальних сталей підвищується зі збільшенням температури до 650...750°C і зменшується при нагріванні вище цих температур. Присутність у сталі таких легувальних елементів, як вольфрам і ванадій, знижує теплопровідні властивості інструментальних сталей, а леговані титаном, молібденом і кобальтом навпаки, помітно підвищує. Це ж стосується і твердих сплавів, до складу яких входить карбід титану. Вони більш теплопровідні, ніж тверді сплави, що містять тільки карбід вольфраму.

Адгезійна стійкість. Це стійкість проти налипання оброблюваного матеріалу на ріжучий край інструмента. Низька адгезійна стійкість інструментального матеріалу приводить до збільшення інтенсивності зношування інструмента, особливо при високих температурах і тисках у зоні різання.

Зносостійкість – це властивість інструментального матеріалу чинити опір механічному, тепловому і хімічному впливу оброблюваного матеріалу в процесі різання. Взаємодія інструмента з оброблюваним матеріалом відбувається в умовах рухомого контакту. При цьому обидва тіла, що утворюють пару, що третє, взаємно зношують одна одну. Матеріал кожного із взаємодіючих тіл має: а) властивість стирати матеріал, з яким він взаємодіє; б) зносостійкість, що виражає здатність матеріалу чинити опір стихаючій дії матеріалу контр тіла.

Практичний інтерес при вивченні процесів різання викликає зношування лез інструментів. Зношування лез інструментів відбувається протягом всього періоду їхнього рухомого контакту з оброблюваним матеріалом. У результаті цього процесу леза втрачають деяку частину своєї маси і на них чітко видно сліди зношування у вигляді форми робочих поверхонь.

Найважливішими факторами, що впливають на зносостійкість, є розглянуті вище властивості – твердість, теплостійкість, теплопровідність, адгезійна стійкість.

При виборі інструментального матеріалу необхідно прагнути до оптимального значення його зносостійкості з врахуванням хімічного складу і міцності оброблюваного матеріалу, характеру операції і конструкції інструмента, жорсткості обладнання, можливості змащувально-охолоджуючих рідин тощо.

Режим термічної обробки інструмента визначається його хімічним складом, а також залежить від розмірів і конфігурації. При виборі режиму термічної обробки інструментів, як правило, користуються загальними підходами. Але при цьому кожен конкретний інструмент має свої особливості, які необхідно враховувати. Так, наприклад, при термічній обробці досить часто доводиться гартувати слюсарні інструменти з самовідпусканням. При звичайному відпусканні, коли вся деталь нагрівається до однакової температури, вона, пройшовши гартування і відпускання при однакових умовах, має у всіх точках однакові твердість і в'язкість. Для ударного інструменту (зубила, керни, молотки тощо) такий розподіл твердості недоцільний. Інструмент буде мати високу стійкість до спрацювання тоді, коли твердість поступово і рівномірно знижується від робочої (ріжучої) частини до центра і до хвостової (кріпильної) частини інструмента. Такий розподіл твердості може бути

досягнутий, якщо відпускати інструмент за кольорами мінливості, однак в цьому випадку доводиться задовольнятися менш точним контролем температури відпускання.

Поява кольорів мінливості при відпусканні в інтервалі 200...300°C пояснюється тим, що при цих, температурах на чистій (полірованій, шліфованій) металевій поверхні появляються тонкі шари окислів. Колір шару окислу залежить від його товщини, уже за короткий час перебування сталі при 220°C вона покривається шаром товщиною 0,04 мкм. Цей шар надає поверхні сталі світло-жовтого кольору. Дані про зміну кольору поверхні в залежності від товщини шару і температури наведені в табл. 22.1.

Таблиця 22.1

Колір мінливості	Температура, °C	Товщина шару, мкм
Солом'яно-жовтий	220-240	0,045
Оранжевий	240-260	0,050
Червоно-фіолетовий	260-280	0,065
Синій	280-300	0,070

В умовах навчальних майстерень гартування з самовідпусканням здійснюють так. В охолоджуючій рідині змочують (переміщуючи інструмент вгору вниз, щоб не утворилося чіткої межі між загартованою і незагартованою частинами, оскільки це може привести до утворення тріщин) лише робочу частину інструменту (зубила, кернери, шабери тощо). Після того, як вона почорніє, інструмент виймають. Відпускання здійснюється за рахунок внутрішнього тепла, яке збереглося при неповному охолодженні виробу. Для контролю за температурою користуються кольорами мінливості. Для цього кінець робочої частини швидко зачищають напилком, шматком абразивного круга або шліфувальним папером і при необхідному кольорі мінливості (що свідчить про певну температуру) інструмент занурюють в охолодник до повного охолодження.

Кольори мінливості чергуються від світло-жовтого до сірого. Практично кожен слюсарний інструмент гартується остаточно при таких кольорах мінливості:

Таблиця 22.2

Шабери	t = 220 °C	Світло-жовтий
Різці, свердла	t = 240 °C	Солом'яно-жовтий
Плашки, калібри	t = 255 °C	Коричнево-жовтий
Мітчики	t = 265 °C	Червоно-коричневий
Ніжки циркуля	t = 275 °C	Пурпурно-червоний
Зубила, бородки, кернери, викрутки	t = 285 °C	Фіолетовий
Підтримки, натяжки, чеканки, гладилки	t = 295 °C	Волошково-синій
Зубила по м'якій сталі	t = 315 °C	Світло-синій
Пружини спіральні і плоскі	t = 330 °C	Сірий

Термообробка зубила. Слюсарне зубило призначене для рубання металу, тобто відноситься до інструментів ударної дії. Воно працює в умовах ударних навантажень, а тому повинно мати достатньо високу в'язкість і, крім того, високу твердість і міцність. Для виготовлення зубил використовують вуглецеву інструментальну сталь марки У7А. Ця сталь може забезпечити вказані вище властивості і є порівняно дешевим матеріалом.

Оскільки мета термічної обробки зубила – одержати високу твердість і достатньо високу в'язкість, тому необхідно проводити зміцнюючу термообробку, тобто гартування з наступним відпусканням. Для гартування робочу частину зубила (лезо) на довжині 15...30 мм нагрівають в печі або соляній ванні до 760...780°C, при чому стежать за тим, щоб не було різкого переходу між розжареною і темною частинами зубила, оскільки в протилежному випадку можуть виникнути тріщини. Після необхідної витримки нагрітий кінець зубила опускають вертикально у воду на 15...20 мм та переміщують вгору і вниз, щоб не утворилося різкої межі між загартованими і незагартованими частинами. Коли нагріта частина зубила

потемніє, його виймають і спостерігають за зміною кольору (за кольором можна приблизно визначити температуру загартованої частини зубила).

Для відпускання виріб другий раз не нагрівають, а використовують тепло, що віддається незагартованим кінцем зубила. Відпускання проводиться при температурі 200...250°C до появи світло-солом'яного кольору. Після появи на кінці зубила потрібного кольору його остаточно охолоджують у воді. Якщо зубило призначене для рубання кольорових металів, його відпускають до синього кольору. Твердість леза зубила повинна бути HRC 53...56. Щоб головка зубила не розбивалась від ударів, її твердість повинна бути HRC 32...40. Гартування головки проводять так само, як і леза, але відпускання застосовують середнє при 400...450°C до появи сірого кольору.

Термообробка молотка. Молоток виготовляють із сталі У7. Перед гартуванням його нагрівають до температури 760...780°C. Після закінчення нагрівання молоток занурюють вузьким кінцем у воду і витримують в ній до припинення кипіння. Потім у воду опускають бойок. Коли вода перестає кипіти, тоді весь молоток до повного охолодження опускається у воду. Відпускання не проводять.

Результати гартування перевіряють спрощеним методом. Для цього ударяють молотком три рази по незагартованій сталі У10. При цьому на робочих частинах молотка не повинно бути заглибин, тріщин. Якість гартування перевіряють також за твердістю – твердість обох кінців молотка на довжині не менше 15 мм повинна бути HRC 49-56.

Термообробка викрутки. Викрутку виготовляють із сталі У7, У8, 50, 60. Для гартування робочу частину на довжині 10...20 мм нагрівають до температури 780...800°C і потім вертикально занурюють у воду на 5...6 мм. Відпускання проводять при температурі 300...400°C до появи фіолетового кольору. Твердість леза викрутки HRC 46...52.

Термообробка покрівельних ножиців. Ножиці виготовляють із сталі У8. Їхня термічна обробка складається із гартування і відпускання. Для гартування ножиці нагрівають до температури 780...800°C, потім їх занурюють вертикально у воду, швидко виймають і переносять у муфельну піч або масляну ванну для відпускання. Температура відпускання 220°C (світло-жовтий колір). Остаточнo ножиці після відпускання краще охолоджувати в маслі. Гартування і відпускання обох половинок ножиців виконують одночасно, щоб отримати однакову твердість.

Термообробка гайкового ключа. Гайкові ключі виготовляють із сталі 40, 50. Губки нагрівають для гартування до температури 850...900°C, а потім охолоджують у воді. Відпускання проводять середнє при температурі 450°C до появи синього кольору. Твердість губок HRC 40...45.

ЗАВДАННЯ Й МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

1. Вияснити у викладача назву інструмента, для виготовлення якого необхідно вибрати матеріал та розробити технологічний процес його термічної обробки.
2. Описати:
 - а) яке призначення та умови експлуатації даного інструмента;
 - б) із якого матеріалу доцільно виготовляти цей інструмент? Обґрунтувати доцільність вибору саме цього матеріалу;
 - в) як маркується вибраний матеріал? Що означають літери і цифри в його марці?
 - г) який хімічний склад матеріалу?
3. Розробити і обґрунтувати технологічний процес проведення термічної обробки вибраного інструмента (вказати операції, їх послідовність, температуру нагрівання, тривалість витримки, охолоджуюче середовище, швидкість нагрівання і охолодження, обладнання).
4. Описати перетворення, які відбуваються в матеріалі інструмента при його термообробці, а також структуру і конкретні механічні властивості після її завершення.
5. Провести термічну обробку вибраного інструмента.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Охарактеризуйте принципи вибору матеріалу для виготовлення інструменту в залежності від його призначення.
2. Охарактеризуйте матеріали для виготовлення ріжучого інструмента (вуглецеві, низьколеговані і швидкорізальні сталі; тверді сплави), їхній склад, маркування, термообробку на задані властивості.
3. Які сталі використовуються для виготовлення вимірювального інструменту? Які основні вимоги висуваються до таких сталей? Особливості їх термообробки.
4. Охарактеризуйте технологію термічної обробки молотка, зубила, напилка, свердла, мітчика, плашки та ін.

Лабораторна робота № 23 ВИРОБНИЦТВО КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ

Мета: Вивчити теоретичні основи технології виробництва кольорових металів (алюмінію, міді і титану).

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Кольорові метали мають комплекс цінних властивостей, таких, наприклад, як теплопровідність (алюміній, мідь), низьку температуру плавлення (свинець, олово), малу питому вагу (алюміній, магній) тощо. Проте застосування їх у чистому вигляді досить обмежене. Широко застосовуються у промисловості сплави кольорових металів – латуні, бронзи, бабіти (на основі міді, цинку, олова, свинцю), а також дуралюміні і силуміни (на основі алюмінію), сплави на основі титану, магнію. На основі кольорових металів та їхніх сплавів створюються також композиційні матеріали та такі, що виготовляють методами порошкової металургії.

Алюміній за обсягами світового виробництва вийшов на друге місце після сталі, а за темпами росту далеко випередив сталь. Такий стрімкий розвиток алюмінієвої промисловості можна пояснити рядом позитивних властивостей і порівняно низькою вартістю алюмінію.

Чистий алюміній - метал срібно-білого кольору, має гранецентровану кубічну решітку з параметром $a = 0,4041$ нм; характеризується малою густиною ($\gamma = 2700$ кг/м³), низькою температурою плавлення ($T_{пл} = 660^\circ\text{C}$), високими пластичністю, тепло- та електропровідністю, добрими зварюваністю й оброблюваністю різанням. Водночас алюміній відзначається низькою міцністю та твердістю (див. табл. 23.1). На повітрі він покривається тонкою щільною оксидною плівкою Al_2O_3 яка надійно захищає його від корозії.

Сталими домішками алюмінію є залізо, кремній, мідь, магній, марганець, цинк, титан та ін. Домішки погіршують фізико-хімічні властивості і пластичність алюмінію, через що їхній вміст гранично обмежено. Залежно від сумарної частки домішок первинний алюміній поділяють на алюміній особливої, високої та технічної чистоти.

Алюміній особливої чистоти марок А999 містить 0,001% домішок, високої чистоти марок А995, А99, А97 і А95 – від 0,005 до 0,05% домішок, технічної чистоти марок А85, А8, А7, А7Е, А6, А5, А5Е і АО – від 0,15 до 1,0% домішок. Алюміній особливої чистоти застосовують для дослідних робіт, у напівпровідниковій і ядерній техніці.

У промисловості використовують переважно алюміній високої й технічної чистоти. З нього виготовляють головним чином сплави, а також електропроводи, кабелі, конденсатори та фольгу. Застосовувати алюміній як конструкційний матеріал недоцільно з огляду на його низьку міцність.

Таблиця 23.1. Марки та механічні властивості первинного алюмінію

Марка алюмінію	Алюміній, % не менше ніж	$\sigma_{0,2}$	σ_B	НВ	δ
		МПа			%
Алюміній особливої чистоти					
A999	99,999	-	40	150	-
Алюміній високої чистоти					
A995	99,995	-	-	-	-
A99	99,99	22	45	160	50
A97	99,97	-	-	-	-
A95	99,95	-	-	-	-
Алюміній технічної чистоти					
A85	99,85	-	-	-	-
A8	99,8	25	-	-	45
A7	99,7	50	60	180	38
A7E	99,7	-	-	-	-
A6	99,6	-	-	-	-
A5	99,5	60	70	200	30
A5E	99,5	-	-	-	-
A0	99,0	70	80	220	30

За обсягами світового виробництва серед кольорових металів друге місце після алюмінію належить міді. Вона широко використовується у чистому вигляді як провідниковий матеріал, а у вигляді сплавів - як конструкційний.

Мідь - метал рожево-червонуватого кольору, має елементарну кристалічну комірку гранецентрованого куба з параметром $a = 0,3608$ нм. Густина міді $\gamma = 8940$ кг/м³, температура плавлення $T_{пл} = 1083^\circ\text{C}$.

Порівняно з алюмінієм мідь характеризується вищими електро- та теплопровідністю, добрим опором корозії на повітрі, у прісній та морській воді, а також у багатьох хімічних середовищах. Вона легко обробляється тиском, добре паяється і зварюється, проте має невисокі ливарні властивості й погану оброблюваність різанням. За електро- й теплопровідністю мідь стоїть на другому місці після срібла. З огляду на низьку границю текучості й порівняно високу вартість мідь у конструкціях майже не застосовується.

Механічні й технологічні властивості міді помітно знижують шкідливі домішки - вісмут, свинець, сірка й кисень. Вісмут і свинець практично не розчиняються в міді й утворюють з нею легкоплавкі евтектики, які, розміщуючись на границях зерен, призводять до руйнування міді під час її гарячої обробки тиском. Тому масова частка вісмуту в міді не повинна перевищувати 0,002%, а свинцю - 0,005%. У свою чергу сірка й кисень погіршують пластичність міді, утворюючи на границях зерен крихкі евтектики.

Найбільш чисту мідь одержують електронно-променевою плавкою (ME - 99,995% Cu) і плавкою у вакуумі (MB - 99,99% Cu). У залежності від кількості домішок виплавляють мідь високої чистоти таких марок: M00 (99,99% Cu і 0,01% домішок), M0 (99,99% Cu), M0_б (99,97% Cu, б - означає безкиснева) і технічної чистоти: M1 (99,9% Cu), M2 (99,7% Cu), M3 (99,5% Cu), M4 (99%).

Для виготовлення більшості провідникових матеріалів використовують очищену мідь марок: ME, M00, M0, M1, MT, MM, MGT, MGM. Круглу мідну проволоку для проводів виготовляють двох марок: MT - мідний твердий і MM - мідний м'який. Прямокутна проволока випускається двох марок: MGT - мідний голий твердий і MGM - мідний голий м'який.

Важливо відмітити, що навіть незначна кількість домішок різко погіршує властивості чистої міді. Найбільш шкідливою домішкою в міді є кисень. Крім погіршення електропровідності кисень при відпалюванні виробів із чистої міді викликає розтріскування і втрату міцності, тому вміст кисню в міді гранично обмежено.

Найкращу електропровідність має безкиснева мідь.

Мідь вказаних вище марок використовують у вигляді прокату: проволоки різних діаметрів, шин, полос і прутків.

Прокат із міді поставляється або у відпаленому вигляді, або в нагартваному стані (після холодного деформування). Відпалена мідь характеризується такими властивостями: границя міцності на розрив $\sigma_b = 250 \dots 270$ МПа, відносне видовження $\delta = 40 \dots 50$ %, твердість НВ 30...45. Після холодного деформування ці властивості змінюються так: $\sigma_b = 400 \dots 430$ МПа, $\delta = 1 \dots 2$ %, НВ 100...120. Відпалена мідь має кращу електропровідність, нагартвана – більшу міцність. Відпалену мідь використовують для виготовлення намотувальних проводів, кабельних виробів; нагартвану мідь – для підвісних струмопровідних і контактних проводів, колекторних пластин.

