

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ХАРЧУВАННЯ ТА ТОРГІВЛІ**

В. М. Михайлов, І. В. Лебединець

**ТЕХНОЛОГІЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ
МАТЕРІАЛІВ ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО**

ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

Навчальний посібник

Харків
ХДУХТ
2016

УДК 676.017:620.22
ББК 30.3
М69

Рецензенти:
д-р техн. наук, проф. О. Г. Терешкін,
канд. техн. наук, доц. В. В. Дуб

Рекомендовано до друку вченою радою Харківського державного університету харчування та торгівлі, протокол № 7 від 25.02.2016 р.

Михайлов В. М. Технологія конструкційних матеріалів та М69 матеріалознавство. Лабораторний практикум : навч. Посібник / Михайлов В. М., Лебединець І. В. – Х: ХДУХТ, 2016. – 196 с.

У посібнику наведено основні відомості про матеріали, які використовуються у виробництві обладнання та технологіях харчової промисловості, методику виконання практичних і лабораторних робіт із цієї дисципліни.

Посібник розроблено для студентів напряму підготовки 6.050502 «Енергомашинобудування» за спеціальністю 7.0560403 – «Холодильні машини та установки». Може бути корисним для фахівців відповідних галузей.

УДК 676.017:620.22
ББК 30.3

ISBN

© Михайлов В. М.,
Лебединець І.В., 2016

ЗМІСТ

ВСТУП	5
Практична робота № 1 ВИВЧЕННЯ НАЙПРОСТІШИХ МЕТАЛЕВИХ СПЛАВІВ	6
Лабораторна робота № 2 КРИСТАЛІЗАЦІЯ МЕТАЛЕВИХ СПЛАВІВ	14
Лабораторна робота № 3 МАКРОСТРУКТУРНИЙ АНАЛІЗ МЕТАЛІВ	19
Практична робота № 4 ВПЛИВ ДЕФОРМАЦІЇ НА СТРУКТУРУ ТА ВЛАСТИВОСТІ МАТЕРІАЛІВ	26
Лабораторна робота № 5 ВИЗНАЧЕННЯ ТВЕРДОСТІ МЕТОДОМ РОКВЕЛЛА	33
Практична робота № 6 ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВІ СПЛАВИ	38
Лабораторна робота № 7 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ШВИДКОСТІ ОХОЛОДЖЕННЯ НА ВЛАСТИВОСТІ СТАЛЕЙ	49
Практична робота № 8 ГАРТУВАННЯ ТА ВІДПУСКАННЯ СТАЛЕЙ	54
Лабораторна робота № 9 ВИВЧЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ	59
Практична робота № 10 БУДОВА ТА ВЛАСТИВОСТІ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ	66
Практична робота № 11 ВЛАСТИВОСТІ ТА ЗАСТОСУВАННЯ МІДНИХ СПЛАВІВ	72
Лабораторна робота № 12 ВИЗНАЧЕННЯ ВИДУ КОЛЬОРОВОГО МЕТАЛУ МЕТОДОМ ЩІЛЬНОСТІ	79
Практична робота № 13 ВЛАСТИВОСТІ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ТВЕРДИХ СПЛАВІВ	83
Лабораторна робота № 14 ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОЗАХИСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПЛАСТИЧНИХ МАС	92
Лабораторна робота № 15 ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ОПОРІВ ТВЕРДИХ ДІЕЛЕКТРИКІВ	95
Лабораторна робота № 16 ТЕХНОЛОГІЯ НАНЕСЕННЯ ГАЛЬВАНІЧНИХ ПОКРИТТІВ	102

Практична робота № 17	
МЕТАЛЕВІ ПОЛІМЕРНІ ПАКУВАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ	109
Практична робота № 18	
КОМБІНОВАНІ ТА СКЛЯНІ ПАКУВАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ	119
Практична робота № 19	
ВИВЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА	125
Практична робота № 20	
ВИВЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА	133
Практична робота № 21	
СПЕЦІАЛЬНІ ВИДИ ЗВАРЮВАННЯ	144
Лабораторна робота № 22	
ВИЗНАЧЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТА ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТОКАРНОГО РІЗЦЯ ТА ФРЕЗИ	153
Лабораторна робота № 23	
ВИЗНАЧЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТА ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗЕНКЕРА ТА РОЗВЕРТКИ	160
Практична робота № 24	
ВИВЧЕННЯ СПОСОБІВ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ ТИСКОМ	168
Лабораторна робота № 25	
ВИЗНАЧЕННЯ ФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ	181
СПИОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	188

ВСТУП

Метою написання лабораторного практикуму є надання студентам необхідних знань і вироблення навичок, пов'язаних з основами матеріалознавства та технології конструкційних матеріалів, а також умінь вирішувати науково-технічні, організаційні й соціально-економічні проблеми, пов'язані з конструюванням, експлуатацією та обслуговуванням обладнання харчових виробництв, зокрема холодильного. Професіоналізм майбутнього інженера насамперед залежить від володіння знаннями про будову та властивості конструкційних матеріалів, закономірності їх поведінки в різноманітних умовах експлуатації, технологію виробництва відповідних матеріалів.

Лабораторні та практичні заняття проводяться паралельно з вивченням теоретичного курсу дисципліни. Студенти вивчають теоретичні розділи за конспектами лекцій і фаховою літературою під час самостійної підготовки до практичних занять.

Для успішного виконання лабораторних і практичних робіт студенти попередньо мають підготуватися шляхом вивчення додаткової літератури, ознайомлення зі змістом роботи та методикою проведення. На початку кожного заняття проводиться контроль ступеня підготовки студентів, під час якого викладач приймає рішення про допущення чи недопущення до занять.

На початку проведення лабораторних робіт студенти ознайомлюються з правилами безпеки та роботи в лабораторії. Викладач проводить інструктаж із техніки безпеки та правил експлуатації лабораторного обладнання. Вмикання обладнання дозволяється тільки в присутності викладача. Під час проведення лабораторних робіт не слід залишати без нагляду обладнання, яке працює.

Лабораторні та практичні роботи проводять у такому порядку:

- Вивчаються теоретичні положення з данної теми;
- Вмикають обладнання та проводять лабораторну роботу за вказівками викладача;
- Роблять відповідні розрахунки, передбачені порядком виконання роботи;
- Для закріплення матеріалу розв'язують додаткові завдання;
- Після виконання всіх завдань, поставлених у роботі, складають звіт, який захищають наприкінці заняття.

До кожної лабораторної та практичної роботи подано контрольні запитання для оцінювання якості засвоєння набутих знань і навичок. Під час проведення робіт здійснюється поточний контроль успішності студентів.

ВИВЧЕННЯ НАЙПРОСТІШИХ МЕТАЛЕВИХ СПЛАВІВ

1. МЕТА РОБОТИ

1. Вивчення методики побудови діаграм стану сплавів методом термічного аналізу на прикладі сплавів свинець - сурьма, олово-цинк.
2. Вивчення залежності мікроструктури сплавів від концентрації компонентів.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

1. Термічний аналіз

Відомо, що будь-яка зміна стану металів і сплавів (фазове, внутрішньофазове або структурне перетворення) викликає зміну ентальпії, тому супроводжується тепловим ефектом – виділенням або поглинанням тепла. Таким чином, якщо під час нагрівання або охолодження вдасться зафіксувати тепловий ефект, про який свідчить і зміна температури металу, то можна виявити вид перетворення та визначити умови, які сприяють їм або їх гальмують.

Реєстрація теплового ефекту перетворення може бути здійснена різними засобами, у тому числі замірянням теплоємності, бо з виділенням тепла теплоємність падає, а з поглинанням – різко підвищується. Зміна теплоємності залежно від температури дає можливість визначити тип перетворення : якщо її величина прагне до нескінченності, то мова йде про фазове перетворення першого роду (за Л.Д. Ландау), якщо ж теплоємність збільшується або знижується, то це засвідчує фазове перетворення другого роду. При цьому визначається температура перетворення, крім того, можна розрахувати тепловий ефект відповідного перетворення. Однак експериментальне визначення величини теплоємності є досить складним, а вимірювання теплового ефекту не завжди необхідні.

У практиці металознавства найчастіше застосовується термічний аналіз, експериментальна техніка проведення якого є менш складною. У випадку термічного аналізу зміна теплоскладу характеризується зміною температури, яка зазвичай фіксується у функції часу нагрівання або охолодження металу.

У ході термічного аналізу автоматично записують або будують за експериментальними даними графічну залежність – зміну температури за часом у процесі нагрівання (або охолодження) із постійною швидкістю. Поява теплового ефекту викликає за відповідної температури появу різного виду аномалій (ступенів, перегинів), тому він може бути зареєстрований, і тим самим виявлено відповідне перетворення. Використання різних схем термічного аналізу разом із високочутливою вимірною апаратурою

дозволяє досить точно визначати температури перетворення в разі зміни агрегатного стану (наприклад, під час плавлення або затвердіння) при поліморфному, евтектоїдному та інших перетвореннях.

Плавлення та затвердіння є фазовими перетвореннями першого роду, тому вони супроводжуються різкими змінами ентальпії і, відповідно, значними тепловими ефектами. Про ці зміни свідчить характер залежностей температури за часом, які зображуються у вигляді кривих нагрівання або охолодження (термограми). За ними можна досить точно визначити температури плавлення або кристалізації металевих сплавів. Вигляд цих кривих (термограм) дозволяє характеризувати специфічні особливості таких перетворень.

2.2. Метод простого термічного аналізу

За методом простого термічного аналізу матеріал, який досліджується, поміщають у нагрівальний пристрій. Якщо визначають температури плавлення або кристалізації, то цей метал поміщають у тигель та доводять до плавлення. У тигель вводять гарячий спай термопар, який відповідним чином ізольований від безпосереднього контакту з металом. Для визначення перетворень у твердому стані зразок поміщають у нагрівальний пристрій таким чином, щоб виключити безпосередній вплив випромінювання від нагрівачів, наприклад, шляхом установа екранів. У середині цього зразка висвердлюють отвір і в нього вводять гарячий спай термопар, що дозволяє спостерігати його дійсну температуру. Холодний спай від зазначених термопар виводять до вимірювальних приладів. За показниками цих приладів – за окремими замірами температури через певні проміжки часу або шляхом автоматичного запису – отримують графіки $T = \varphi(\tau)$. За появою аномалій – перегинів або зупинок (площадок) – визначають критичні точки, тобто температури перетворень.

2.3. Метод диференціального термічного аналізу

Диференціальний термічний аналіз використовують для визначення температур перетворень, які супроводжуються виділенням або поглинанням невеликої кількості тепла, що пов'язано або з малою величиною самого ефекту перетворення (характерно для перетворення у твердому стані), або з невеликою кількістю металу, що досліджується. Можливість реєстрації такої малої кількості тепла пояснюється використанням у цьому методі високочутливої реєструючої апаратури, що неможливо для простого термічного аналізу. Під час диференціального термічного аналізу

використовується одночасне нагрівання (або охолодження) еталонної та досліджуваної речовини як у твердому, так і в розплавленому стані. Це дозволяє видалити випадкові коливання швидкості нагрівання (охолодження), які однаково впливають на температуру еталона та зразка, і

тому не спричиняють появи різниці температур між ними. Із цієї причини використання еталона при диференціальному термічному аналізі виключає необхідність забезпечення постійної швидкості нагрівання (охолодження), як при звичайному термічному аналізі. Диференціальний термічний аналіз заснований на появі саме в момент перетворення в зразку різності температур між ним та еталоном, яка фіксується диференціальною термопарою. Так, електро рушійна сила, яка з'являється в цій термопарі, фіксується високочутливим приладом.

Диференціальна термопара складається з двох гарячих спаїв, з'єднаних загальним електродом (рис. 1.1). За однакових температур еталона та зразка різниця температур між ними дорівнює нулю, а в момент перетворень може бути більше або менше нуля залежно від знака теплового ефекту (рис. 1.2).

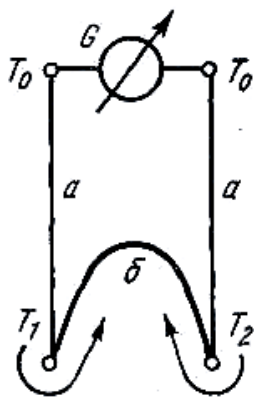


Рисунок 1.1 –Схема диференціальної термопари: а – електроди з одного матеріалу; б – електрод з іншого матеріалу; T_1 , T_2 – гарячі спаї

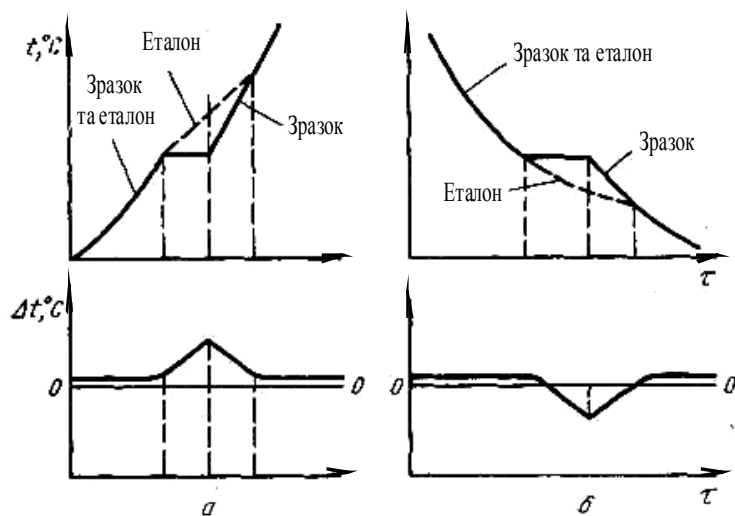


Рисунок 1.2 –Схема вимірювання температури ($t, ^\circ\text{C}$) та різниці температур ($\Delta t, ^\circ\text{C}$) під час нагрівання зразка, в якому відбувається фазове перетворення

Застосовують різні варіанти диференціального термічного аналізу, які відрізняються способом запису термограм. Найбільш розповсюджені наступні два варіанти. За першого варіанта термограми будуються на основі замірів температури зразка та різниці температур, які зафіксовані через однакові проміжки часу. При цьому використовують пірометр Н.С. Курнакова (рис. 1.3), запис здійснюють оптичним методом за допомогою двох дзеркальних гальванометрів, з'єднаних із абсолютною та диференціальною термопарами, сигнали яких фіксуються у вигляді безперервних кривих на фотопері, що закріплений на барабані та обертається з певною швидкістю.

За другого варіанта термограми отримують шляхом автоматичного запису з використанням двокоординатного самописного приладу.

За першого варіанта критичні температури визначають за двома кривими, які сумісні по осі часу або сумісні в приладі Н.С. Курнакова $T = \varphi(\tau)$ та $\Delta T = \varphi(\tau)$ (рис. 1.4). На рис. 1.5 наведено результати диференціального термічного аналізу перетворень у вуглецевій сталі У8А. Температура критичної точки A_1 чіткіше виявляється по диференціальній кривій, ніж по абсолютній кривій зміни температури. Точність аналізу в цьому випадку вища, ніж за звичайного термічного.

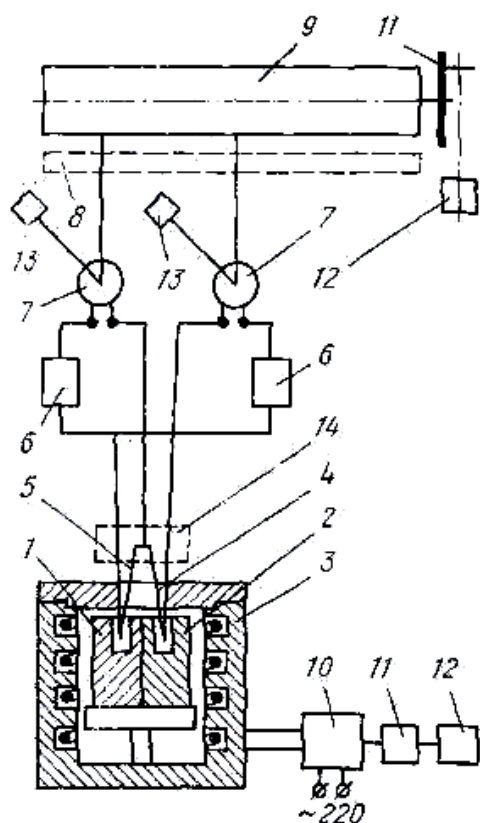


Рисунок 1.3 – Схема пірометра Н.С. Курнакова: 1 – зразок; 2 – еталон; 3 – електроніч; 4 – диференціальна термопара; 5 – звичайна термопара; 6 – магазин опору; 7 – дзеркальні гальванометри; 8 – лінза; 9 – барабан з фотопапером; 10 – електро трансформатор; 11 – редуктор; 12 – електродвигун; 13 – просвітлювачі гальванометра; 14 – система термо-статкування холодних спаїв термопар

Еталон і зразок (рис. 1.5) мають однакові температури під час нагрівання від точки 1 до точки 2 та під час охолодження від точки 3 до точки 4, а в інтервалі температур від 2 3 та від 4 до 5 температури цих зразків розрізняються.