Для виробів, від яких необхідна міцність більша за 400 МПа, використовують сплави міді. До найпоширеніших сплавів міді належать: *латуні* – сплави міді з цинком та *бронзи* – сплави міді з іншими (крім цинку) елементами.

Четверте місце у земній корі після алюмінію, заліза й магнію посідає *титан*. Завдяки своїй високій питомій міцності (σ_b / γ) жароміцності й корозійній тривкості титан знайшов широке застосування у провідних галузях промисловості.

Титан - метал сріблясто-білого кольору з малою густиною $\gamma = 4500$ кг/м³ і високою температурою плавлення $T_{пл} = 1668^\circ\text{C}$. Властивості титану суттєво залежать від його чистоти. Так, наприклад, чистоті титану (% Ті) 99,99; 99,8; 99,6; 99,5; 99,4 відповідає твердість (НВ) 100, 145, 165, 195, 225.

Титан має дві алотропічні модифікації: α -Ті (низькотемпературну) зі щільноукладеною гексагональною коміркою ($a = 0,2951$ нм і $c = 0,4684$ нм при 20°C) і β -Ті (виськотемпературну) з об'ємноцентрованою кубичною коміркою ($a = 0,3282$ нм при температурі 900°C). Температура переходу $\alpha \Leftrightarrow \beta$ дорівнює 882°C .

Титан легко обробляється тиском, добре з'єднується дуговим й контактним зварюванням, проте погано обробляється різанням. Міцність титану можна істотно підвищити пластичною деформацією (наклепом). Щоб зняти наклеп, використовують рекристалізаційне відпалювання при температурах $650 \dots 750^\circ\text{C}$.

На повітрі титан покривається щільною оксидною плівкою TiO_2 , яка робить хімічно активний титан відпирним до корозії в атмосфері, прісній і морській воді, в органічних і неорганічних кислотах.

Модуль пружності титану, що майже удвічі менший, ніж заліза, не дозволяє ефективно застосовувати титан для жорстких конструкцій. Навіть невелика кількість домішок кисню, азоту, а особливо водню й вуглецю істотно погіршує пластичність, хоч і підвищує міцність титану.

З підвищенням температури титан активно вбирає газу: починаючи від $50 \dots 70^\circ\text{C}$ - водень, від $400 \dots 500^\circ\text{C}$ - кисень, від $650 \dots 750^\circ\text{C}$ - азот, СО і CO_2 . Щоб захистити рідкий метал від шкідливої взаємодії з повітрям, його розплавляють, розливають й зварюють у вакуумі або інертних газах.

ПРОГРАМА ПІДГОТОВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Вивчити теоретичний матеріал за даним посібником та приведеними нижче літературними джерелами.
2. Зарисувати схему електролізера для виробництва алюмінію і описати, як в ньому проходить електроліз глинозему.
3. Зарисувати спрощену схему одержання міді із сульфідних руд пірометалургійним способом.
4. Зарисувати схему печі для обпалювання концентрату (при виробництві міді) в „киплячому” шарі та конвертера для одержання чорнової міді і пояснити суть процесів, що відбуваються в зазначених агрегатах.

ЗАВДАННЯ Й МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

Завдання 1. Вивчити теоретичні основи технології виробництва алюмінію.

Розглянути і записати в зошит:

- а) які матеріали є вихідними для виробництва алюмінію. В якому стані знаходиться в них алюміній?
- б) в чому суть одержання глинозему лужним способом?
- в) що таке кріоліт?
- г) Описати з якою метою і для чого проводять рафінування алюмінію.

Завдання 2. Вивчити теоретичні основи технології виробництва міді.

Розглянути і записати в зошит:

- а) які матеріали є вихідними для виробництва міді?
- б) в чому суть виробництва міді пірометалургійним і гідрометалургійним способами?
- в) суть способу збагачення мідних руд у флотаційній машині.
- г) для чого обпалюють мідний концентрат у повітряній атмосфері при температурі 750...850°C?
- д) що це таке штейн? Для чого і як його одержують?
- е) що це таке чорнова мідь? Для чого і як її одержують?
- є) для чого рафінують мідь?
- ж) у чому суть вогневого і електролітичного рафінування міді?

Завдання 3. Вивчити теоретичні основи технології виробництва титану.

Розглянути і записати в зошит:

- а) в чому суть добування губчастого титану;
- б) як одержують титан високої чистоти.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Охарактеризувати вихідні матеріали для виробництва алюмінію, міді і титану.
2. Які основні властивості алюмінію, міді і титану ви знаєте?
3. Як маркуються алюміній і мідь особливої, високої і технічної чистоти?
4. Охарактеризуйте технологію виробництва алюмінію, міді і титану.

Лабораторна робота № 24 ЛИВАРНЕ ВИРОБНИЦТВО

Мета: 1. Вивчити теоретичні основи одержання виливок різними способами.

2. Оволодіти практичними навичками одержання виливок в піщано-глинястих та металевих формах.

Обладнання, матеріали та інструменти

Муфельна піч, тиглі з металами, модельний комплект, суміш для виготовлення форми, графіт, формувальний інструмент, кокіль.

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Ливарне виробництво – це галузь машинобудування, що займається виготовленням деталей шляхом заливання розплавленого металу в спеціальну форму, порожнина якої відповідає конфігурації і розмірам деталі.

У машинобудуванні отримують виливки близькі за формою і розмірами до готової деталі (фасонне литво), а також виливки, призначені для подальшої обробки тиском (прокатки, кування, штампування) або механічної обробки на металорізальних верстатах (заготівельне литво) із різних металів і сплавів або пластмас.

Існує багато способів ливарного виробництва. Найбільш простим з них є лиття в піщано-глинясті форми. Цей спосіб полягає в тому, що перш ніж вилити ту або іншу деталь, із матеріалу, що легко оброблюється, виготовляють її модель, яка служить для утворення зовнішніх контурів виливки у формі.

Моделі виготовляють із деревини (сосна, дуб, вільха, береза, липа тощо) або металів (як правило, зі сплавів алюмінію і міді). При визначенні розмірів моделі враховують припуск на усадку виливки при її кристалізації і припуск на наступну механічну обробку виливки для одержання готової деталі.

За конструкцією моделі можуть бути рознімні і не рознімні. Перші складаються із двох, трьох і більше частин, їх застосовують там, де за умовами формування не можна використати не рознімні моделі. Отвори, порожнини або заглибини у виливках отримують за допомогою стержнів, які виготовляють у дерев'яних або металевих стержневих ящиках зі спеціальних стержневих сумішей.

Після того, як модель готова, приступають до виготовлення форми. Для виготовлення форм використовують різні природні матеріали, із яких виготовляють суміші, що називають формувальними.

Формувальна суміш призначена для виготовлення ливарної форми. Суміш складається із наповнювача (піску), в'язучої речовини (глини з водою) і протипригарних речовин. Головними властивостями формової суміші є пластичність, вогнетривкість, газопроникність, міцність і податливість.

Пісок є головним компонентом формових сумішей, який забезпечує їм газопроникність і податливість. Великі зерна піску хоч і зумовлюють добру газопроникність суміші, зате погіршують якість поверхні відливки. Очевидно, що дрібний пісок забезпечує гладку поверхню відливки, хоч зменшує газопроникність. Тому при виготовленні великих відливок, де потрібно забезпечити відведення значної кількості газів, до складу формувальної суміші вводять грубий пісок, а при виготовленні дрібних відливок, де гладкість поверхні має істотне значення, застосовують дрібний пісок. Головною складовою частиною формувального піску є кварц (SiO_2) кількістю 90...97%. Температура плавлення кварцу становить 1710°C . Під дією нерівномірного нагрівання зерна піску руйнуються, в результаті чого формувальна суміш засмічується порошкоподібною фракцією. До домішок формувального піску належать слюда, польовий шпат, оксиди заліза, оксиди лужних (Na_2O , K_2O) і лужноземельних металів (MgO , CaO). Домішки зменшують вогнетривкість суміші.

З метою підвищення вогнетривкості сумішей, призначених для сталевих і чавунних відливок, в їх склад доцільно вводити хромистий залізняк ($\text{FeO}\cdot\text{Cr}_2\text{O}_3$) з температурою плавлення $t_{пл} \sim 1850^\circ\text{C}$, циркон ZrSiO_4 ($t_{пл} \sim 2000^\circ\text{C}$), магнезит MgO ($t_{пл} \sim 2800^\circ\text{C}$).

Глина складається з дрібних лускоподібних частинок каоліну ($\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$) розміром до 0,02 мм. Змочена водою глина утворює на поверхні зерен піску тонку клейку плівку, завдяки чому ці зерна з'єднуються між собою, а крізь пори між зернами виходять гази. Кількість глини у формувальній суміші не перевищує 8...12% за об'ємом, а кількість води - 4...5%.

Для виготовлення високоякісних ливарних форм застосовують бентонітову глину, основу якої становить монтморилоніт ($\text{AlO}_3\cdot 4\text{SiO}_2\cdot n\text{H}_2\text{O}$).

Протипригарні речовини запобігають утворенню пригару на поверхні відливки. *Пригар* є твердою і міцною оболонкою, що виникає в результаті сплавлення металу з матеріалом форми або проникнення металу в пори форми на певну глибину. Згадана оболонка часто псує товарний вигляд відливки, а при обробці різанням стає причиною інтенсивного спрацьовування інструменту. Щоб захистити відливку від утворення пригару, поверхню порожнини форми покривають тонким шаром протипригарного матеріалу у

вигляді порошку або суспензії. Одні з протипригарних речовин (кам'яновугільний порошок, мазут) згоряють при дотику з металом, а утворені гази (CO, CO₂) захищають форму від сплавлення з металом, а також заважають виникненню оксидів заліза. Наявність останніх є причиною утворення із кремнеземом (SiO₂) сполуки 2FeO•SiO₂, що легко плавиться. Інші порошкоподібні речовини (кварц, циркон, магнезит, графіт) заповнюють пори на робочій поверхні форми і цим заважають проникненню металу в глибину форми.

До складу протипригарних суспензій входять вогнетривкі порошки (магнезит, циркон, маршаліт, електрокорунд Al₂O₃) і в'язуча речовина (патока, сульфідна барда, декстрин, рідке скло, смоли).

Стержневі суміші. Стержнева суміш служить для виготовлення стержнів, які перебувають у важчих робочих умовах, ніж форма, оскільки практично вся їхня поверхня оточена розплавленим металом. Під дією високої температури металу в стержні вигорять органічні складові, а під час охолодження відливки він зазнає стискаючих зусиль за рахунок усадки металу. Ось чому стержень у порівнянні з формою повинен мати вищу міцність, газопроникність, податливість і вогнетривкість. Водночас опір руйнуванню стержня під час вибивання з відливки має бути незначним.

Головними складовими частинами стержневих сумішей є пісок і в'язуча речовина (синтетична смола, рідке скло, природна смола, декстрин, сульфідно-спиртова барда, сульфідний шелак, цемент, рослинна або мінеральна олії тощо). Для захисту відливки від пригару поверхню стрижня покривають тонким шаром протипригарного матеріалу.

Головною і найбільш складною операцією, від якої в значній мірі залежить якість виливки, є виготовлення ливарної форми. В залежності від призначення і матеріалу, з якого виготовлені форми, вони поділяються на такі: *разові форми* – служать тільки для виготовлення однієї виливки. При вибивці виливок вони руйнуються; *напівпостійні форми* – використовуються для виготовлення середніх і крупних виливок простої конфігурації. Ці форми витримують від 30 до 50 виливок з незначним проміжним ремонтом; *постійні форми* – використовуються в серійному і масовому виробництві. Вони виготовляються з чавуну або сталі.

ПРОГРАМА ПІДГОТОВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Вивчити теоретичний матеріал за даним посібником та іншими літературними джерелами.
2. Виконати письмово такі завдання:
 - а) зарисувати схему технологічного процесу виготовлення виливки ручним формуванням у двох опоках;
 - б) записати, які основні матеріали застосовуються для виготовлення піщано-глинястих форм і дати їх коротку характеристику. Зазначити, які бувають види формувальних сумішей за характером використання.

ЗАВДАННЯ Й МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

Завдання 1. *Виготовити виливку способом лиття в піщано-глинясті форми.*

1. Ввімкнути муфельну піч і розмістити в ній для нагрівання тигель з металом.
2. Підготувати необхідне обладнання і суміш для формування.
3. Виготовити піщано-глинясту форму.
4. Вилити розплавлений метал у виготовлену форму та одержати виливку.

Завдання 2. *Виготовити виливку в металевій формі.*

1. Підігріти металеві форми (кокілі) до температури 150-200° і нанести на їх внутрішню поверхню вогнетривку фарбу.
2. Розплавити метал (сплав ПАМ10-4). Залити сплав у кокілі, що мають температуру

20, 100, 150, 200, 250, 300°C (температура сплаву перед заливанням 420°C).

3. Вийняти виливки з кокілів після їх охолодження.
4. Проаналізувати зовнішній вигляд виливок, встановити наявність зовнішніх ливарних дефектів. Порівняти з еталонами і визначити шорсткість поверхні виливок.
5. Зробити висновок про вплив температури кокіля на якість поверхні виливок і заповнення форми.

Завдання 3. Вивчити теоретичні основи спеціальних способів ливарного виробництва (лиття в оболонкові форми; за моделями, що виплавляються; в кокіль; під тиском: відцентрове). Коротко описати суть кожного виду лиття, основне обладнання, переваги та недоліки.

ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

1. Виготовлення форм проводити тільки в приміщенні, де є проточно-витяжна вентиляція.
2. Для запобігання опіків дотримуйтеся крайніх мір безпеки при роботі з розплавленим металом і муфельною пічкою.
3. Заливання розплавленого металу у форми проводити тільки в присутності викладача.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що називається ливарним виробництвом? Заготівельним і фасонним литвом? Опкою? Призначення ливарного виробництва.
2. Охарактеризувати технологію виготовлення виливків у піщано-глинястих формах, переваги і недоліки способу.
3. Охарактеризувати основні матеріали, що застосовуються для виготовлення піщано-глинястих форм і дати їх коротку характеристику. Зазначити, які бувають види формувальних сумішей за характером використання.
4. Охарактеризувати ливарні властивості сплавів.
5. Охарактеризуйте спеціальні способи ливарного виробництва, їхні переваги і недоліки.
6. Охарактеризувати дефекти ливарного виробництва. Причини їх виникнення.

Лабораторна робота № 25 РУЧНЕ ЕЛЕКТРОДУГОВЕ ЗВАРЮВАННЯ СТАЛЕЙ

Мета: Вивчити технологію ручного електродугового зварювання металів і оволодіти елементарними навиками ручного електродугового зварювання.

Обладнання, матеріали та інструменти

Випрямляч зварювальний селеновий моделі ВСС 300-3, зварювальний пост, електроди, набір заготовок із листової сталі різної товщини, метрична лінійка.

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Ручне електродугове зварювання належить до високопродуктивних, надійних і економічно вигідних технологічних процесів. Цей метод широко застосовується для створення нерозбірних з'єднань переважно в металевих матеріалах за рахунок сил міжатомної взаємодії. Щоб реалізувати таку взаємодію, необхідно наблизити атоми країв заготовок до відстаней, рівних параметру кристалічної комірки.

Суть методу полягає в тому, що за допомогою тепла зварювальної дуги поступово розплавляються електрод і краї зварюваних заготовок, а рідкий метал щільно заповнює простір між цими заготовками, утворюючи зварювальну ванну. В міру віддалення і затухання дуги метал ванни кристалізується і утворює зварний шов. Безперервне переміщення електрода до заготовок і вздовж майбутнього шва під час ручного електродугового зварювання виконується від руки.

Зварювальною дугою називається потужний і тривалий електричний розряд, що відбувається у середовищі іонізованих газів і парів металу між електродами, що знаходяться під напругою. У звичайних умовах повітря складається із нейтральних молекул, через що воно не є провідником електричного струму. Щоб повітря у дуговому проміжку стало електропровідним необхідно його іонізувати з цією метою на короткий час дотикаються електродом до заготовки, а далі віддаляють його на відстань довжини дуги. Під час дотику між електродом і заготовкою відбувається коротке замикання зварювального кола, струм якого розплавляє і випаровує метал контактних поверхонь. Після відриву електрода з нагрітого катода починається емісія електронів. Останні, зіштовхуючись з молекулами повітря і парами металу, іонізують їх. Під дією електричного поля позитивно заряджені іони з великою швидкістю рухаються до катода, а електрони та негативно заряджені іони - до анода. Під час зіткнення з електродом і заготовкою кінетична енергія заряджених частинок перетворюється у теплову. В результаті у просторі, заповненому іонізованими парами і газами, під дією напруги джерела виникає зварювальна дуга. Температура в зоні дуги становить 6000...7000°C.

Для електродугового зварювання використовують постійний і змінний струм.

Постійний струм має деякі переваги, зокрема більш високу стабільність дуги порівняно з дугою змінного струму. У тих випадках, коли стабільність дуги має помітний вплив на якість зварювання або на можливість зварювання, рекомендується використовувати джерела постійного струму.