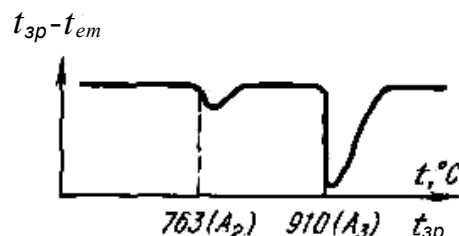


Рисунок 1.4 – Термограма диференціального аналізу заліза

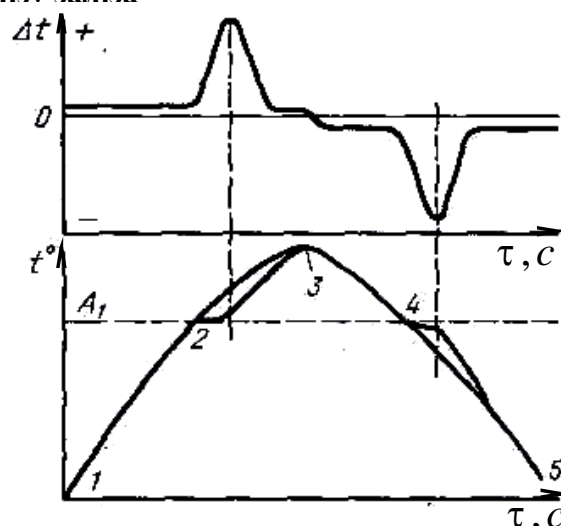


Рисунок 1.5 – Зміна температури ($t, ^\circ\text{C}$) та різниці температур ($\Delta t, ^\circ\text{C}$) за показниками диференціальної термопари під час визначення критичних точок сталі У8А диференціальним термічним методом

2.4. Визначення температури кристалізації методом простого термічного аналізу в лабораторіях

Для роботи застосовують сталевий тигель (рис. 1.6), краще з нержавіючої сталі, або фарфоровий чи кварцовий. У тигель поміщають сплав заданого складу масою не менше 150 – 200 г (при меншій кількості сплаву критичні точки на кривій охолодження виявляються недостатньо чітко). Для кожного сплаву необхідно мати спеціальний тигель, щоб запобігти забрудненню. Для запобігання окисненню дзеркало розплаву необхідно закрити шаром деревного вугілля. Сплав розплавляють, нагріваючи дещо вище точки плавлення.

Для простоти проведення термічного аналізу вибирають сплави легкоплавких металів, які дають під час кристалізації достатньо великий тепловий ефект (наприклад, сплави свинець – сурма, олово – цинк). Після розплавлення сплав перемішують фарфоровою або графітовою паличкою та

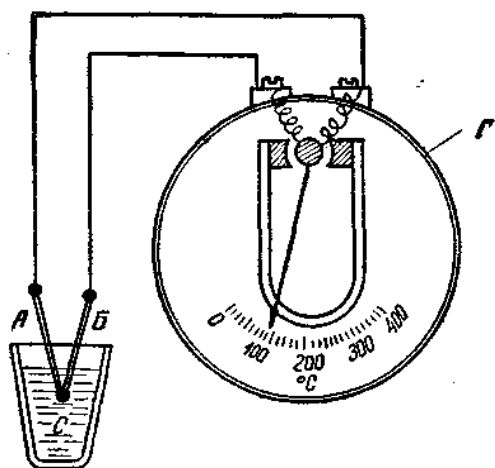


Рисунок 1.6 – Схема установки для термічного аналізу: а, б – провідники з різних металів (термопара); с – гарячий спай термопари; г – потенціометр

встановлюють у нього термопару, захищену від безпосередньої дії металу спеціальною трубкою з фарфору, кварцу або корозійностійкої сталі. Термопару приєднують до стрілкового мілівольтметра або використовують потенціометр, що забезпечує більш високу точність.

Після цього тигель закривають вогнетривкою кришкою та шаром азбесту й вимикають піч до охолодження сплаву. Якщо таке охолодження видається дещо прискореним, його уповільнюють, зменшуючи силу струму, не вимикаючи піч. Від моменту початку охолодження записують показники мілівольтметра через кожні 30 та 60 с, аж до закінчення кристалізації та охолодження протягом 2 – 3 хв. вже повністю затверділого сплаву.

Результати експерименту оформлюють графічно, у вигляді кривих у координатах температура – час або термоелектрорушійна сила – час; в останньому випадку температуру визначають тільки для критичних точок (точок перегину та зупинок) по градууювальним кривим.

3. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Засвоїти методики побудови діаграм стану сплавів методом термічного аналізу.
2. Вивчити залежності хімічного складу сплавів від концентрації компонентів.

3. Для закріплення матеріалу вирішити наведені нижче завдання.

Завдання 1

За критичними точками металу або сплаву, використовуючи діаграму складу свинець – сурьма (рис. 1.7), визначити його хімічний склад. Використовуючи закономірності Курнакова, схематично зобразити характер зміни твердості сплавів цієї системи.

Завдання 2

У доевтектичному сплаві системи свинець – сурьма, об'єм, зайнятий евтектикою становить приблизно 40%. Визначити хімічний склад сплаву.

Завдання 3

У заевтектичному сплаві об'єм, зайнятий евтектикою, становить 70%. Визначити хімічний склад сплаву, якщо евтектика містить 87% Pb.

Завдання 4.

За правилом фаз визначити склад твердої та рідкої фаз, що утворилися при температурі 400°C. Визначити кількісне співвідношення твердої та рідкої фаз сплаву зі вмістом Sn – 75%, Pb – 25% та температурі $t=450^{\circ}\text{C}$.

Завдання 5

На основі експериментально отриманих кривих охолодження сплавів (рис. 1.8) та даних про температури плавлення чистих металів побудувати в масштабі діаграму сплаву олово – цинк, ураховуючи, що форма діаграми подібна до форми діаграми Pb – Sb. Температура плавлення чистого олова $t_{\text{пл}}=232^{\circ}\text{C}$, чистого цинку $t_{\text{пл}}= 418^{\circ}\text{C}$.

4. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Поясніть суть термічного аналізу.
2. У чому принципова різниця простого та диференціального термічного аналізу?
3. Охарактеризуйте будову та принцип дії простої та диференціальної термопар.
4. Яке основне приладдя застосовують для термічного аналізу?
5. Які структурні зміни відбуваються під час охолодження сплавів?
6. Що таке критична точка під час охолодження (нагрівання) металів або сплавів? Поясніть її фізичне значення.
7. Накресліть криву охолодження для сплаву 30% Pb та 70% Sb.
8. Визначити склад твердої та рідкої фази сплаву олово – цинк при $t=280^{\circ}\text{C}$.