На рис. 25.1 схематично зображена дуга, що живиться постійним струмом. Дуга, що горить між катодом (електродом) **1** і анодом **2**, має катодну область **3**, стовп **4** і анодну область **5**. Протяжність катодної і анодної областей дуже мала, більшу частину дуги складає стовп.

Напруга дуги, тобто різниця потенціалів між катодом і анодом, залежить від довжини дуги і сили струму, а також від матеріалу і розмірів електродів, складу і тиску плазми стовпа дуги. При незмінній силі струму напруга дуги U_d залежить від її довжини l_d :

$$U_d = a + blc_d,$$

де a — сума падіння напруги в катодній і анодній областях дуги; b — напруга стовпа дуги; для сталевих електродів $a = 8...25$ В, $b = 2,34...4,3$ В/мм.

При виборі джерела живлення вирішальне значення має характер залежності між напругою і струмом дуги.

Графічне зображення залежності напруги дуги від струму називають статичною вольт-амперною характеристикою, або статичною характеристикою дуги. Як видно з рис. 25,2, статична характеристика зварювальної дуги при постійних діаметрі електроду і довжині дуги складається з трьох ділянок: падаючої **I**, жорсткої **II**, що зростає **III**. Залежно від умов існування зварювальної дуги їй відповідає та або інша ділянка статичної характеристики. Так, при ручному зварюванні статична характеристика дуги — падаюча з переходом до

жорсткої. При автоматичному зварюванні під флюсом і у вуглекислому газі характеристика дуги — жорстка з переходом до тієї, що зростає.

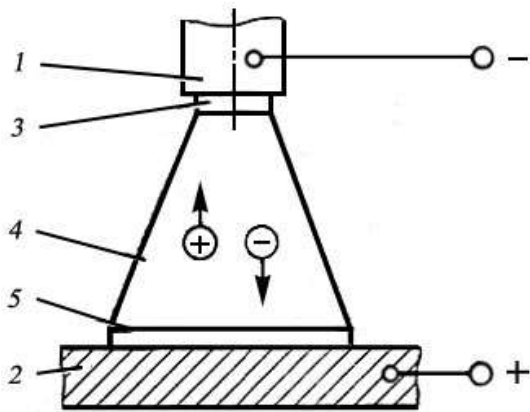


Рис. 25.1. Зварювальна дуга постійного струму

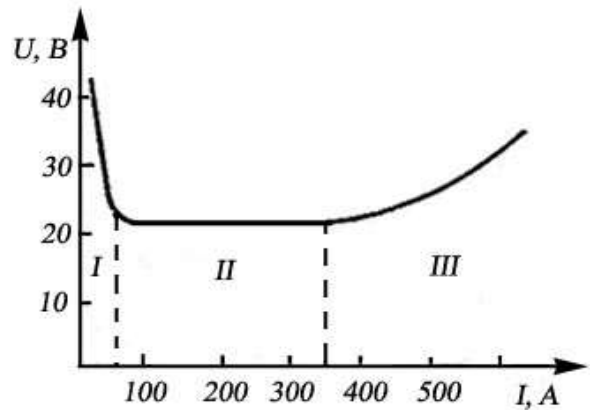


Рис. 25.2. Статична характеристика зварювальної дуги

Збудження дуги відбувається тим легше, чим вища напруга холостого ходу джерела. Напруга, яка потрібна для запалювання дуги, у випадку постійного струму повинна перевищувати 30...35 В, а у випадку змінного струму - 50...55 В. За умовами безпеки напруга холостого ходу джерел змінного струму не переважає 80 В, джерел постійного струму – 90 В.

У зв'язку з цим джерело живлення зварювальної дуги повинне задовольняти певним вимогам: забезпечувати надійне збудження дуги, підтримувати її стійке горіння, сприяти сприятливому перенесенню електродного металу і формуванню зварного шва, а також забезпечувати можливість налаштування необхідного режиму зварювання.

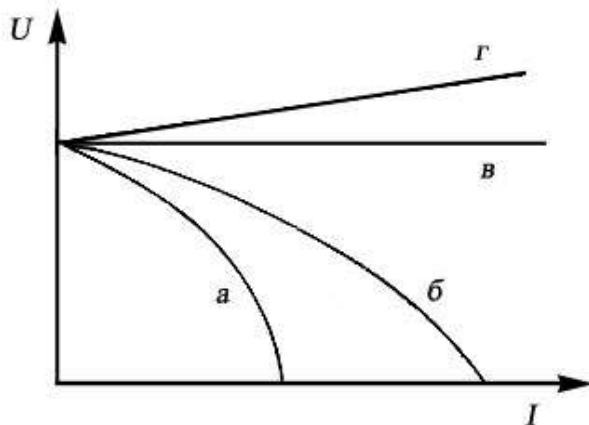


Рис. 25.3. Зовнішні характеристики джерел живлення

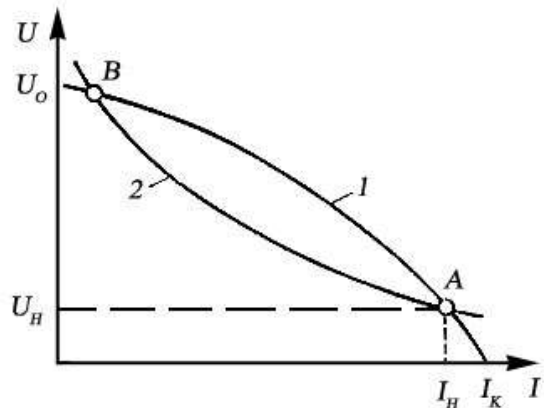


Рис. 25.4. Робота джерела під навантаженням

Електричні властивості джерела живлення зварювальної дуги при роботі в статичному режимі виражаються його зовнішньою характеристикою. Зовнішньою характеристикою джерела живлення називають залежність між напругою на його затискачах (клемах) і струмом, що протікає через зварювальне коло при навантаженні. Зовнішня вольт-амперна характеристика може бути крутопадаючою (а), пологопадаючою (б), жорсткою (в) і такою, що зростає (г) (рис. 25.3).

Особливістю електродугового зварювання є короткі замикання, які відбуваються як при запалюванні дуги, так і при перенесенні металу із електрода на виріб у вигляді крапель (30...40 крапель/с). В результаті напруга дуги під час коротких замикань спадає майже до нуля, а величина струму дуже зростає. Для обмеження величини струму короткого

замикання необхідно, щоб джерело зварювального струму мало спадну зовнішню характеристику.

Важливими параметрами джерела живлення є його напруга холостого ходу U_0 , струм короткого замикання I_k , номінальна напруга U_n і струм I_n (25. 4).

Стійке горіння дуги забезпечується правильним вибором зовнішньої характеристики джерела живлення (див. рис. 25. 4). Наприклад, при падаючій статичній характеристиці 2 дуги джерело живлення повинне мати ще більш круто спадаючу зовнішню характеристику 7. Як видно з рис. 25.4, рівність струмів і напруги дуги і джерела в цьому випадку має місце в точках *A* і *B*. Із них лише точка *A* відповідає стійкому горінню дуги. Якщо з якоїсь причини струм знизиться, то напруга джерела стане більше напруги дуги, і цей надлишок приведе до збільшення струму, тобто до повернення в точку *A*. Якщо ж струм збільшиться, то напруга джерела стане менше напруги дуги, тому струм зменшиться і режим горіння відновиться. Тим самим підтримується постійний режим зварювання і стійке горіння дуги.

У точці *B* дуга стійко горіти не буде, оскільки всяка випадкова зміна струму розвивається аж до обриву дуги або до тих пір, поки струм не досягне значення, відповідного точці стійкого горіння дуги *A*. Отже, стійке горіння дуги підтримується лише в тій точці, де зовнішня характеристика джерела живлення є більш круто падаючою, ніж статична характеристика дуги.

При жорсткій статичній характеристиці дуги зовнішня характеристика джерела живлення може бути і круто- і пологопадаючою. При зростаючій статичній характеристиці дуги застосовують джерела із жорсткими зовнішніми характеристиками.

До джерел змінного струму пред'являють спеціальні вимоги, пов'язані із зниженою стійкістю дуги змінного струму. При частоті 50 Гц напруга джерела протягом секунди 100 разів знижується до нуля, при цьому дуга згасає. Після кожного такого згасання дуга може збудитися лише при підвищеній напрузі, так званій напрузі повторного збудження. Якщо напруга джерела недостатньо велика, повторного збудження може не відбутися і в горінні дуги наступають значні перерви. Для надійного повторного збудження дуги змінного струму необхідно збільшувати зварювальний струм і напругу холостого ходу джерела, а також застосовувати джерела з великою індуктивністю.

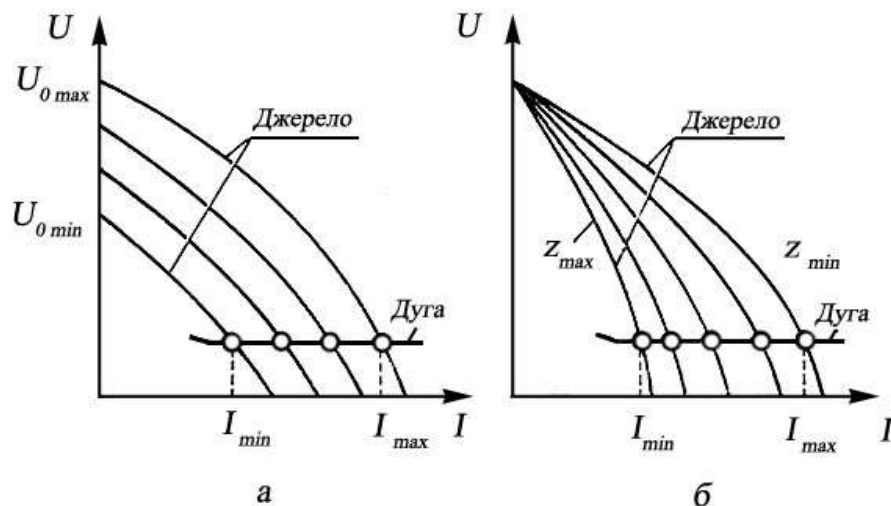


Рис. 25.5. Характеристики джерела при різних режимах

Перенесення електродного металу у ванну без сильного розбризування і пов'язане з цим хороше формування зварного шва залежать від багатьох чинників, зокрема від властивостей джерела.

Швидке наростання струму короткого замикання при дотику ванни краплею електродного металу призводить до вибуху краплі, її розбризування і погіршення форми шва. Для зменшення розбризування в зварювальне коло послідовно з дугою включають

дросель, що має великий індуктивний опір, або застосовують джерела із крутопадаючою характеристикою, завдяки чому знижується струм короткого замикання.

Регулюють силу зварювального струму за допомогою джерела. Всі можливі способи регулювання струму можна звести до двох: зміни напруги холостого ходу U_0 і опору Z джерела. Якщо збільшити напругу холостого ходу джерела (рис. 25.5, а), то її характеристика зміститься вправо і перетнеться із характеристикою дуги при великих струмах. Якщо збільшити опір джерела, що відповідає зміщенню його характеристики вліво (рис. 25.5, б), то енергія, що віддається джерелом дузі, зменшується, і струм знизиться. При автоматичному зварюванні за допомогою джерела регулюють напругу дуги, сила струму в цьому випадку задається в автоматі швидкістю подачі електродного дроту. Згідно стандарту $I_{зв} = 30 \dots 130\% I_{ном}$.

При ручному зварюванні покритими електродами використовують джерела живлення постійного і змінного струму з крутопадаючими зовнішніми характеристиками (див. рис. 25.4). Завдяки підвищеній напрузі холостого ходу забезпечується надійне первинне і повторне збудження дуги.

При поєднанні крутопадаючої характеристики джерела з пологопадаючою або жорсткою характеристикою дуги виконується і умова стійкості дуги. Оскільки на робочій ділянці (біля точки А) характеристика джерела близька до вертикальної, то при збільшенні довжини дуги і її напруги зварювальний струм зменшується мало. Отже, таке джерело забезпечує високу стійкість горіння дуги при коливаннях її довжини — *еластичність дуги*. З цієї ж причини гарантується стабільність режиму зварювання, оскільки на постійному рівні підтримується сила струму. При круто падаючій зовнішній характеристиці струм короткого замикання порівняно невеликий, тому розбризкування електродного металу при краплинному перенесенні незначне. Джерело для ручного зварювання має також регулятор струму.

Практика зварювання

Пост зварювальника - це робоче місце для ручного електродугового зварювання у вигляді окремої kabіни, до якої підведений гнучкий кабель із електродотримачем від джерела зварювального струму. Кабіна обладнана робочим столом, допоміжним інструментом (молоток, зубило, металева щітка), вентиляцією.

Електричну дугу запалюють шляхом дотикання кінця електрода до зварюваного матеріалу з подальшим відривом електрода на відстань 3...4 мм. В міру розплавлення електрода його переміщують вздовж осі та вздовж майбутнього шва. Під час зварювання тонких листів шов накладають у вигляді вузького валика шириною 0.8...1.5 мм від діаметра електрода У випадку зварювання товстого листа виконують більш широкі валики за рахунок поперечних коливних рухів, які поліпшують нагрівання країв шва стримують швидке остигання ванни розтопленого металу, усувають непровари та забезпечують отримання однорідного шва.

Шов виконують за один або декілька переходів залежно від товщини зварюваного металу. Товщина зварювання за один перехід становить 0,8...1,2 від діаметра електрода. У випадку багатопарового зварювання шов після кожного переходу ретельно зачищають від шлаку, що утворився з електродного покриття.

ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

1. Виконання практичної роботи проводити тільки в присутності викладача. Категорично забороняється самостійно під'єднувати обладнання до електромережі.

2. Для запобігання враження електричним струмом необхідно, щоб струмопідвідні частини електричного кола, що знаходяться під напругою, були надійно ізольовані, а корпуси зварювального обладнання – заземлені.

3. Зварювальні роботи у вологих місцях дозволяється проводити тільки у гумовому взутті і гумових рукавицях або брезентових рукавицях, в сухому спецодязі.

4. Забороняється дотикатися незахищеними руками до струмопровідних частин.

5. Якщо при дотику до частин зварювального обладнання, що не є струмопровідними, виявляється напруга, необхідно негайно припинити зварювання і повідомити про це викладача.

6. При враженні струмом потерпілому потрібно надати негайну допомогу – перш за все необхідно відділити його від електричного кола. Особи, що надають допомогу повинні бути в гумових рукавицях і надійно ізольовані від землі. Якщо потерпілий втратив свідомість потрібно негайно викликати лікаря і до його прибуття робити штучне дихання.

7. Для захисту очей від променів електричної дуги необхідно користуватися маскою із спеціальним захисним склом, що не пропускає ультрафіолетові промені.

8. Для охорони людей, що працюють поряд, від дії променів зварювальної дуги місця зварювання відгородити щитами, ширмами або кабінами з фанери і брезенту висотою 1,8 м.

9. Перед запалюванням дуги необхідно попередити оточуючих словами “бережи очі”.

10. При враженні очей слід негайно звернутися на медичний пункт. До огляду лікаря можна промити очі слабким содовим розчином.

ПРОГРАМА ПІДГОТОВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Вивчити правила безпеки, яких необхідно дотримуватись при зварювальних роботах.

2. Вивчити теоретичний матеріал за даним посібником та нижче приведеними літературними джерелами.

3. Описати:

а) фізичну суть процесу зварювання (зварювання плавленням і тиском);

б) суть і технологію ручного електродугового зварювання;

в) основні металургійні процеси при дуговому зварюванні;

г) джерела зварювального струму. Вимоги до джерел живлення для ручного дугового зварювання. Способи регулювання струму в зварювальному трансформаторі;

д) сталі покриті електроди для зварювання. Речовини, що входять до складу покриття електродів? Їх призначення;

ЗАВДАННЯ Й МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

1. Старанно зачистити краї зварюваних пластин від окалини, іржі та бруду і скласти їх за вказівкою викладача.

2. Виміряти товщину пластин і визначити діаметр необхідного електрода.

3. Визначити силу зварювального струму і довжину дуги.

4. Налаштувати зварювальний випрямляч на розраховану величину зварювального струму.

5. Ввімкнути живлення електрода, запалити дугу і виконати зварювання шва.

6. Візуально проконтролювати якість отриманого шва (валика). *Валиком* називається смужка наплавленого металу. Зубилом зрубайте валик і проконтролюйте якість проварювання.

7. У випадку стикового шва затиснути одну зі зварених пластин у губках лещат і ударами молота по іншій пластині зруйнувати шов. За виглядом зламу оцінити якість шва. Якщо якість шва нормальна, то руйнування повинно здійснитись у середній площині шва. Відрив шва від однієї з пластин засвідчує існування непровару.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Охарактеризувати фізичну суть процесу зварювання.
2. Охарактеризувати зварювальну дугу .
3. Охарактеризувати джерела живлення зварювальної дуги. Вимоги до джерел живлення для ручного дугового зварювання. Способи регулювання струму в зварювальному трансформаторі;
4. Охарактеризувати зовнішню характеристику джерела живлення зварювальної дуги?
5. Охарактеризувати принцип роботи зварювального випрямляча.
6. Охарактеризувати технологію ручного електродугового зварювання.
7. Охарактеризувати електроди для ручного електродугового зварювання. Які речовини входять до складу покриття електродів, їхнє призначення?
8. Що називається режимом електродугового зварювання і як визначають величини його параметрів?

Лабораторна робота № 26 ТОЧКОВЕ ЕЛЕКТРОКОНТАКТНЕ ЗВАРЮВАННЯ СТАЛЕЙ

Мета: Вивчити суть процесу електроконтактного точкового зварювання; ознайомитись з методикою вибору режиму точкового зварювання; набути практичних навиків при електроконтактному точковому зварюванні листових вуглецевих сталей.

Обладнання, матеріали та інструменти

Машина для точкового зварювання контактного типу АТП - 10, листові заготовки із низьковуглецевої сталі, штангенциркуль, дротяна щітка

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Точкове електроконтактне зварювання служить для нерозбірного з'єднання листових заготовок товщиною 0,5...5 мм із низьколегованих (вуглецевих) і легованих сталей, сплавів міді та алюмінію у тих випадках, коли забезпечення щільності між заготовками не обов'язкове. Точкове зварювання є одним із високопродуктивних і механізованих методів, який не вимагає застосування присадного матеріалу та флюсу.

Суть методу полягає в тому, що метал заготовок **1** і **2** (рис. 26.1), затиснутих між електродами **3** і **5** двома однаковими і протилежно спрямованими силами **F**, нагрівається в місці контакту заготовок електричним струмом до часткового розплавлення, остигає після вимикання струму, утворюючи зварну точку **4**. Кількість тепла, що виділяється у зварюваних заготовках під час проходження через них електричного струму, визначають за законом Джоуля-Ленца

$$Q = I^2 R t, \text{ Дж}, \quad (1)$$

де **I** - сила зварювального струму, А; **R** - опір ділянки електричного кола між електродами, Ом; **t** - час проходження струму, с.

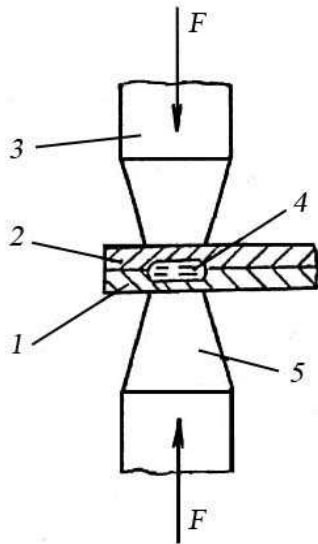


Рис. 26.1. Схема точкового електроконтактного зварювання: 1, 2 - заготовка; 3, 5 - електрод; 4 - зварна точка; F - зовнішня сила

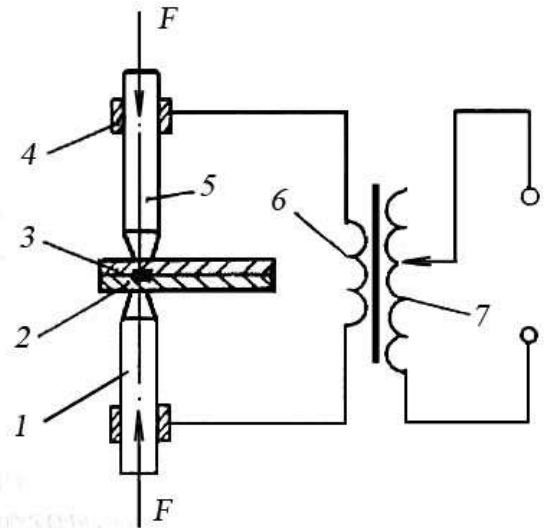


Рис. 26.2. Схема установки для точкового електроконтактного зварювання: 1, 5 - електрод; 2, 3 - зварювана заготовка; 4 - електродотримач; 6 - вторинна і 7 - первинна обмотки трансформатора; F - зовнішня сила

Із формули (1) видно, що необхідна для часткового розплавлення металу кількість тепла буде виділятися лише у випадку значної сили струму (сотні й тисячі ампер) і достатньо великого опору матеріалу заготовок. Оскільки місце контакту заготовок має найбільший опір, зумовлений не повним приляганням контактуючих поверхонь, їх забрудненням і наявністю поверхневих оксидів, то воно нагрівається найсильніше.

Схема установки для точкового електроконтактного зварювання. Під час точкового зварювання заготовки 2 і 3 (рис. 26.2) стискаються зовнішніми силами F між електродами 1 і 5, закріпленими в електродотримачах 4. Первинна обмотка 7 трансформатора живиться від силової мережі. Після досягнення щільного контакту до електродів подають струм від вторинної обмотки 6 трансформатора протягом часу, необхідного для виникнення у місці контакту заготовок частково розплавленого ядра металу.

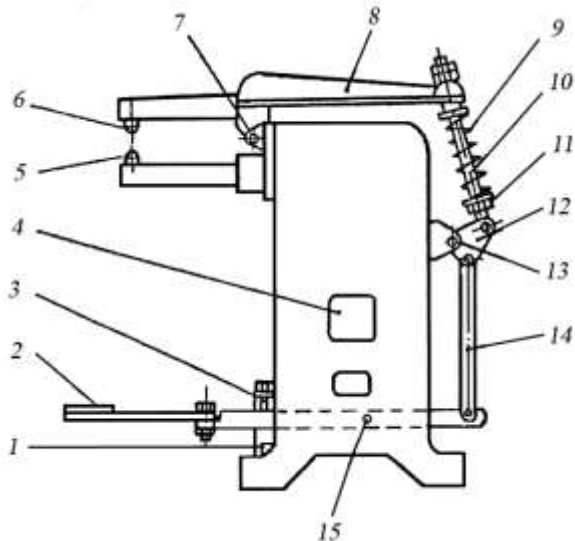


Рис. 26.3. Машина АТП - 10 для точкового електроконтактного зварювання: 1, 3 - упор; 2 - педаль; 4 - кожух захисний; 5 - електрод нижній; 6 - електрод верхній; 7, 13, 15 - вісь; 8 - важіль; 9 - пружина; 10 - шток верхній; 11 - гайка; 12 - сектор; 14 - шток нижній

Машина для точкового електроконтактного зварювання. Машина типу АТП - 10 (потужністю 10 кВт) призначена для точкового електроконтактного зварювання заготовок із низьковуглецевих сталей сумарною товщиною до 4 мм.

Попередньо заготовки складають внакладку, ставлять на нерухомий нижній електрод 5 (рис. 26.3) і ногою натискають на педаль 2. Педаль за допомогою нижнього штока 14

повертає сектор **12** навколо осі **13**, в результаті чого верхній шток тисне на пружину **9**, яка повертає важіль **8** з верхнім електродом **6** відносно осі **7** проти стрілки годинника. Пружина передає тиск на заготовки.

Попередній натяг пружини регулюють гайкою **11** при фіксованому за допомогою упора **3** верхньому положенні педалі. Одночасно від верхнього штока **10** приводиться в дію механізм (на рисунку не показаний), який замикає контакти первинної обмотки трансформатора. Після деякого часу τ , необхідного для нагрівання заготовок, збільшують тиск на педаль, у результаті чого вона доходить до упору **1** і контакторний механізм розмикає електричне коло первинної обмотки трансформатора. Під час відпускання педалі тиск із заготовок знімається. Пружинно-важільний механізм забезпечує необхідне постійне зусилля на електродах.

Силу зварювального струму можна змінювати ступінчасто шляхом вмикання у мережу необхідного числа витків первинної обмотки трансформатора. Клеми для перемикачів є під захисним кожухом **4**. У первинній обмотці маємо такі сходинки перемикачів (табл. 26.1):

Таблиця 26.1

Сходинки	1	2	3	4	5	6	7	8
Вторинна напруга U_2 , В	1.5	1.7	1.8	1.9	2.1	2.3	2.6	2.9

Режим зварювання характеризується такими параметрами як діаметр контактної поверхні електроду, густина струму, питомий тиск на електроди та час проходження струму.

Діаметр контактної поверхні електроду d залежить від сумарної товщини t , мм в зварюваних заготовках і визначається за формулою

$$d = (1,5...2,0) t + 3, \text{ мм.} \quad (2)$$

Густина струму для зварювання вуглецевих і низьколегованих сталей при м'яких (порівняно тривалих) режимах становить $j = 80...160$ А/мм². За величинами j і d можна знайти силу зварювального струму у вторинній обмотці трансформатора за формулою

$$I_2 = j \pi d^2 / 4, \text{ А.} \quad (3)$$

Питомий тиск електродів ρ вибирають в межах $\rho = 15...50$ МПа. За величиною τ визначають зовнішню силу F :

$$F = \rho \pi d^2 / 4, \text{ Н.} \quad (4)$$

Час проходження струму – $\tau = 0.5...3$ с.

ПРОГРАМА ПІДГОТОВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Вивчити теоретичний матеріал за даним посібником та нижче приведеними літературними джерелами.
2. Зарисувати схему точкового електроконтактного зварювання і схему установки для точкового електроконтактного зварювання та пояснити їх.
3. Описати:
 - а) фізичну суть процесу зварювання (зварювання плавленням і тиском);
 - б) суть і технологію ручного електродугового зварювання;
 - в) основні металургійні процеси при дуговому зварюванні;
 - г) джерела зварювального струму. Вимоги до джерел живлення для ручного дугового зварювання. Способи регулювання струму в зварювальному трансформаторі;
 - д) сталі покриті електроди для зварювання. Речовини, що входять до складу покриття електродів? Їхнє призначення;

ЗАВДАННЯ Й МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

1. Зачистити дротяною щіткою контактні поверхні зразків, після чого протерти їх сухою чистою ганчіркою.
2. За допомогою штангенциркуля виміряти сумарну товщину заготовок t .
3. Визначити за формулою (2) діаметр контактної поверхні електроду і закріпити в електродотримачах машини електрод необхідного діаметра.
4. За формулою (3) знайти силу зварювального струму I_2 . При цьому величина I_2 не повинна перевищувати значення струму короткого замикання $I_{ка}$, машини ($I_{ка} = 6300$ А).
5. При вимкненому рубильнику скласти внакладку зварювані заготовки і вибрати місце для зварювання, користуючись рекомендаціями, наведеними вище.
6. Надіти на очі захисні сині окуляри, ввімкнути рубильник і натиснути на педаль машини. Після дотику рухомого електроду до заготовки хід педалі вниз не повинен перевищувати 15...20 мм. Витримати педаль у такому положенні до виникнення на заготовках в зоні електродів блідо-рожевого кольору. Виміряти секундоміром час τ , протягом якого нагрівались заготовки.
7. Дотиснути педаль до упора і тримати її в нижньому положенні до зникнення червоного кольору на поверхні заготовок.
8. Вимкнути рубильник, відпустивши педаль, і зняти зварені заготовки.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Охарактеризувати основні способи контактного зварювання.
2. Охарактеризувати машини для контактного зварювання.
3. Охарактеризувати точкове і шовне зварювання.
4. Охарактеризувати стикове зварювання.
5. Охарактеризувати схему точкового електроконтактного зварювання і схему установки для точкового електроконтактного зварювання.
6. Охарактеризувати будову та принцип дії машини АТП - 10 для точкового електроконтактного зварювання.
7. Що таке режим точкового зварювання і як вибирають величини його параметрів?

Лабораторна робота № 27 ПАЯННЯ ТА ЛУДІННЯ МЕТАЛІВ

- Мета:**
1. Вивчити фізичну суть процесів паяння та лудіння.
 2. Вивчити технологію паяння та лудіння.
 3. Навчитися проводити паяння та лудіння простих виробів.

Обладнання, матеріали та інструменти

Паяльники, шабери для зачистки, волосяні щіточки для змащування швів кислотою, легкоплавкий і тугоплавкий припій, флюси – хлористий цинк, нашатир, каніфоль; заготовки деталей для паяння: ацетон, бензин, 5% розчин кальценованої соди для промивання швів; пристрій для нагріву зони з'єднання при паянні тугоплавкими припоями.

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Паяння металів, як і зварювання, широко застосовується у різних галузях людської діяльності для отримання нероз'ємних з'єднань. У машинобудуванні його використовують при виготовленні лопаток і дисків турбін, трубопроводів, радіаторів, рам велосипедів, посудин промислового призначення, газової апаратури тощо. В електропромисловості та

приладобудуванні паяння є в ряді випадків єдино можливим методом з'єднання деталей. Його застосовують при виготовленні електро- і радіоапаратури, телевізорів, деталей електромашин, плавких запобіжників тощо.

Паяти можна вуглецеві і леговані сталі всіх марок, тверді сплави, ковкі і сірі чавуни, кольорові метали та їх сплави, а також різномірні матеріали. В умовах школи найчастіше доводиться паяти мідь, латунь та білу жерсть, звичайно, коли виготовляють або лагодять фізичні прилади.

Паянням називається технологічний процес з'єднання нагрітих (нижче температури їх автономного плавлення) металевих деталей за допомогою припою - спеціального сплаву, температура плавлення якого нижча, ніж основного металу (основний метал - це метал, який паяють). У результаті взаємного розчинення та дифузії припою і основного металу під час твердіння припою частини деталі з'єднуються в одне ціле. Для надійного з'єднання потрібно, щоб припій змочував поверхні кромки, які з'єднують. Добре змочуються тільки поверхні, ретельно очищені від бруду і окислів. Для усунення плівок окислів з поверхні матеріалу, що паяється, і припою та для запобігання їх утворенню при пайці використовують паяльні флюси. Флюси, крім того, сприяють кращому затіканню припою в щілину між з'єднуваними деталями. Деякі припої, які містять енергійні розкислювачі (бор, кремній, барій, лужні метали та ін.), можуть самі виконувати роль флюсів, переводячи в шлак окисні плівки. Такі припої називаються самофлюсуючими.

Історично першим є спосіб паяння легкоплавкими олов'яно-свинцевими припоями за допомогою паяльника. Цей спосіб паяння широко використовують до цього часу, головним чином для з'єднання провідників і забезпечення електричного контакту у радіоприладобудуванні і електротехнічній промисловості. Механічна міцність з'єднань, отриманих цим способом, не значна. Тому в конструкціях, що працюють під навантаженням, його використовують переважно тільки для герметизації з'єднань, одержаних іншими способами. Паяння паяльником знайоме кожному. Часто знання про паяння тільки цим і обмежуються і робиться висновок про непридатність паяння у виготовленні важко навантажених відповідальних з'єднань. Ця точка зору давно уже не відповідає дійсності. Сучасне паяння – це група технологічних процесів, які дозволяють з'єднувати практично будь-які металеві сплави і в багатьох випадках отримувати з'єднання, рівномірні з основним металом при статичних навантаженнях. Ці з'єднання придатні для експлуатації в самих різноманітних умовах, в тому числі при температурах 1000°C і вище.

Припої. Якість, міцність та експлуатаційна надійність паяного з'єднання в першу чергу залежать від правильного вибору *припою*. Не всі метали і сплави можуть бути припоями. Припої повинні мати такі властивості:

- температуру плавлення, нижчу за температуру плавлення матеріалів, що паяють;
- у розплавленому стані (у захисному середовищі, під флюсом або у вакуумі) добре змочувати матеріал, що паяється, і легко розтікатися по його поверхні;
- забезпечувати достатньо високі зчіплюваність, міцність, пластичність і герметичність паяного з'єднання, мати коефіцієнт термічного розширення, близький до відповідного коефіцієнта матеріалу, що паяється.

Крім цих загальних вимог до припоїв, у залежності від їхнього використання, висувається ряд специфічних вимог, наприклад, за теплопровідністю, електропровідністю, корозійною стійкістю в агресивних середовищах, деформацією в холодному і гарячому станах тощо. У результаті тривалого практичного відбору і багаточисленних наукових досліджень були підібрані групи припоїв, що мають оптимальне поєднання властивостей. Залежно від температури плавлення припої класифікують на: тверді (тугоплавкі) – високомірні, що мають температуру плавлення понад 500°C і м'які (легкоплавкі) – менш міцні, що мають температуру плавлення нижче 500°C.

Флюси. З підвищенням температури швидкість окислення поверхонь деталей, що паяються, значно зростає, в результаті чого припій не змочує деталі. Для видалення оксиду застосовують хімічні речовини, які називаються *флюсами*. Флюси поліпшують умови

змочування поверхні металу, що паяється. Розплавленим припоєм захищають поверхню паяного металу та розплавленого припою від окислення при нагріванні та в процесі паяння розчиняють існуючі на поверхні металу та припою оксидні плівки. Розрізняють флюси для м'яких і твердих припоїв, а також для паяння алюмінієвих сплавів нержавіючих сталей і чавуну.

ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

При паяльних роботах і лудінні слід дотримуватись певних вимог безпеки. Робочі місця, призначені для виконання паяння дрібних деталей, слід обладнувати місцевими витяжними пристроями, що забезпечують безпосередньо на місці паяння швидкості руху повітря не менш як 0,6 м/с. У приміщеннях, де виконувалися паяльні роботи, має бути помита підлога (сухе прибирання підлоги не дозволяється). Зберігання одягу у приміщеннях, де відбувається паяння, забороняється.