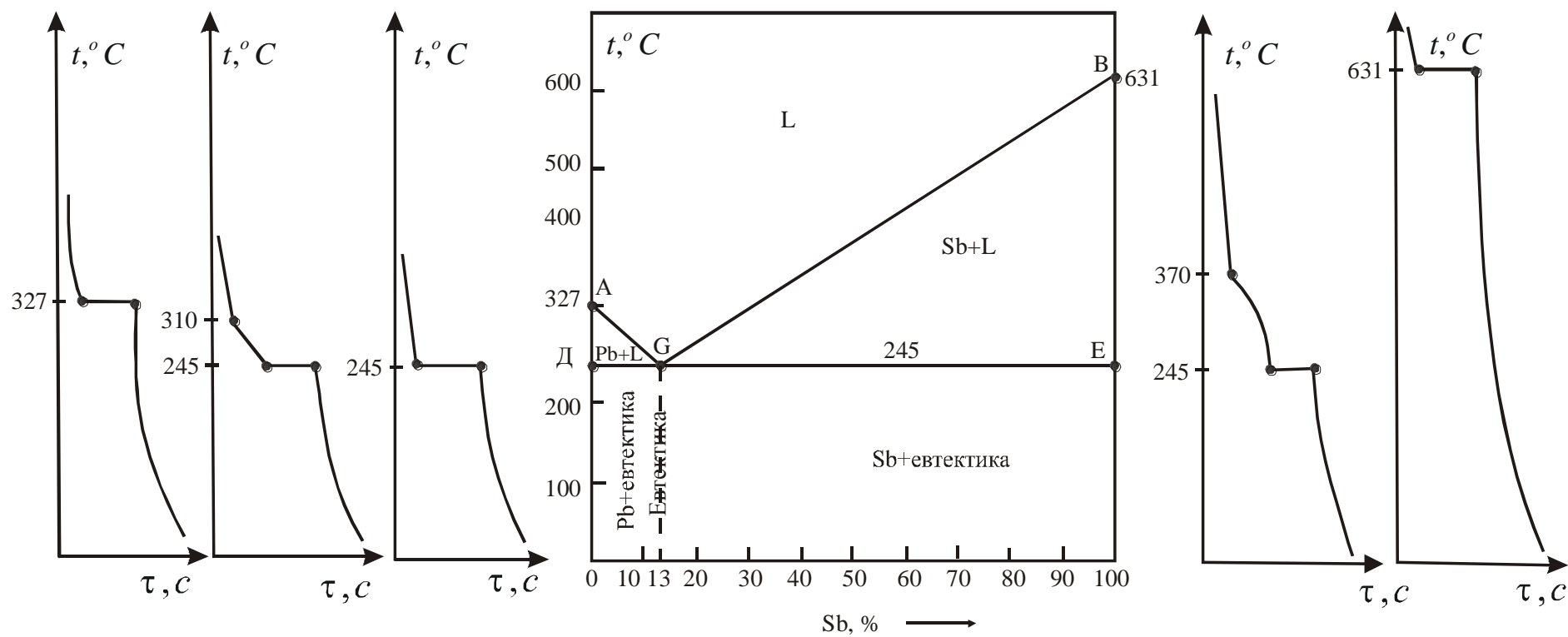


Рисунок 1.7 – Криві охолодження та діаграма стану системи свинець – сурма

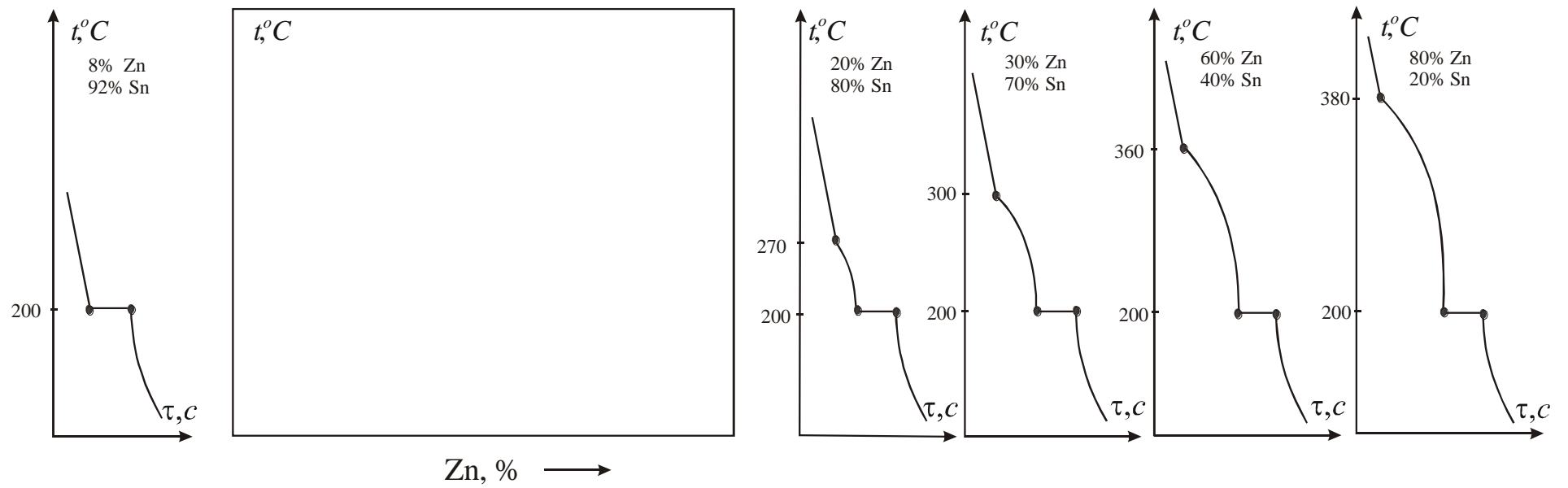


Рисунок 1.8 – Криві охолодження системи олово – цинк

КРИСТАЛІЗАЦІЯ МЕТАЛЕВИХ СПЛАВІВ

1. МЕТА РОБОТИ

1. Вивчення процесу формування кристалів під час переходу речовини з рідкого стану у твердий.
2. Вивчення залежності величини кристалів після кристалізації від швидкості охолодження металу.

2. ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

Кристалізацією називається перехід матеріалу при певній температурі з рідкого (або газоподібного) стану у твердий. Кристалізація, як і всі самочинні природні процеси, відбувається зі зменшенням вільної енергії, що забезпечує перехід речовини до термодинамічно стійкішого стану.

Енергетичний стан будь-якої системи характеризується певним запасом внутрішньої енергії. Та частина енергії, яка в ізотермічних умовах може бути перетворена на роботу, називається вільною:

$$F = U - TS, \quad (2.1)$$

де U – повна внутрішня енергія системи;

T – температура;

S – ентропія.

Чим менша вільна енергія системи, тим вона стійкіша. Згідно з другим законом термодинаміки будь-яка система прагне до стійкішого стану, тобто до мінімального значення вільної енергії. Будь-який мимоволі поточний процес відбувається тільки в тому випадку, якщо новий стан стійкіший. Перехід речовини в рідкий стан і навпаки також підпорядковується цьому закону: якщо меншу вільну енергію має тверде тіло, то відбувається процес *кристалізації*, і навпаки, при меншій вільній енергії рідкого стану – *плавлення*.

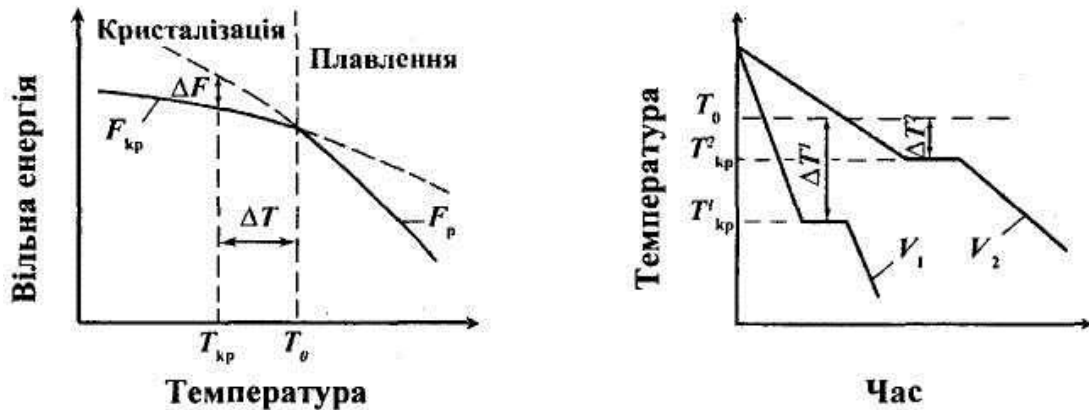
Залежність зміни вільної енергії металу в рідкому і твердому станах від температури наведена на рис. 2.1. Зі збільшенням температури величина вільної енергії як рідкої, так і твердої фаз зменшується, але закони зміни різні.

При температурі T_0 вільна енергія твердої і рідкої фаз однакові ($F_p = F_{кр}$), що дає можливість їх одночасного існування. Така температура називається рівноважною. Щоб почався процес кристалізації, необхідна різниця вільних енергій ΔF_1 твердої і рідкої фаз. Відповідно до цього температура $T_{кр}$ відповідає температурі кристалізації.

Різниця за абсолютною величиною між рівноважною і температурою кристалізації називається ступенем переохолодження:

$$\Delta T_1 = T_0 - T_{кр}, \quad (2.2)$$

Чим більший ступінь переохолодження ΔT , тим більша різниця вільних енергій ΔF , і тим інтенсивнішим є перебіг кристалізації (рис. 2.1).



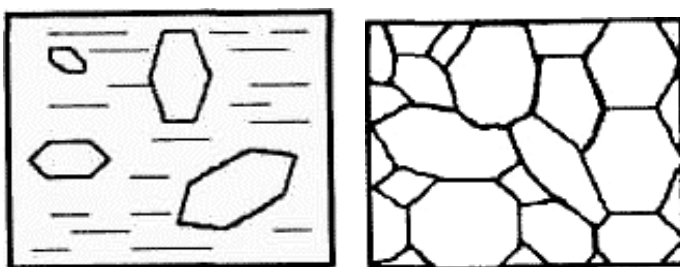
а

б

Рисунок 2.1 Перебіг кристалізації: а – схема зміни вільної енергії рідкої та твердої фаз металу залежно від температури; б – охолодження металу з різними швидкостями

Уперше докладне дослідження кристалізації було проведене російським інженером-металургом Д.К. Черновим. Він довів, що процес кристалізації складається з двох етапів: утворення центрів і зростання кристалів із цих центрів.

Під час кристалізації ріст кристала із зародка відбувається шляхом упорядкованого приєднання атомів із рідкої фази до його поверхні. При цьому ділянки поверхні з густішим упакуванням атомів рухаються в розплав із меншою швидкістю, ніж ділянки поверхні з малою густиною упакування. Поки кристали оточені рідкою фазою, вони ростуть вільно і мають майже правильну геометричну форму, яка визначається анізотропією швидкості росту кристалів (рис. 2.2, а). Унаслідок взаємного зіткнення граней сусідніх кристалів їх правильна форма спотворюється (рис. 2.2, б). Кристали довільної форми, що утворилися після завершення кристалізації, називаються кристалітами або зернами.



а

б

Рисунок 2.2 – Схема росту кристалів під час кристалізації: а – початок кристалізації; б – завершення кристалізації

Кожне із зерен відрізняється від своїх сусідів кристалографічною орієнтацією. Кут розорієнтування однотипних кристалографічних площин сусідніх зерен змінюється в межах від кількох до десятків градусів. Кристалічні матеріали, структура яких складається з великої кількості зерен, називаються полікристалами.

Швидкість кристалізації кількісно характеризується швидкістю зародження центрів і швидкістю росту кристалів. Кількість *центрів кристалізації*, що зароджуються за одиницю часу, має розмірність $1/\text{мм}^3$ (кількість центрів, що виникають в 1 мм^3 об'єму металу за секунду). *Швидкість росту кристала* – це збільшення лінійних розмірів кристала за одиницю часу (м/год). Залежність кількості центрів кристалізації і швидкості росту кристалів від ступеня переохолодження наведені на рис. 2.3.

При рівноважній температурі ($T = 0$) значення швидкості росту та кількість центрів кристалізації дорівнюють нулю, тому кристалізація не відбувається. Зі збільшенням ступеня переохолодження зростає різниця вільних енергій твердої і рідкої фаз, що веде до збільшення кількості центрів кристалізації та швидкості їх росту.

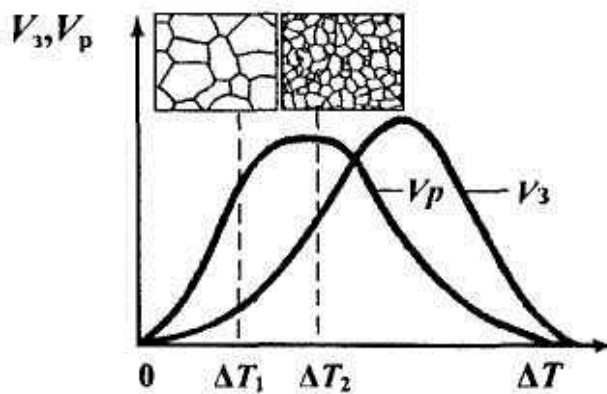


Рисунок 2.3 – Вплив ступеня переохолодження на кількість центрів кристалізації V_z і швидкість росту кристалів V_p

Якщо рідину переохолоджується до температури, що відповідає точці ΔT_1 , то утворюються великі зерна, оскільки швидкість росту буде велика при малому значенні центрів кристалізації, а при малих значеннях швидкості росту і великій кількості центрів кристалізації (точка ΔT_2) утворюється велика кількість дрібних кристалів.

Якщо дуже сильно переохолоджується рідина, то утворення кристаліти не утворюються, оскільки при низьких температурах рухомість атомів (дифузія) зменшується, і вони через хаотичне розташування в рідині не встигають утворювати кристалічні ґрати. Отже, у цьому випадку утворюється аморфне тіло.

У металів і сплавів теж можливе виникнення аморфного стану, якщо швидкості охолодження будуть у межах $10^6 \dots 10^{10} \text{ } ^\circ\text{C}/\text{с}$. Такі сплави називають «металеве скло». Вони мають високу твердістю, пластичність, міцність. При великій товщині аморфні сплави отримати не вдається, оскільки вирішальну роль починає відігравати тепловідведення з середніх шарів. Тому аморфні сплави випускають у вигляді стрічки, фольги.

На процес кристалізації, розмір і форму кристалів впливають (окрім ступеня переохолодження) й інші чинники: сторонні неметалеві домішки, механічні дії, теплоємність і теплопровідність металу (сплаву), температура розплавленого металу й форми, стан поверхні та ін.

Розмір зерна металу сильно впливає на його механічні властивості. Чим дрібніше зерно має метал, тим механічні властивості кращі. Досить часто штучно регулюють розмір зерна у відливках шляхом уведення в розплавлений метал нерозчинних речовин. Нерозчинні включення відіграють роль центрів кристалізації, від кількості яких залежить отримання певного розміру зерна. Чим більше домішок, тим більше центрів кристалізації і тим дрібніше виходить зерно. Цей процес називається *модифікуванням*, а речовини, які з цією метою використовуються, – модифікаторами.

Унаслідок кристалізації утворюється структура зливка, який складається з трьох зон, кожна з них характеризується своїм розміром зерна, що утворилося під час кристалізації при різних швидкостях охолодження (рис. 2.4). Перша зона – зовнішня дрібнозерниста кірка. Вона утворюється внаслідок зіткнення розплавленого металу з холодними стінками виливниці. Метал при цьому сильно переохолоджується й утворює значну кількість центрів кристалізації. Додатково на це впливають тверді часточки та виступи на внутрішній поверхні виливниці. Ця зона має невелику глибину.

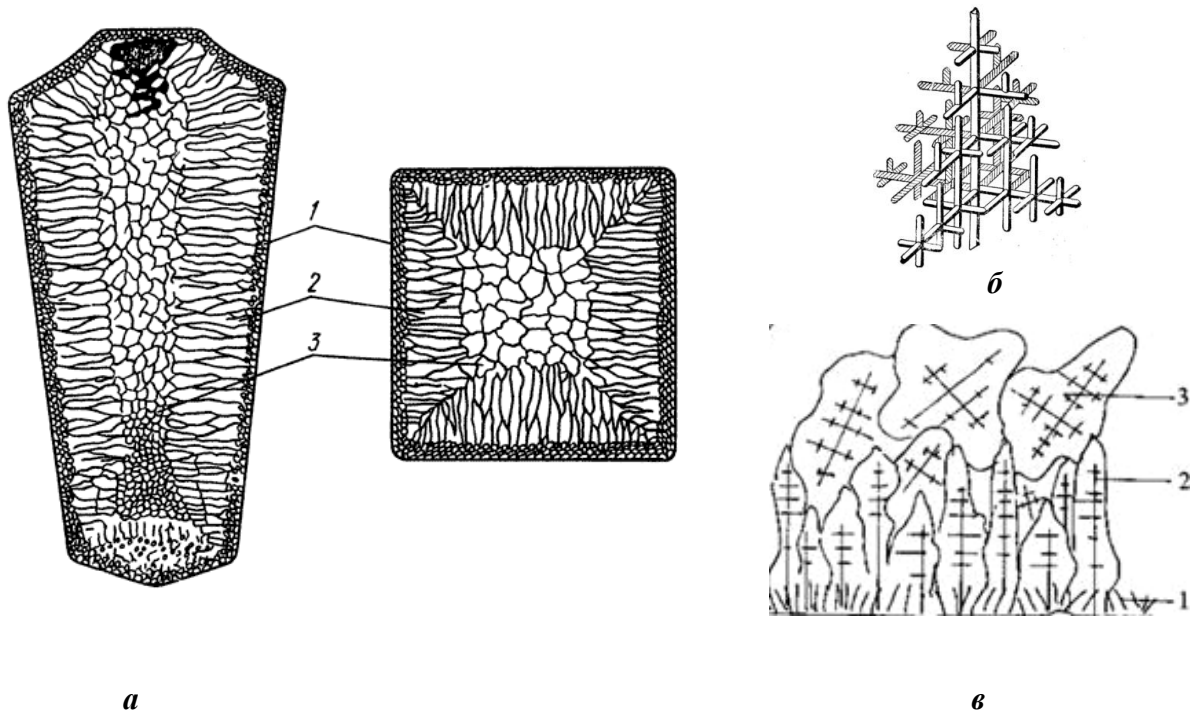


Рисунок 2.4 – Сталевий злилок: а – схема будови; б – вигляд дендритів у зливку; в– збільшена частина зливка; 1 – зовнішня дрібнозерниста кірка; 2 – великі стовбурові кристали; 3 – рівноважні кристали

Друга зона характеризується утворенням великих кристалів у вигляді стовпців (дендрити), які ростуть перпендикулярно стінкам та дну виливниці в бік, зворотний напрямку відведення теплоти від рідини.