Безпосередньо близько до робочих місць, призначених для виконання робіт з паяння дрібних деталей м'якими припоями, слід встановлювати умивальник, посудину з 1%-ним розчином оцтової кислоти для попереднього обмивання рук, легкозвивні переносні місткості для збирання ганчір'я. Біля умивальника постійно мають бути мило, щітка і ганчір'я для витирання рук (використання рушників загального користування не дозволяється).

Підготовка металів і процес паяння пов'язані з виділенням пилу, а також шкідливих випарів кольорових металів і солей, які викликають подразнення слизової оболонки очей, ураження шкіри й отруєння. Тому при паянні та лудінні треба дотримуватися таких правил безпеки:

- робоче місце паяльщика має бути обладнане місцевою вентиляцією;
- не допускається робота у загазованих приміщеннях;
- після роботи і перед споживанням їжі треба ретельно вимити руки з милом;
- хімікати слід засипати обережно, малими порціями, не допускаючи виникнення бризок (попадання кислоти в очі може викликати сліпоту, випари кислот також дуже шкідливі);
- сірчану кислоту слід зберігати у скляних бутлях з притертими пробками, бутлі вміщують у плетені кошики й обкладають тонкими прокладками;
- користуватися можна тільки розведеною кислотою; при розведенні кислоти слід доливати у воду тонкою цівкою, безперервно помішуючи розчин (забороняється лити воду в кислоту у зв'язку з сильною хімічною реакцією, що може викликати вибух);
- не допускаються ручні операції (промивання, протирання виробів, розливання тощо), при яких можливе безпосереднє дотикання шкіри робітника до дихлоретану (вогнебезпечна отруйна рідина) або сумішей, що містять його;
- при нагріванні паяльника слід дотримуватися загальних правил безпеки поводження з джерелами нагрівання;
- при роботі з паяльною лампою треба перевірити її справність, пальне слід наливати в лампу не більше як на 75% місткості, забороняється доливати або наливати пальне в лампу, що не прохолота, газову лампу треба заправляти лише гасом;
- у електричного паяльника рукоятка має бути сухою і не проводити струму.

ПРОГРАМА ПІДГОТОВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Вивчити теоретичні відомості за даним посібником та іншою навчальною літературою.

2. Дати письмові відповіді на такі запитання:

а) пояснити, для чого при паянні використовують припої, як їх класифікують та маркують? Привести приклади різних марок припоїв;

б) пояснити, для чого при пайці використовують флюси. Записати які флюси використовують при паянні м'якими припоями, а які при паянні твердими припоями;

- в) які інструменти та обладнання використовують при паянні?
- г) як готують паяльник до паяння?
- д) Які дефекти можуть виникати при паянні, причини їх виникнення та способ усунення?
- є) Яких правил техніки безпеки потрібно дотримуватися при пайці?

ЗАВДАННЯ Й МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

Завдання 1. *Виготовити паяне з'єднання деталей з низьковуглецевих сталей, міді та алюмінію м'якими припоями.*

1. Вибрати тип паяного шва.
1. Вибрати необхідний флюс.
3. Підготувати виріб до паяння.
4. Підготувати паяльник до пайки і нагріти його до необхідної температури.
5. Виготовити паяне з'єднання деталей із високовуглецевих сталей, міді та алюмінію.
6. Запаяний шов ретельно промити, протерти сухим чистим ганчір'ям і зачистити шабером.
7. У випадку необхідності провести контроль якості паяного з'єднання.

Завдання 2. *Виготовити паяне з'єднання деталей твердими припоями*

1. Підігнати поверхні запропонованих викладачем виробів, що паяються, одну до одної обпилуванням і ретельно очистити від бруду, оксидних плівок і жирів механічним або хімічним способом.
2. Підігнані поверхні в місці паяння покрити флюсом.
3. На місце спаю накласти шматочки припою – мідні пластинки і закріпити їх м'яким в'язальним дротом.
4. Підготовлені деталі нагріти паяльною лампою, у ковальському горні або електропечі чи спеціальним пристроєм.
5. Коли припій розплавиться, деталь зняти з вогню і тримати в такому положенні, щоб припій не міг стікати зі шва.
6. Деталь повільно охолодити (охолоджувати у воді деталь з паяною пластинкою не можна, бо це послабить міцність з'єднання).

Застосовують також інший спосіб паяння: підготовлену деталь нагрівають і посипають бурою, потім знову нагрівають і до місця з'єднання підводять кінець мідного або латунного дроту, який, розплавляючись, заливає місце спаю. В міру охолодження спаяні деталі промивають у воді, протирають сухими ганчірками і просушують, шов зачищають наждачним папером або обпилюють напилком.

Завдання 3. *Виконати лудіння поверхні виробу*

1. Підготувати поверхню запропонованого викладачем виробу до лудіння.
2. Провести лудіння зануренням.
3. Провести лудіння розтиранням. Після лудіння охолодий виріб протерти змоченим водою піском, промивають водою і сушать.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Який технологічний процес називається паянням? Охарактеризувати обладнання і матеріали, що використовуються при паянні.
2. Охарактеризувати фізичну суть процесу паяння, його переваги і недоліки.
3. Охарактеризувати флюси і припої, їх призначення, класифікацію та вимоги до них.
4. Охарактеризувати технологію паяння м'якими та твердими припоями.
5. Охарактеризувати процес лудіння металевих виробів та його призначення.
6. Охарактеризувати правила техніки безпеки, яких необхідно дотримуватися при паянні й лудінні.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Атаманюк В. В. Технологія конструкційних матеріалів: навчальний посібник для вищих навчальних закладів. Київ : Кондор, 2006. 528 с.
2. Атаманюк В. В. Технологія конструкційних матеріалів: навчальний посібник для вищих навчальних закладів. Вінниця : ДОВ «Вінниця», 2003. 371 с.
3. Атаманюк В. В., Шимкова І. В. Лабораторний практикум з технології конструкційних матеріалів: навчально-методичний посібник для вищих навчальних закладів. Вінниця : ДОВ «Вінниця», 2007. 165 с.
4. Желібо Є. П., Анопко Д. В., Буслик В. М., Овраменко М. А., Петрик Л. С., Пирч В. П. Основи технологій виробництва в галузях народного господарства : навч. посібник. Київ : Кондор, 2005. 716 с.
5. Курська Т. М., Чернобай Г. О., Єрмоменко С. Б. Матеріалознавство та технології матеріалів: конспект лекцій. Харків: УЦЗУ, 2008. 136 с.
6. Бялік О. М., Черненко В. С., Писаренко В. М., Москаленко Ю. М. Металознавство: підручник. Вид. 2-ге., перероб. і доп. Київ: Політехніка, 2002. 384 с.
7. Опальчук А. С., Котречко О. О., Роговський Л. Л. Лабораторний практикум з технології конструкційних матеріалів і матеріалознавства: навч. посібник. Київ: Вища освіта, 2006. 287 с.: іл.
8. Остапчук М. В., Рибак А. І. Система технологій (за видами діяльності): навчальний посібник. Київ: ЦУЛ, 2003. 888 с.
9. Пахолук А.П., Пахолук О.А. Основи матеріалознавства і конструкційні матеріали : посібник. Львів: Світ, 2005. 172 с.
10. Попович В., Голубець В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: навчальний посібник для вищих навчальних закладів: У 2-х кн. Книга II. Суми: ВТД «Університетська книга», 2002. 260 с.
11. Сологуб М. А., Рожнецький І. О., Некоз О. І. Технологія конструкційних матеріалів: підручник. Вид 2-ге., перероб. і доп. Київ: Вища школа, 2002. 374 с

ДОДАТКИ

Додаток А

Таблиця переводу мілівольт у градуси для термопар хромель-копель

mv	T	mv	T	mv	T	mv	T	mv	T	mv	T	mv	T	mv	T
0,1	2	2,8	42	5,5	80	8,2	117	10,9	154	13,6	187	16,3	220	19,0	252
0,2	3	2,9	44	5,6	82	8,3	118	11,0	155	13,7	188	16,4	221	19,1	253
0,3	4	3,0	45	5,7	83	8,4	120	11,1	156	13,8	190	16,5	223	19,2	254
0,4	5	3,1	46	5,8	84	8,5	121	11,2	157	13,9	191	16,6	224	19,3	255
0,5	7	3,2	48	5,9	86	8,6	122	11,3	158	14,0	192	16,7	225	19,4	256
0,6	9	3,3	49	6,0	87	8,7	124	11,4	159	14,1	193	16,8	226	19,5	258
0,7	11	3,4	51	6,1	89	8,8	125	11,5	161	14,2	195	16,9	227	19,6	259
0,8	12	3,5	52	6,2	90	8,9	126	11,6	162	14,3	196	17,0	229	19,7	260
0,9	14	3,6	54	6,3	91	9,0	128	11,7	163	14,4	197	17,1	230	19,8	261
1,0	16	3,7	55	6,4	93	9,1	129	11,8	165	14,5	198	17,2	231	19,9	263
1,1	17	3,8	56	6,5	94	9,2	130	11,9	166	14,6	199	17,3	232	20,0	264
1,2	18	3,9	58	6,6	95	9,3	132	12,0	167	14,7	200	17,4	233	20,1	265
1,3	20	4,0	59	6,7	97	9,4	133	12,1	168	14,8	202	17,5	234	20,2	266
1,4	21	4,1	61	6,8	98	9,5	134	12,2	170	14,9	203	17,6	235	20,3	267
1,5	23	4,2	62	6,9	100	9,6	136	12,3	171	15,0	205	17,7	236	20,4	269
1,6	24	4,3	64	7,0	101	9,7	137	12,4	172	15,1	206	17,8	237	20,5	270
1,7	26	4,4	65	7,1	102	9,8	138	12,5	173	15,2	207	17,9	238	20,6	271
1,8	27	4,5	67	7,2	104	9,9	140	12,6	175	15,3	208	18,0	240	20,7	272
1,9	29	4,6	68	7,3	105	10,0	141	12,7	176	15,4	209	18,1	241	20,8	273
2,0	31	4,7	69	7,4	106	10,1	142	12,8	177	15,5	210	18,2	242	20,9	275
2,1	32	4,8	71	7,5	108	10,2	144	12,9	178	15,6	212	18,3	243	21,0	276
2,2	34	4,9	72	7,6	109	10,3	146	13,0	180	15,7	213	18,4	244	21,1	277
2,3	35	5,0	74	7,7	110	10,4	148	13,1	181	15,8	214	18,5	246	21,2	279
2,4	37	5,1	75	7,8	112	10,5	149	13,2	182	15,9	215	18,6	247	21,3	280
2,5	38	5,2	76	7,9	113	10,6	150	13,3	183	16,0	217	18,7	248	21,4	281
2,6	40	5,3	77	8,0	115	10,7	152	13,4	185	16,1	218	18,8	249	21,5	282
2,7	41	5,4	78	8,1	116	10,8	153	13,5	186	16,2	219	18,9	250	21,6	283

Продовження таблиці переводу мілівольт у градуси для термопар хромель-копель

mv	T	mv	T	mv	T	mv	T	mv	T	mv	T	mv	T	mv	T
21,7	286	24,3	317	26,9	347	29,5	377	32,1	407	34,7	437	37,3	467	39,9	498
21,8	287	24,4	318	27,0	348	29,6	378	32,2	408	34,8	438	37,4	468	40,0	499
21,9	288	24,5	319	27,1	350	29,7	379	32,3	410	34,9	440	37,5	470	40,1	500
22,0	289	24,6	320	27,2	351	29,8	380	32,4	412	35,0	441	37,6	471	40,2	501
22,1	290	24,7	321	27,3	352	29,9	382	32,5	413	35,1	442	37,7	472	40,3	502
22,2	291	24,8	323	27,4	353	30,0	383	32,6	414	35,2	443	37,8	473	40,4	503
22,3	293	24,9	324	27,5	354	30,1	384	32,7	415	35,3	444	37,9	474	40,5	504
22,4	294	25,0	325	27,6	355	30,2	385	32,8	416	35,4	445	38,0	475	40,6	505
22,5	295	25,1	326	27,7	356	30,3	386	32,9	417	35,5	446	38,1	476	40,7	506
22,6	296	25,2	328	27,8	358	30,4	388	33,0	418	35,6	448	38,2	478	40,8	507
22,7	298	25,3	329	27,9	359	30,5	389	33,1	419	35,7	449	38,3	479	40,9	508
22,8	299	25,4	330	28,0	360	30,6	390	33,2	420	35,8	450	38,4	480	41,0	509
22,9	300	25,5	331	28,1	361	30,7	391	33,3	421	35,9	451	38,5	481	41,1	510
23,0	301	25,6	332	28,2	362	30,8	392	33,4	422	36,0	452	38,6	482	41,2	511
23,1	302	25,7	333	28,3	363	30,9	393	33,5	423	36,1	453	38,7	483	41,3	512
23,2	304	25,8	334	28,4	364	31,0	395	33,6	425	36,2	454	38,8	484	41,4	513
23,3	305	25,9	335	28,5	366	31,1	396	33,7	426	36,3	456	38,9	485	41,5	514
23,4	306	26,0	336	28,6	367	31,2	397	33,8	427	36,4	457	39,0	487	41,6	515
23,5	307	26,1	338	28,7	368	31,3	398	33,9	428	36,5	458	39,1	488	41,7	516
23,6	308	26,2	339	28,8	369	31,4	399	34,0	429	36,6	459	39,2	489	41,8	518
23,7	309	26,3	340	28,9	370	31,5	400	34,1	430	36,7	460	39,3	490	41,9	519
23,8	311	26,4	341	29,0	371	31,6	401	34,2	431	36,8	461	39,4	491	42,0	520
23,9	312	26,5	342	29,1	373	31,7	402	34,3	433	36,9	463	39,5	492	42,1	521
24,0	313	26,6	344	29,2	374	31,8	404	34,4	434	37,0	464	39,6	495	42,2	522
24,1	314	26,7	345	29,3	375	31,9	405	34,5	435	37,1	465	39,7	496		
24,2	315	26,8	346	29,4	376	32,0	406	34,6	436	37,2	466	39,8	497		

Таблиця переведу мілівольт у градуси для термопар хромель-алюмель

mv	T	mv	T	mv	T	mv	T	mv	T	mv	T	mv	T	mv	T
0,4	10	3,1	76	5,8	143	8,5	210	11,2	276	13,9	340	16,6	405	19,3	469
0,5	13	3,2	79	5,9	144	8,6	212	11,3	278	14,0	342	16,7	407	19,4	473
0,6	15	3,3	81	6,0	147	8,7	215	11,4	281	14,1	346	16,8	410	19,5	476
0,7	18	3,4	84	6,1	150	8,8	217	11,5	283	14,2	348	16,9	412	19,6	478
0,8	20	3,5	86	6,2	152	8,9	219	11,6	285	14,3	350	17,0	414	19,7	480
0,9	23	3,6	90	6,3	155	9,0	222	11,7	288	14,4	352	17,1	417	19,8	483
1,0	25	3,7	91	6,4	157	9,1	225	11,8	290	14,5	355	17,2	419	19,9	485
1,1	28	3,8	93	6,5	160	9,2	227	11,9	293	14,6	357	17,3	421	20,0	488
1,2	30	3,9	95	6,6	162	9,3	229	12,0	296	14,7	360	17,4	424	20,1	491
1,3	33	4,0	98	6,7	164	9,4	230	12,1	298	14,8	362	17,5	426	20,2	493
1,4	35	4,1	100	6,8	167	9,5	234	12,2	300	14,9	364	17,6	428	20,3	497
1,5	38	4,2	103	6,9	170	9,6	237	12,3	302	15,0	367	17,7	431	20,4	499
1,6	40	4,3	105	7,0	172	9,7	239	12,4	305	15,1	369	17,8	433	20,5	502
1,7	42	4,4	107	7,1	175	9,8	242	12,5	307	15,2	372	17,9	436	20,6	504
1,8	45	4,5	110	7,2	177	9,9	244	12,6	309	15,3	374	18,0	438	20,7	506
1,9	47	4,6	112	7,3	180	10,0	247	12,7	312	15,4	376	18,1	441	20,8	507
2,0	49	4,7	114	7,4	182	10,1	250	12,8	314	15,5	379	18,2	443	20,9	508
2,1	52	4,8	117	7,5	185	10,2	252	12,9	317	15,6	381	18,3	446	21,0	509
2,2	54	4,9	122	7,6	187	10,3	254	13,0	319	15,7	383	18,4	449	21,1	511
2,3	57	5,0	124	7,7	189	10,4	256	13,1	322	15,8	386	18,5	450	21,2	513
2,4	59	5,1	127	7,8	192	10,5	259	13,2	324	15,9	388	18,6	452	21,3	516
2,5	62	5,2	129	7,9	195	10,6	260	13,3	327	16,0	391	18,7	455	21,4	518
2,6	64	5,3	132	8,0	197	10,7	264	13,4	329	16,1	393	18,8	457	21,5	520
2,7	67	5,4	134	8,1	200	10,8	266	13,5	331	16,2	395	18,9	460	21,6	523
2,8	69	5,5	137	8,2	202	10,9	268	13,6	334	16,3	398	19,0	462	21,7	525
2,9	71	5,6	139	8,3	204	11,0	271	13,7	336	16,4	400	19,1	464	21,8	527
3,0	73	5,7	142	8,4	207	11,1	273	13,8	339	16,5	402	19,2	466	21,9	530