Третя зона складається з різноорієнтованих рівновісних кристалів різного розміру, які завжди більші, ніж кристали першої зони. Стовпчасті кристали другої зони шкідливо впливають на механічні властивості малопластичних металів. Особливо неміцними є місця з'єднання дендритів, де, як правило, виникають різні дефекти структури – пустоти, неметалеві включення та ін.

Дуже часто в зливку утворюються усадкові раковини. Рідкий метал має більший об'єм, ніж кристалізований, тому залитий у виливницю метал під час кристалізації зменшується в об'ємі, що приводить до утворення пустот, які називаються усадковими раковинами. Вони можуть бути сконцентровані в одному місці або розподілені по всьому об'єму виливка.

3. ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛИ ТА ІНСТРУМЕНТИ

Водяні розчини солей [SiSO_4 , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, NaCl , $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, NH_4Cl тощо], біологічний мікроскоп, електрична плитка з пісочною банею, скляні пластинки, колби, палички.

4. ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Дослідити кристалізацію реального металевого сплаву в умовах навчальної лабораторії майже неможливо. У зв'язку з цим процес кристалізації в цій лабораторній роботі вивчається на прикладі кристалізації солей з їх розчинів, яка відбувається подібно до кристалізації металевих розплавів.

1. Розчини солей нагріти на пісочній бані, водні до температури $70 \dots 80^\circ\text{C}$.
2. Забезпечити чітке зображення об'єкта під біологічним мікроскопом.
3. Дослідити вплив швидкості охолодження розчину вибраної солі на величину кристалів. Для цього необхідно перенести скляною паличкою на попередньо знежирене холодне предметне скло краплю нагрітого розчину солі й спостерігати процес кристалізації під мікроскопом.
4. Експеримент повторити в ідентичних умовах (розмір краплі, місце спостереження в центрі краплі, вид солі, температура розчину), змінивши тільки температуру предметного скла нагріванням на краю пісочної бані, що забезпечить зменшення швидкості охолодження краплі.
5. Зарисувати структури на початку кристалізації та після її завершення, схематично відтворюючи форму та відносні розміри кристалів.

5. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що таке кристалізація?
2. Від чого залежить ступінь переохолодження?

3. Як впливає розмір зерна на механічні властивості сплавів?
4. Що називається модифікуванням? З якою метою його проводять?
5. Які існують зони кристалізації сталюого виливка?
6. Поясніть вплив швидкості охолодження під час кристалізації на структуру виливків.

Лабораторна робота № 3

МАКРОСТРУКТУРНИЙ АНАЛІЗ МЕТАЛІВ

1. МЕТА РОБОТИ

1. Ознайомлення з методикою проведення макроструктурного аналізу.
2. Вивчення характерних видів зламів та виявлення макродефектів.
3. Вивчення мікроструктури литої та деформованої сталі на макрошліфах.

2. ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

2.1. Методика макроструктурного аналізу

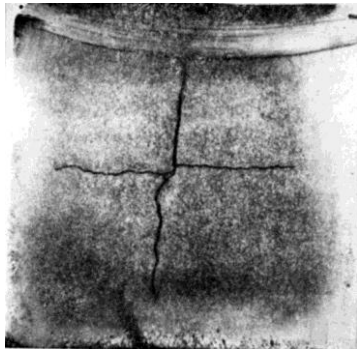
Макроструктурний аналіз – вивчення будови металів і сплавів неозброєним оком або з невеликим збільшенням за допомогою лупи.

Макроаналіз дозволяє:

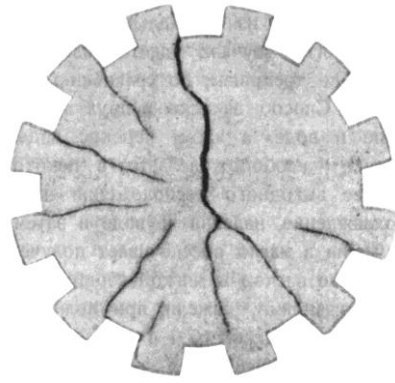
1. робити висновки про якість металу шляхом зовнішнього огляду виробу з метою виявлення на його поверхні різноманітних дефектів (тріщини, пори, ливарні, усадкові раковини та ін.) (рис. 3.1, а, б);
2. виявити особливості будови металу в зливку після його твердіння (рис. 3.1, в);
3. установити спосіб виробництва деталі на машинобудівному підприємстві, тобто визначити процес формоутворення цього виробу (обробка тиском, зварювання, різання) (рис. 3.2 – 3.4.);
4. установити причини і характер руйнування деталей.

Макроаналіз є найбільш простим і доступним методом дослідження, оскільки для його проведення не потрібне спеціальне устаткування. Разом з тим, цей метод достатньо інформативний, оскільки дозволяє спостерігати одночасно велику поверхню заготовки або деталі.

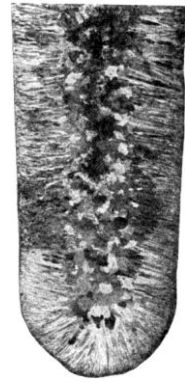
Макробудову можна вивчати не тільки безпосередньо на поверхні металу, але і в зламі заготовки (деталі), а також після попередньої підготовки досліджуваної поверхні, що полягає в її шліфуванні та травленні спеціальними реактивами. Шліфований і протравлений зразок називають *макрошліфом*.



а

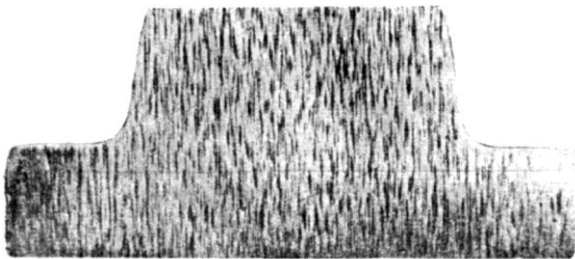


б



в

Рисунок 3.1 – Макроструктури сталевих виробів: а – кувальні тріщини деформованої заготовки сплаву X35H50BM; б – тріщини на поперечному розрізі валика зачеплення (макрошліф нетравлений); в – макроструктура сталевого зливка



а



б

Рисунок 3.2 – Макроструктура сталених заготовок для шестерень: а – заготовка, виготовлена різанням; б – заготовка, отримана гарячим штампуванням

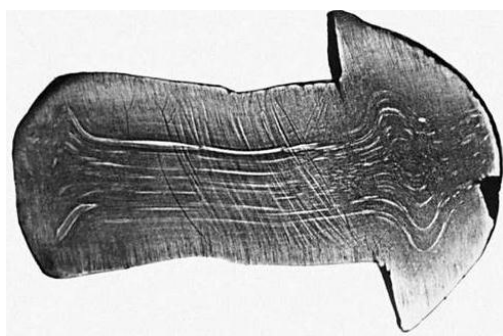


Рисунок 3.3 – Макроструктура кованої сталевій заклепки. Волокна видно внаслідок неоднорідного розподілу домішок у металі. Натуральна величина

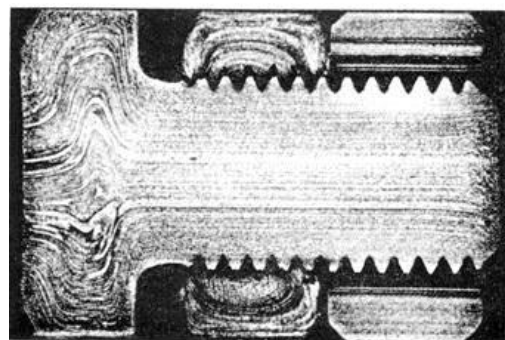


Рисунок 3.4 – Макроструктура деталей, отриманих куванням та різанням: головка болта отримана осадкою, інша частина – витягуванням у холодному стані, різь нарізана. Одна з гайок викувана, друга виточена

Таким чином, у макроаналізі можна виділити три основні прийоми дослідження будови металів і сплавів: огляд поверхні, аналіз зламів і вивчення макрошліфів.

2.2. Дослідження зламів

Зламом називається поверхня, що утворюється внаслідок руйнування металу. Злами металів можуть істотно відрізнятися кольором. Так, сталі й білі чавуни, у яких весь вуглець зв'язаний у цементиті, мають злам світло-сірого кольору. У графітизованих сталей і чавунів, у яких вуглець перебуває переважно у вигляді графіту, злам має чорний колір.

Залежно від складу металу, наявності дефектів, умов обробки й експлуатації виробу розрізняють такі злами: в'язкі, крихкі, змішані та втомні (рис. 3.5).

В'язкий (волокнистий) злам має матовий колір і горбисто – згладжений рельєф, що свідчить про значну пластичну деформацію, яка передувала руйнуванню. Поверхня зламу матова, із дрібним, невиразним зерном.