Продовження таблиці переведу мілівольт у градуси для термопар хромель-алюмель

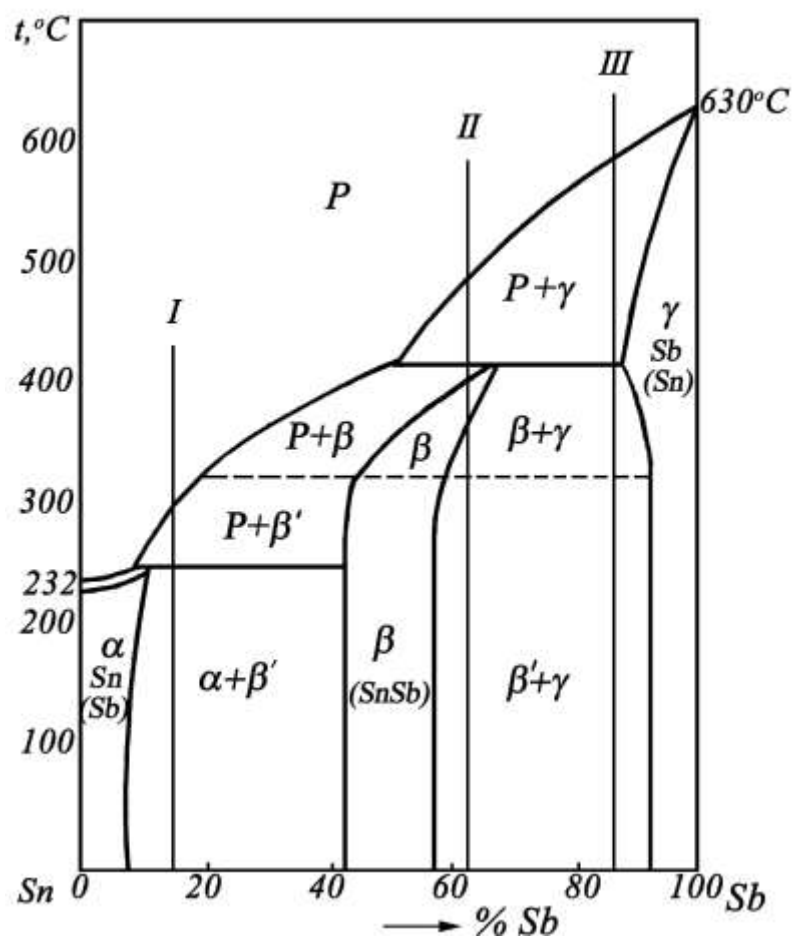
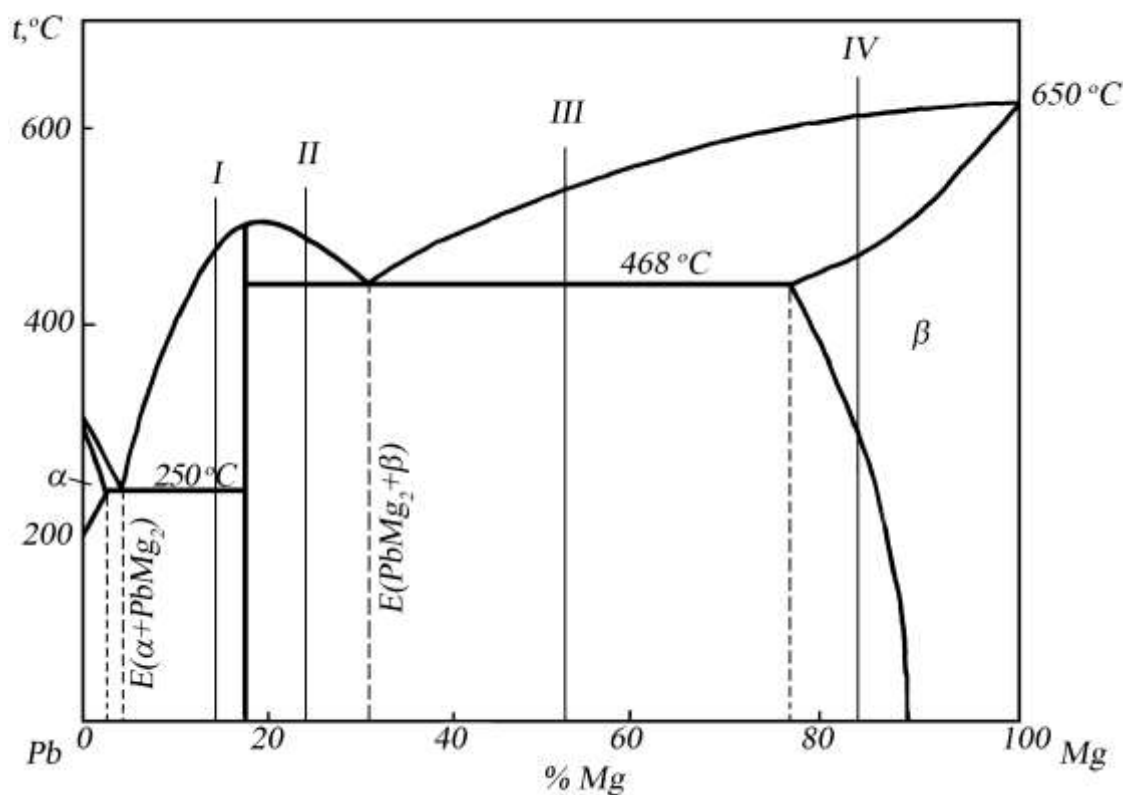
mv	T	mv	T	mv	T	mv	T	mv	T	mv	T	mv	T	mv	T
22,0	532	24,6	593	27,2	654	29,8	716	32,4	778	35,0	842	37,6	906	40,2	972
22,1	534	24,7	595	27,3	656	29,9	719	32,5	790	35,1	844	37,7	908	40,3	973
22,2	536	24,8	597	27,4	659	30,0	721	32,6	783	35,2	846	37,8	911	40,4	977
22,3	539	24,9	600	27,5	661	30,1	723	32,7	785	35,3	849	37,9	913	40,5	979
22,4	542	25,0	602	27,6	664	30,2	725	32,8	788	35,4	851	38,0	916	40,6	982
22,5	544	25,1	605	27,7	666	30,3	727	32,9	790	35,5	854	38,1	919	40,7	984
22,6	546	25,2	607	27,8	668	30,4	730	33,0	793	35,6	856	38,2	921	40,8	987
22,7	549	25,3	610	27,9	671	30,5	732	33,1	795	35,7	859	38,3	924	40,9	990
22,8	551	25,4	612	28,0	673	30,6	735	33,2	797	35,8	861	38,4	926	41,0	992
22,9	555	25,5	614	28,1	676	30,7	737	33,3	800	35,9	864	38,5	929	41,1	995
23,0	556	25,6	616	28,2	678	30,8	740	33,4	802	36,0	866	38,6	931	41,2	997
23,1	558	25,7	619	28,3	680	30,9	742	33,5	805	36,1	869	38,7	933	41,3	1000
23,2	561	25,8	621	28,4	683	31,0	745	33,6	807	36,2	871	38,8	936		
23,3	563	25,9	623	28,5	685	31,1	747	33,7	810	36,3	873	38,9	939		
23,4	564	26,0	626	28,6	687	31,2	749	33,8	812	36,4	876	39,0	941		
23,5	567	26,1	628	28,7	689	31,3	752	33,9	815	36,5	879	39,1	944		
23,6	569	26,2	630	28,8	692	31,4	754	34,0	817	36,6	881	39,2	946		
23,7	572	26,3	633	28,9	694	31,5	756	34,1	820	36,7	883	39,3	949		
23,8	575	26,4	635	29,0	697	31,6	759	34,2	822	36,8	885	39,4	951		
23,9	576	26,5	637	29,1	699	31,7	761	34,3	824	36,9	889	39,5	954		
24,0	580	26,6	640	29,2	701	31,8	763	34,4	826	37,0	891	39,6	956		
24,1	581	26,7	642	29,3	704	31,9	766	34,5	829	37,1	894	39,7	959		
24,2	584	26,8	644	29,4	706	32,0	768	34,6	831	37,2	896	39,8	961		
24,3	586	26,9	647	29,5	708	32,1	771	34,7	834	37,3	899	39,9	964		
24,4	588	27,0	649	29,6	711	32,2	773	34,8	837	37,4	901	40,0	966		
24,5	590	27,1	652	29,7	713	32,3	776	34,9	839	37,5	903	40,1	969		

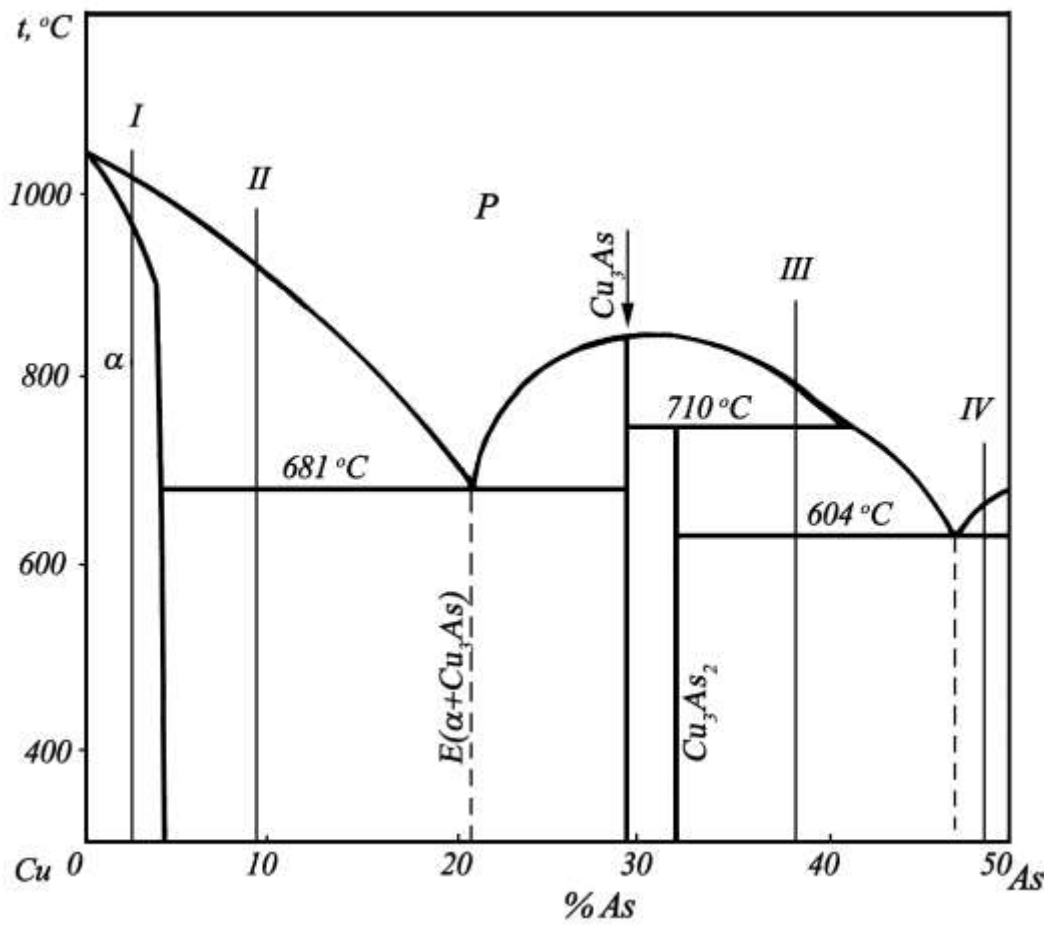
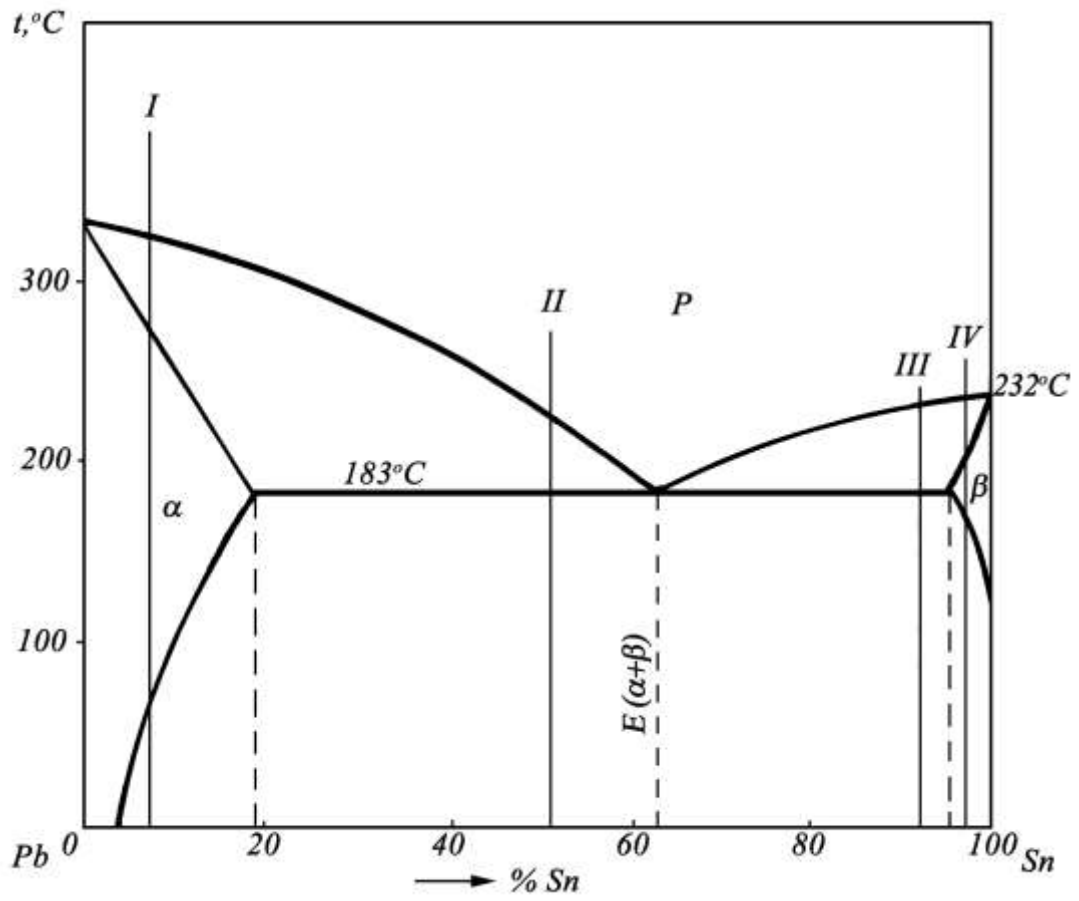
Твердість вуглецевих марок сталей після загартовування і відпускання

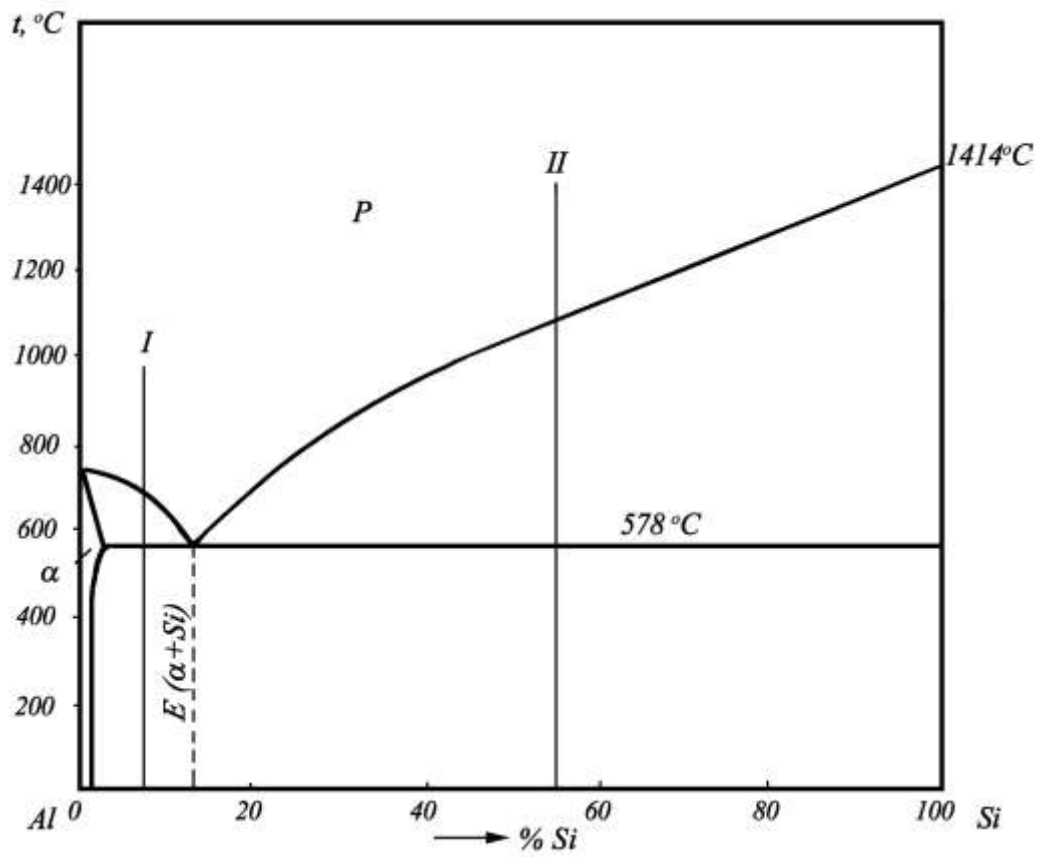
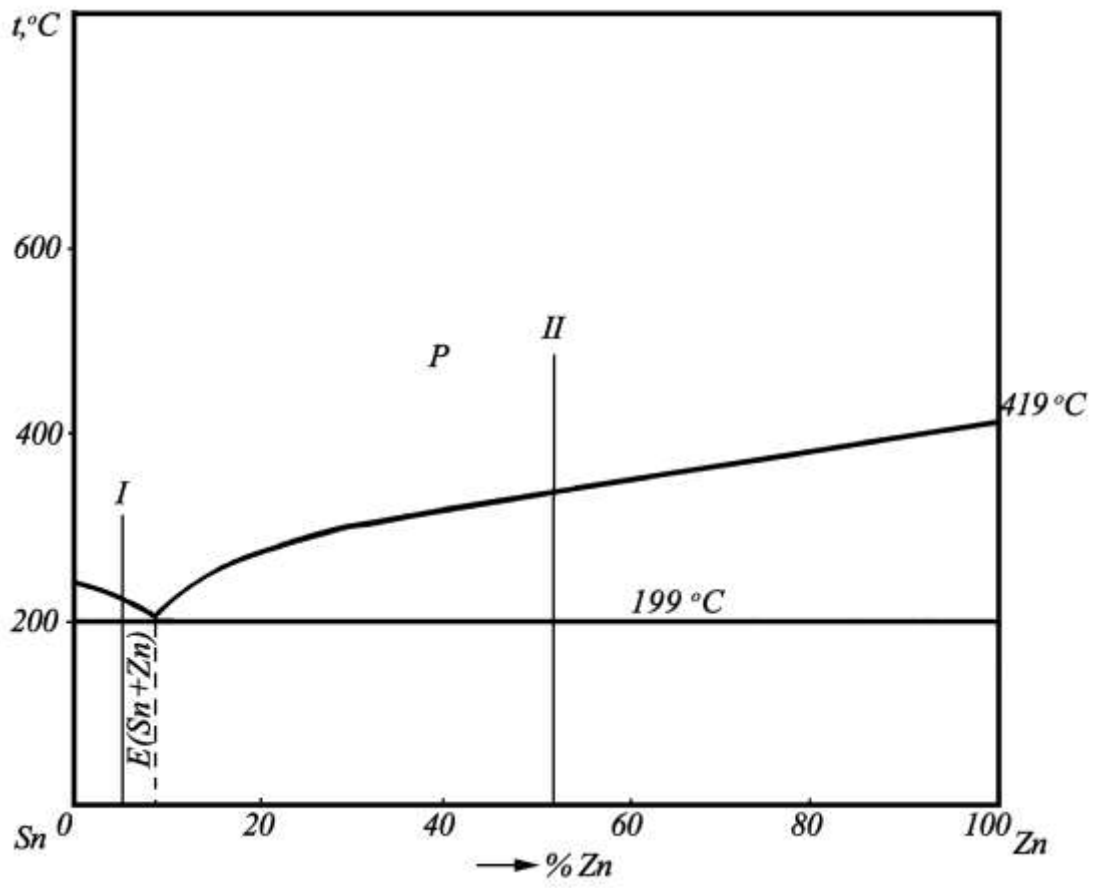
Марка сталі	Режим загартовування		Твердість після загартовування, HRC	Твердість HRC після відпускання при температурі, °C				
	Температура, °C	Охолод-жуюче середовище		200	300	400	500	600
20	900-920	Вода	34-40	32-36	28-32	22-26	14-18	10-15
30	870-890		42-48	40-44	34-38	28-32	20-24	14-18
40	840-860		48-51	45-50	40-44	32-36	24-28	20-24
50	820-860		54-60	52-56	46-50	38-42	30-34	24-28
60	800-820		60-62	58-60	52-54	44-48	36-40	30-38
У7	790-810	Через воду в масло	62-64	60-62	52-56	48-52	-	-
У8	780-800		63-65	61-63	52-56			
У9	770-790		63-65	61-63	52-56			
У10	770-790		62-64	61-63	54-58			
У11	770-790		62-64	61-63	54-58			
У12	770-790		62-64	61-63	54-58			
У13	770-790		62-64	61-63	54-58			

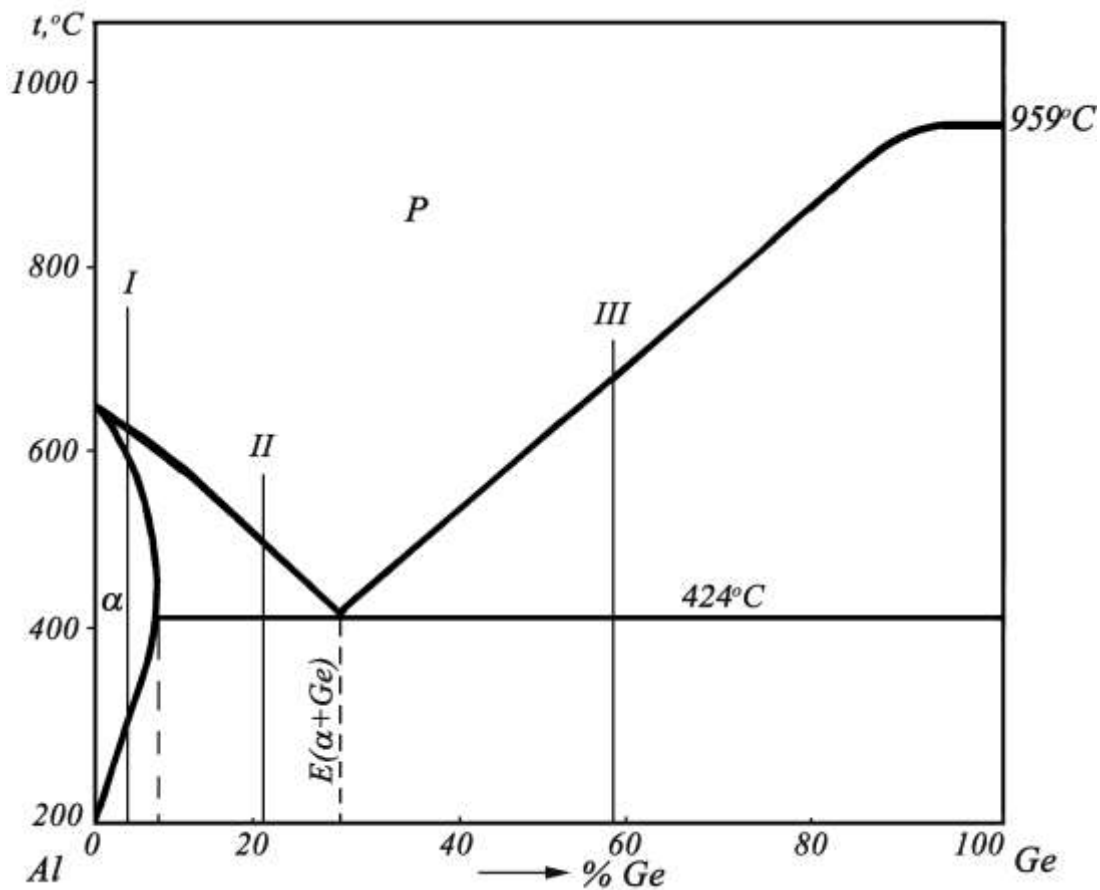
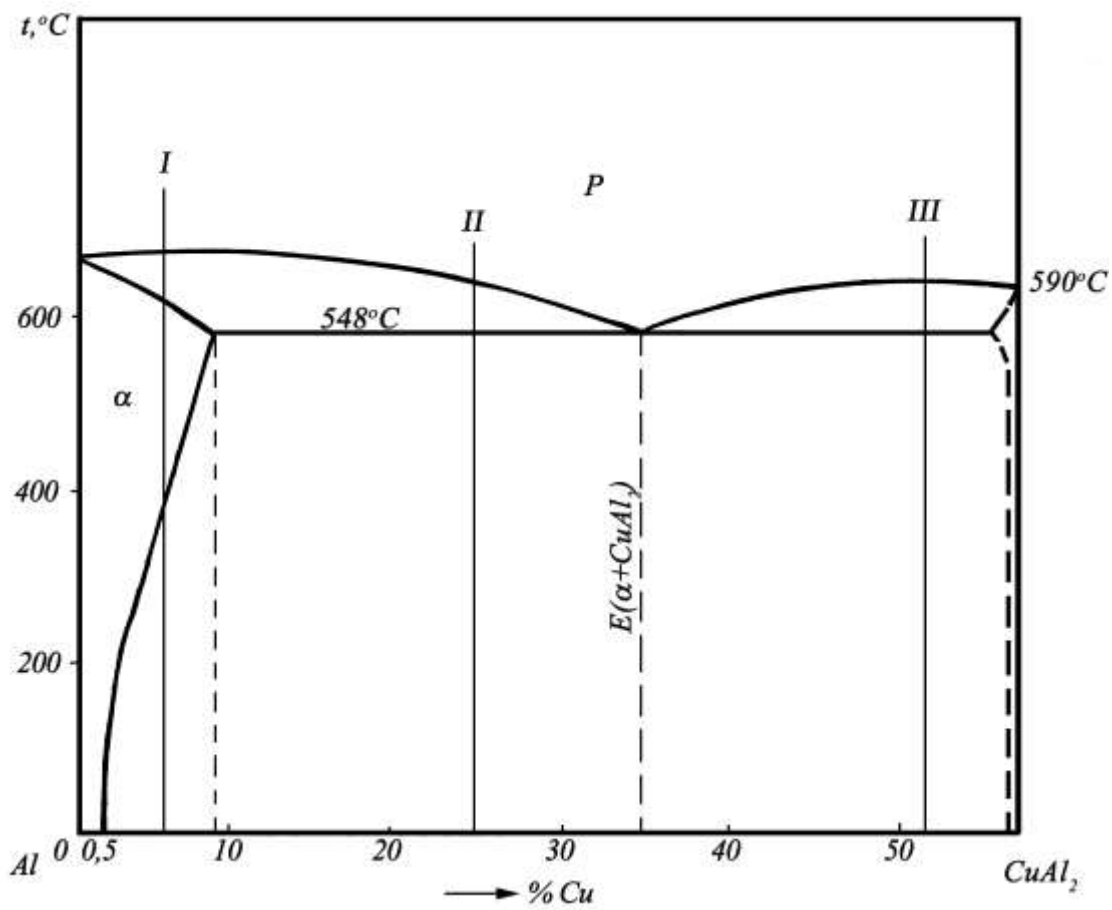
Глибина цементованого шару при газовій цементації

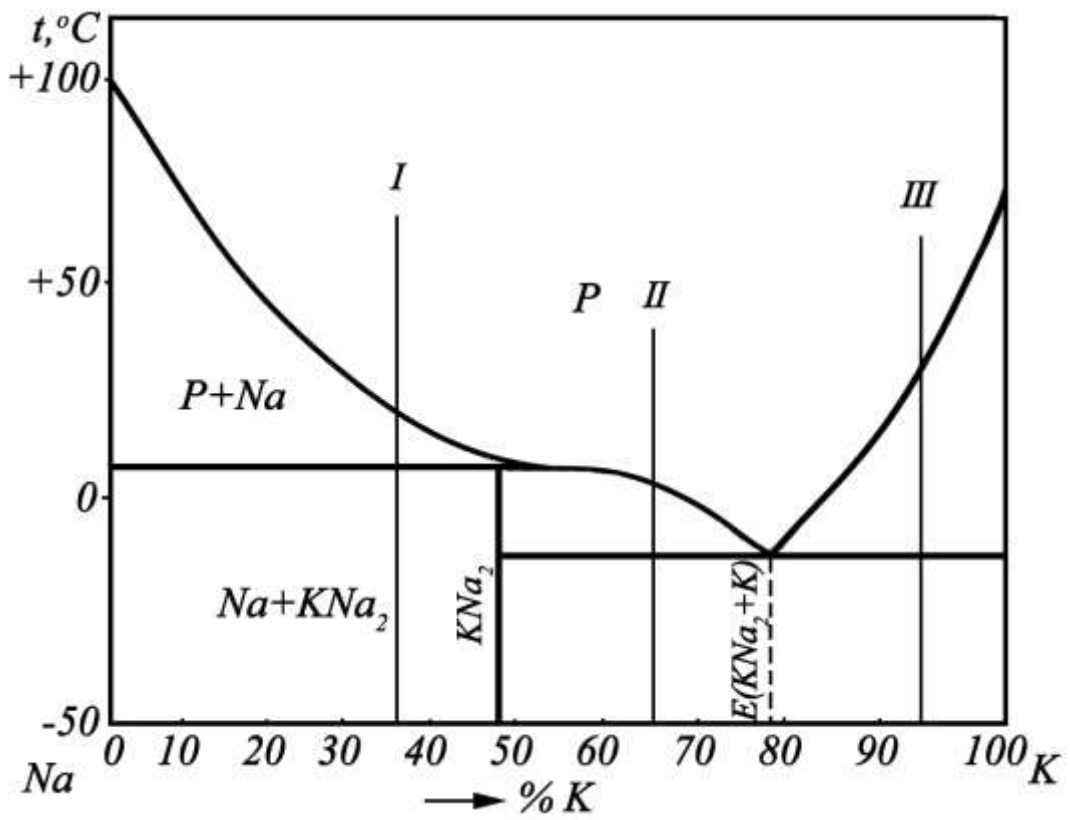
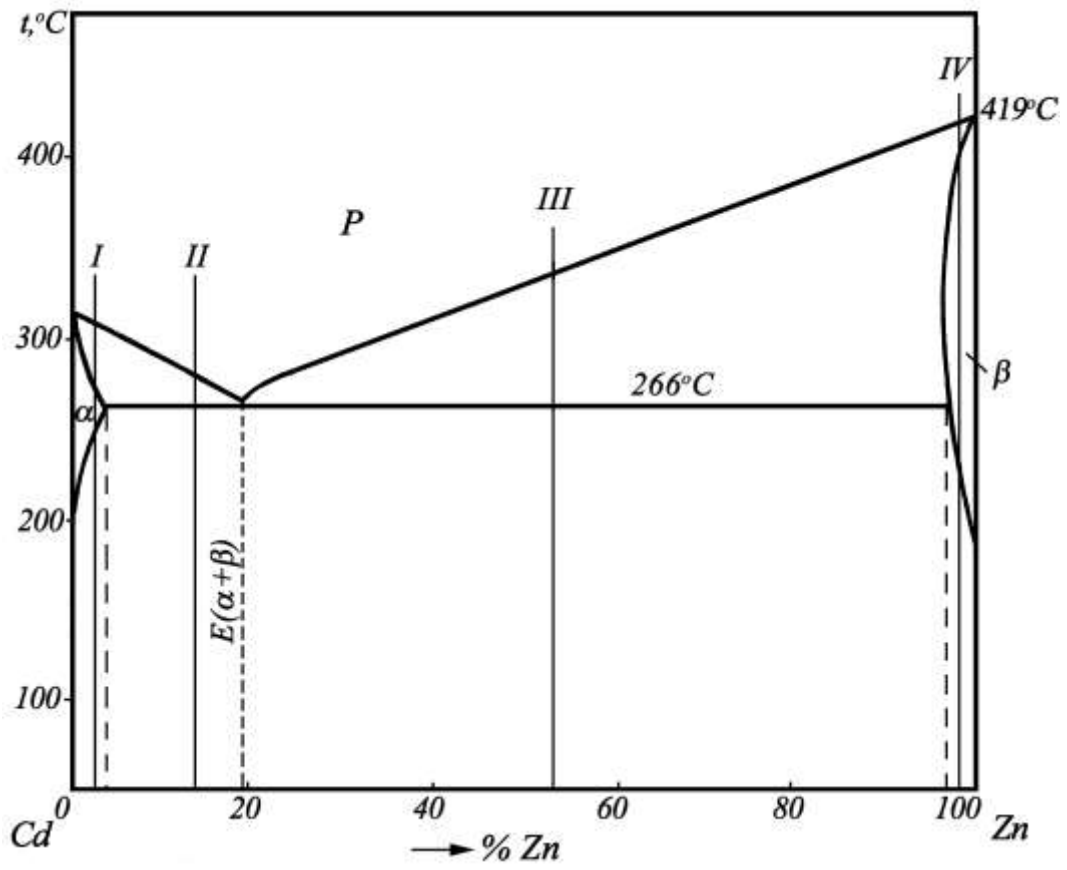
Витримка	Глибина цементованого шару (мм) при температурі, °C							
	820	850	875	900	925	950	975	1000
1	0,30	0,38	0,45	0,53	0,63	0,75	0,85	1,00
2	0,42	0,53	0,63	0,76	0,90	1,00	1,22	1,42
3	0,53	0,63	0,80	0,94	1,10	1,30	1,50	1,70
4	0,60	0,74	0,89	1,07	1,27	1,50	1,75	2,00
5	0,70	0,80	1,00	1,20	1,42	1,68	1,96	2,25
6	0,76	0,91	1,09	1,32	1,55	1,83	2,13	2,46
7	0,78	1,00	1,19	1,42	1,68	1,98	2,30	2,55
8	0,86	1,04	1,27	1,52	1,80	2,10	2,46	2,80
9	0,90	1,12	1,35	1,60	1,90	2,23	2,55	3,00
10	0,96	1,17	1,42	1,70	2,00	2,36	2,80	3,20
11	1,02	1,22	1,50	1,78	2,11	2,46	2,80	3,35
12	1,04	1,30	1,55	1,85	2,21	2,50	3,05	3,55
13	1,09	1,35	1,62	1,93	2,29	2,54	3,06	3,56
14	1,14	1,40	1,68	2,00	2,39	2,80	3,30	3,80
15	1,20	1,45	1,73	2,10	2,47	2,80	3,38	3,92
16	1,22	1,50	1,80	2,13	2,54	2,85	3,50	4,05
17	1,27	1,52	1,85	2,20	2,55	3,05	3,55	4,17
18	1,30	1,57	1,90	2,29	2,69	3,17	3,72	4,32
19	1,35	1,62	1,96	2,34	2,70	3,30	3,81	4,40
20	1,37	1,68	2,00	2,39	2,80	3,31	3,89	4,55
21	1,40	1,70	2,06	2,46	2,90	3,41	3,98	4,62
22	1,42	1,75	2,10	2,51	2,96	3,50	4,06	4,73
23	1,47	1,77	2,15	2,54	3,05	3,55	4,17	4,83
24	1,50	1,83	2,20	2,62	3,10	3,65	4,29	5,00
25	1,52	1,85	2,23	2,66	3,16	3,70	4,33	5,10