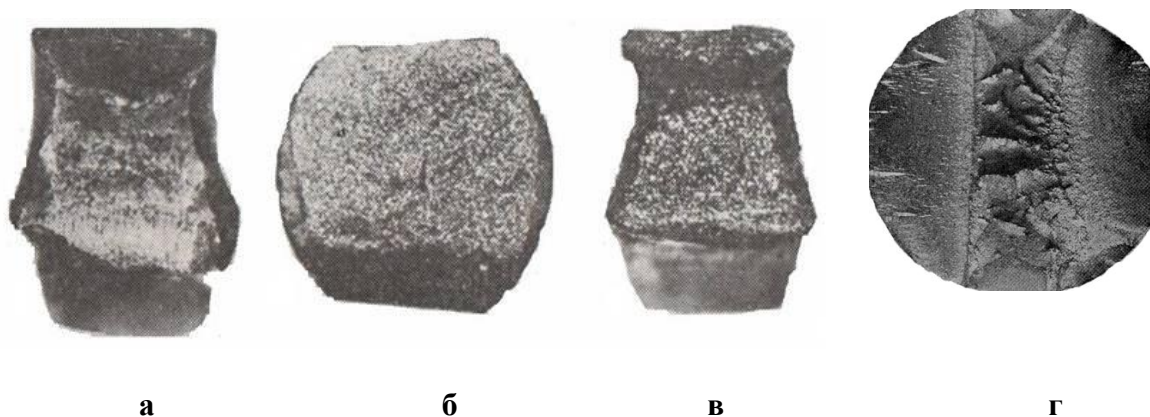


Рисунок 3.5 – Злами сталі: а – в'язкий; б – крихкий; в – змішаний, г – втомний

За виглядом в'язкого зламу не можна робити висновки про форму і розміри зерен металу – кристалів неправильної форми, що утворилися внаслідок кристалізації. На самій деталі виділюються зони значної пластичної деформації, що передувала руйнуванню (рис. 3.5, а). Як правило, причиною в'язкого зламу є перевищення діючого навантаження над розрахунковим.

Крихкий (кристалічний) злам характеризується наявністю на поверхні плоских блискучих ділянок (фасеток) (рис. 3.5, б). Злам може проходити як по межах зерен (міжкристалічний), так і по самих зернах металу (транскристалічний). Руйнування відбувається без помітної пластичної деформації, тому при крихкому зламі видно форму і розмір зерен металу. Крихке руйнування спричиняють поверхневі, та конструктивні дефекти низька температура й ударні навантаження під час роботи, велике зерно, виділення по межах зерен крихких прошарків, міжкристалічна корозія.

Крихкий злам може бути вкритий рубцями (рис. 3.6). У місці початку руйнування (ділянка I) рубці бувають дуже дрібними і тонкими, на ділянці II вони грубші. Напрямок рубців, що розповсюджуються від фокуса зламу, дає змогу визначити місце, від якого розпочався процес руйнування. Поверхня дуже крихких зламів переважно однорідна і на них складно розрізнити зони з дрібнішою чи грубішою шорсткістю.



Рисунок 3.6 – Крихкі злами

Крихке руйнування є найбільш небезпечним, оскільки відбувається найчастіше при напруженнях, менших за межу текучості металу. Різновидами крихкого зламу є нафталінистий, каменеподібний, фарфороподібний та ін.

Нафталінистий злам – транскристалічний, із великим зерном і блиском, подібним до блиску кристалів нафталіну (рис. 3.7, а). Він свідчить про підвищену крихкість сталі та спостерігається в легованих, переважно швидкорізальних сталях. Можливою причиною виникнення такого зламу є порушення термічної обробки сталі, що викликає збільшення зерен.

Каменеподібний злам – це крихкий злам, який виникає якщо метал має грубозернисту будову, а руйнування має переважно міжкристалічний характер (рис. 3.7, б). Причина виникнення такого зламу – виділення по межах зерен крихких прошарків домішок у разі порушення термічної обробки.

Фарфороподібний злам характерний для загартованої сталі, термічно обробленої відповідно до діючої технології, на вигляд матовий, дрібнозернистий.

Втомний злам виникає в результаті тривалої дії на метал напружень і деформацій, що циклічно змінюються в часі (рис. 3.7, в). Злам складається з трьох зон: зародження тріщини, розповсюдження та доламування.

Втомна тріщина виникає в місцях, де є концентратори напружень або дефекти. Перша зона (зона зародження тріщини) плоска і гладка. Збільшуючись у процесі роботи деталі, тріщина утворює зону розповсюдження з концентричними борозенками або дугами і дрібнозернистим, фарфороподібним зламом. Часто вона має окремі ділянки гладкої притертої поверхні. Надломлення відбувається, коли ослаблений тріщиною перетин деталі не здатен витримувати навантаження, що прикладається. Доламування деталі буває в'язким або крихким.

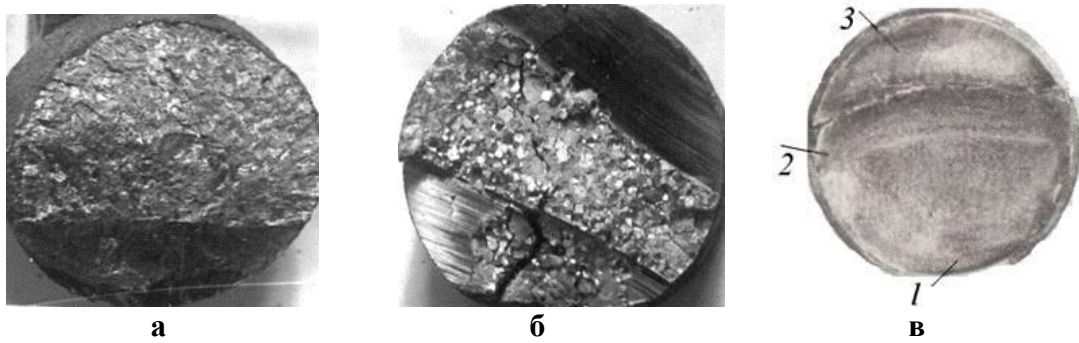


Рисунок 3.7 – Злами сталі: а – нафталіністий злам; б – каменеподібний злам; в – втомний злам; 1 – зона зародження тріщини; 2 – зона розповсюдження тріщини; 3 – зона доламування

Досить часто зустрічаються *змішані злами* (рис. 3.8). На їх поверхнях спостерігаються ділянки як в'язкого, так і крихкого руйнування.

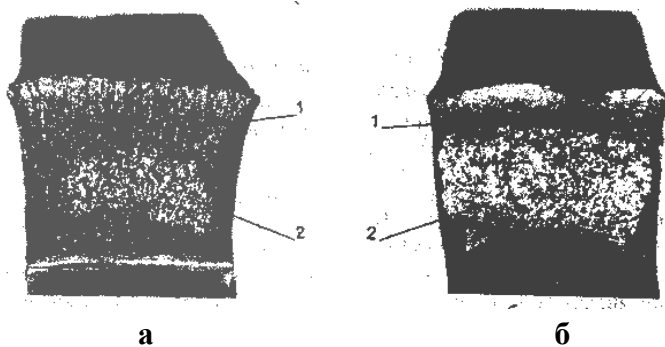


Рисунок 3.8 – Змішані злами зразків після випробування на ударну в'язкість: а – злам із 25 % крихкої складової; б – злам із 65 % крихкої складової; 1 – в'язка складова; 2 – крихка складова

2.2. Дослідження макрошліфів

Під час підготовки макрошліфа для дослідження на металорізальному верстаті або ножівкою по металу з деталі вирізають зразок, одну з плоских поверхонь якого обробляють напилком або на шліфувальному верстаті. Потім зразок шліфують шліфувальною шкіркою різної зернистості. Шліфування першою шкіркою з найкрупнішим зерном необхідно проводити на плоскій основі зворотно-поступальними рухами в одному напрямі, після чого слід змити залишки абразиву водою. Переходячи на шкірку з дрібнішим зерном, зразок повертають на 90 градусів і обробляють до повного зникнення рисок, утворених попередньою шкіркою.

Зразок промивають водою, знежирюють, як правило, етиловим спиртом, просушують і піддають глибокому або поверхневому травленню. Протравлений макрошліф промивають водою для видалення залишків травного розчину, обробляють спиртом і висушують, щоб запобігти корозії поверхні. Травлення більшістю реактивів здійснюють зануренням у них зразка. Реактив активно взаємодіє з ділянками, де є дефекти і неметалеві включення. Він із різною інтенсивністю розчиняє їх або заміщає атоми матеріалу шліфа. Поверхня макрошліфа виявляється рельєфною (рис. 3.9).