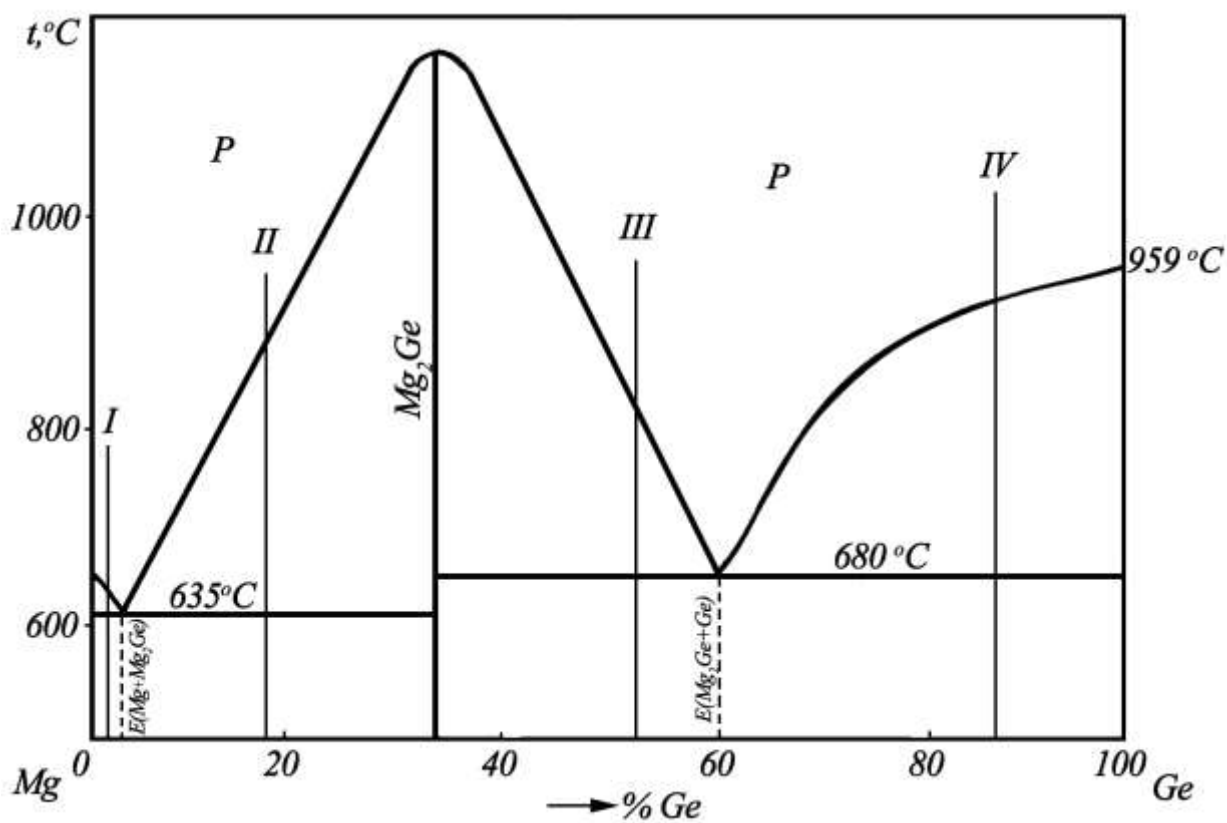
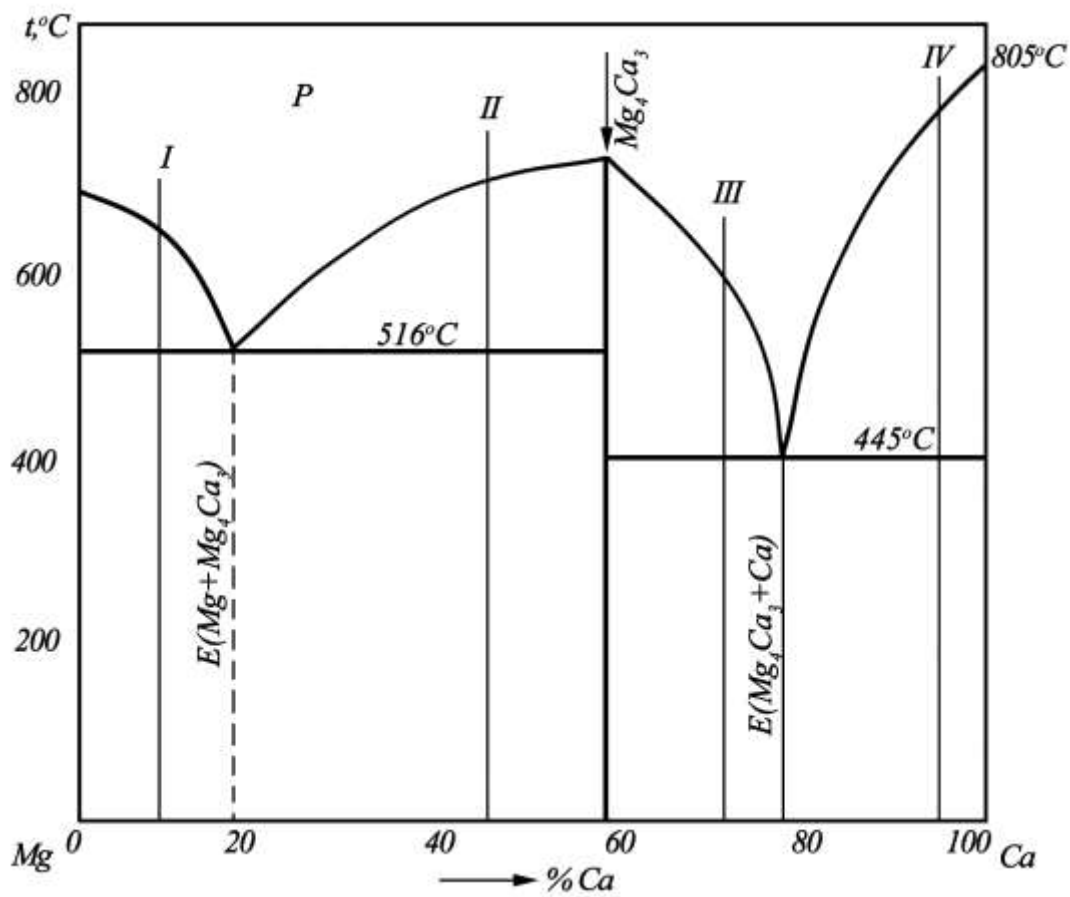


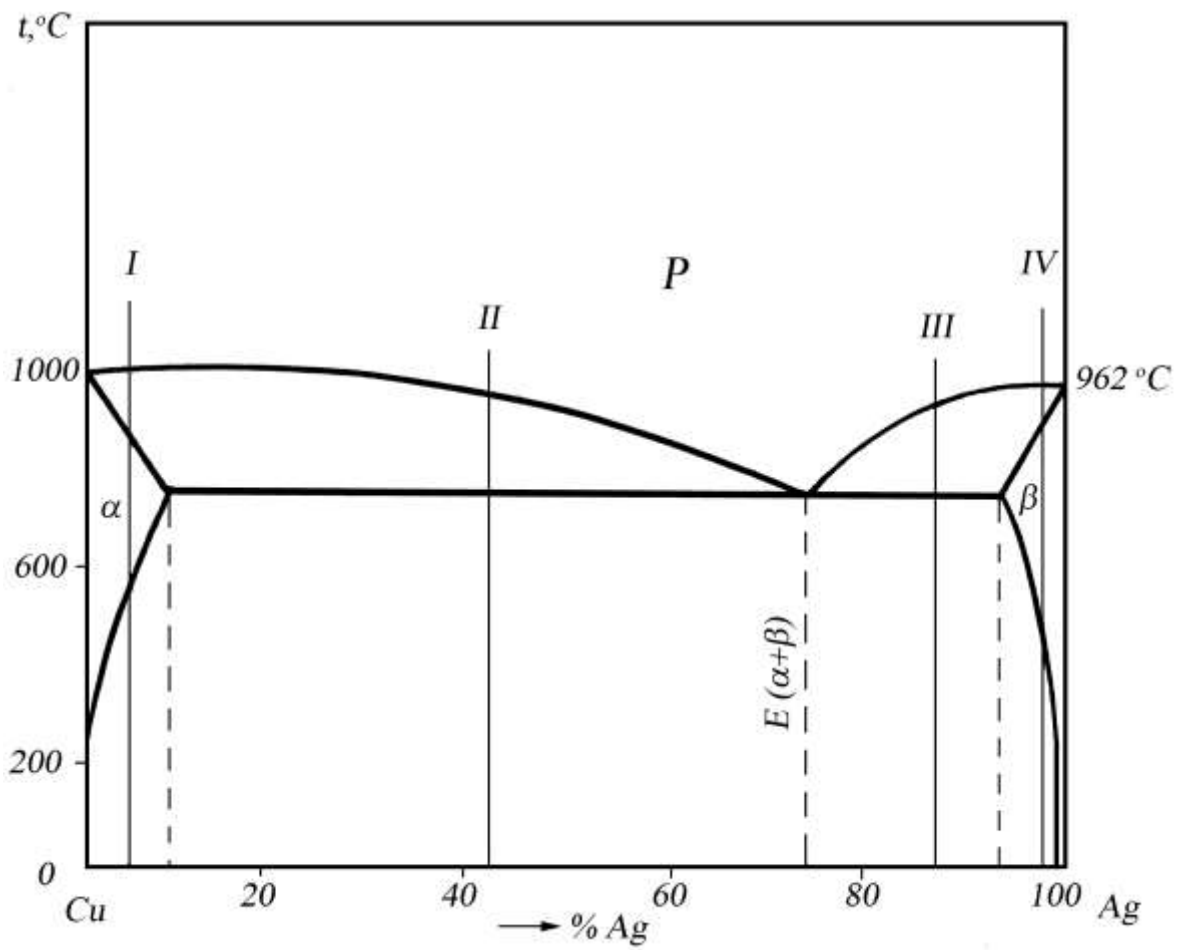
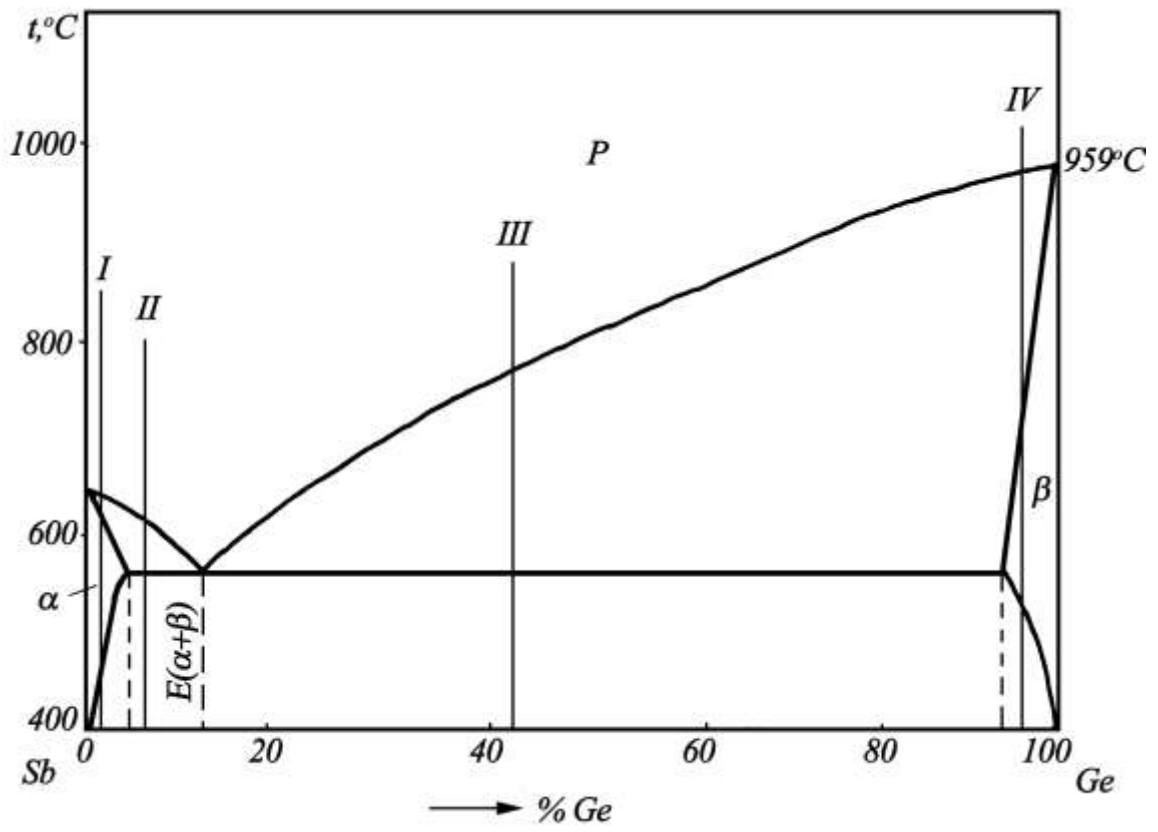












Температури початку і кінця кристалізації сплавів системи *Pb – Sb*

Матеріал	Температура початку кристалізації, °С	Температура кінця кристалізації, °С
100%Pb	327	327
95%Pb + 5% Sb	296	246
90%Pb + 10% Sb	260	246
87%Pb + 13% Sb	246	246
80%Pb + 20% Sb	280	246
75%Pb + 25% Sb	300	246
40%Pb + 60% Sb	395	246
20%Pb + 80% Sb	570	246
100%Sb	631	631

Таблиця залежності твердості сталі 35 від температури гартування

Температура нагрівання для гартування, °С	Твердість, НВ
Відпалений	185
675	185
700	185
725	234
750	345
775	447
800	490
825	500
850	500
875	495
900	485

Вуглецеві інструментальні сталі

Марка сталі	С, %	Твердість HRC, не менше	Призначення
У7, У7А	0,66 - 0,73	62	Зубила, клейма, ножиці, інструмент для обробки дерева, штампи
У8, У8А	0,76 - 0,83		
У8Г, У8ГА	0,81 - 0,89		
У9, У9А	0,86 – 0,93	62	Мітчики, свердла, ножівки, розвертки, різці для обробки м'яких матеріалів
У10, У10А	0,96 – 1,03		
У11, У11А	1,06 – 1,13		
У12, У12А	1,16 – 1,23	63	Напилки, лезак, граверний інструмент тощо
У13, У13А	1,26 – 1,34		

УДК 620.22 + 669.018

ББК 34.2 + 34.5

Ш 61

Шимкова І.В. Лабораторний практикум з технології конструкційних матеріалів: Навчальний посібник для студентів спеціальності 014 Середня освіта (Трудове навчання та технології) та 015 Професійна освіта (Сфера обслуговування). Вінниця: ВДПУ, 2020. 155 с.

Підписано до друку 18.02.2020 р.

Ум. друк. арк. 6,8.

Гарнітура Times New Roman.

Вінницький державний педагогічний університет
імені Михайла Коцюбинського

21100, м. Вінниця, вул. К.Острозького, 32, ВДПУ,
тел. (0432) 27-90-76