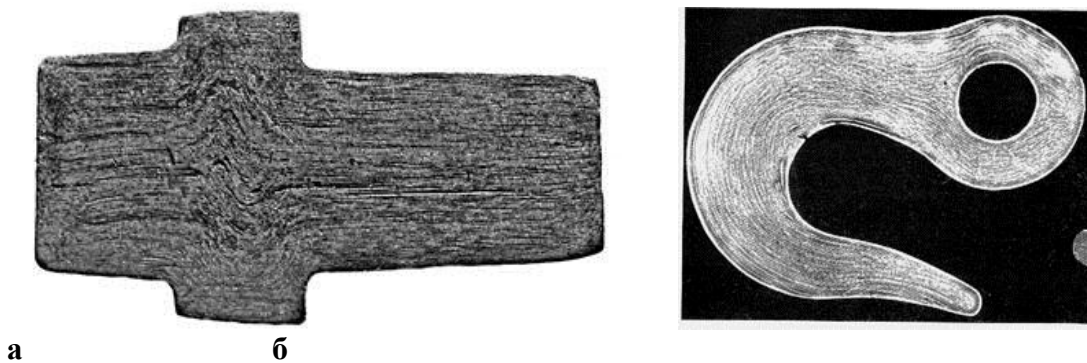


Рисунок 3.9 – Макроструктура металу після глибокого травлення: а – волокниста структура деталі, б – з'єднувальний крок залізничного вагону

Поверхнєве травлення, що проводиться менш агресивними реактивами, дозволяє виявити в сталях, чавунах і кольорових сплавах неоднорідність, будову литого, деформованого або обробленого різанням металу (рис. 3.2 – 3.4), різного роду дефекти, якість зварних з'єднань (рис. 3.10).

За допомогою реактивів глибокого травлення виявляють навіть внутрішні дефекти, яких не видно безпосередньо на поверхні шліфа.

За способом Гейна як реактив застосовується 10 – 12% водяний розчин подвійної хлористо-мідно-алюмінієвої солі, відомий під назвою реактиву Гейна. Макрошліф занурюють у цей розчин на 1 – 2 хвилини.

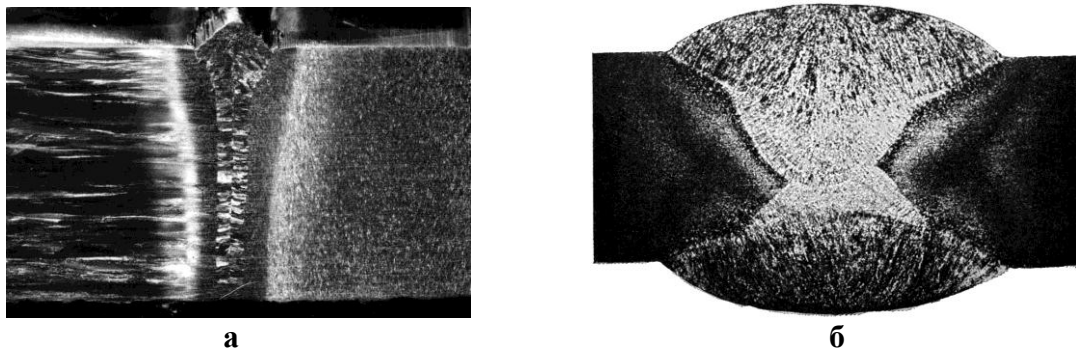
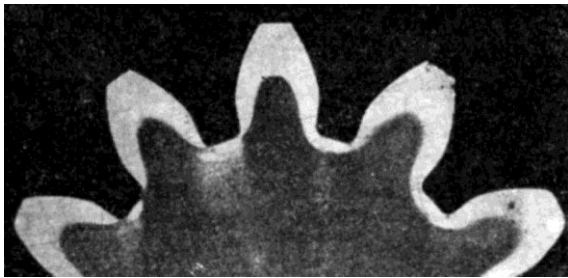


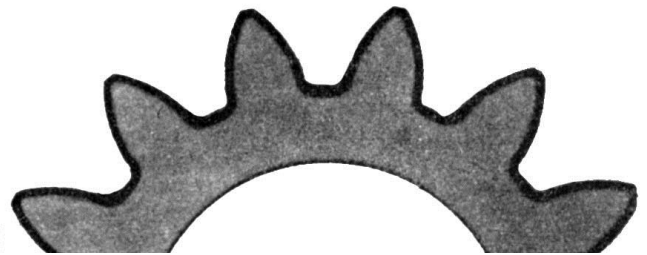
Рисунок 3.10 – Макроструктура зварних з'єднань: а – електронно-променеве зварювання двох товстих листів титанових сплавів; б – двостороннє дугове зварювання під флюсом

Під час взаємодії шліфа й реактиву відбувається заміщення заліза з поверхневого шару шліфа міддю, що міститься в реактиві. Зерна і їх межі мають різний хімічний склад, тому швидкість заміщення по поверхні різна. На поверхні макрошліфа утворюється шар міді різної товщини. Його видаляють м'яким тампоном під струменем води, поверхня стає нерівною і по – різному проявляє будову шліфа.

Травлення способом Гейна дозволяє виявити неоднорідності в розподілі вуглецю, сірки і фосфору, якість термічної і хіміко-термічної обробки, зварювання і наплавлення (рис. 3.11).



а



б

Рисунок 3.11 – Макрошліфи закалених зубчастих коліс: а – закалювання у воді, $\times 3$; б – цементация зубчастого колеса, сталь 20Х2Н2М, $\times 5$

3. ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛИ ТА ІНСТРУМЕНТИ

Набір зламів залізовуглецевих сплавів, набір підготовлених непротравлених макрошліфів зварних з'єднань, лупа, альбом макроструктур.

4. ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Отримати зразки зламів та мікрошліфів.
2. За зовнішнім виглядом зламу необхідно зробити висновок про його характер, особливості й можливі причини руйнування деталі. Зобразити зовнішній вигляд зламу, зазначити на рисунку його зони.
3. Дослідити мікрошліф методом Гейна. Зобразити зовнішній вигляд поверхні до і після травлення, дати пояснення до виявленої макроструктури (наявність неоднорідності, дефектів, вид обробки та ін.).

5. ЗМІСТ І ВИМОГИ ДО ЗВІТУ

1. Зазначити порядковий номер і назву лабораторної роботи, сформулювати мету роботи.
2. Визначити завдання та методи макроаналізу.
3. Навести схеми макроструктур зразків досліджуваних зламів із позначеннями основних їх ділянок та виявлених характерних особливостей будови і дефектів.
4. Навести рисунки мікрошліфів до та після травлення.
5. Зробити висновки про можливі причини руйнування виробу (за будовою зламу), пояснення до виявленої макроструктури.

6. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що таке макроскопічний аналіз, у чому полягає його суть?
2. Які особливості будови металів і сплавів можна виявити завдяки макроаналізу?
3. Що називають макроструктурою?
4. На яких об'єктах (зразках) досліджують макроструктуру?
5. Що називають зломом?
6. За якими ознаками класифікують злами?
7. На які види поділяють злами за особливостями їх будови?
8. Які злами називають крихкими, а які в'язкими (пластичними)?
9. Унас лідок дії яких навантажень виникає втомний злам і з яких основних зон він складається?

Практична робота № 4

ВПЛИВ ДЕФОРМАЦІЇ НА СТРУКТУРУ ТА ВЛАСТИВОСТІ МЕТАЛІВ

1. МЕТА РОБОТИ

1. Вивчити вплив пластичної деформації на будову та властивості металів.
2. Розглянути вплив температури нагрівання на структуру та властивості холоднодеформованих металів і сплавів.

2. ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

2.1 Пружна та пластична деформація

Наявність металевого зв'язку надає металу здібності до пластичної деформації і до самозміцнення в результаті пластичної деформації. Прикладання до матеріалу навантаження спричиняє деформацію.

Деформацією називається зміна розмірів і форми тіла під дією зовнішніх сил або фізико-механічних процесів, що відбуваються в самому тілі (перепад температур, фазові перетворення та ін.). Деформація тіла супроводжується відносним зсувом атомів із положення рівноваги. Властивості недеформованої та пластично деформованого металу відрізняються. Розрізняють пружну та пластичну деформацію.

Пружною деформацією називають деформацію, вплив якої на форму, структуру та властивості тіла зникають після зняття навантаження; вона не спричиняє помітних залишкових змін у структурі та властивостях металу.

Здатність металів до залишкової деформації називається *пластичністю*. У разі зростання дотичних напружень вище зазначеної величини деформація стає незворотною. Зі зняттям навантаження зникає лише пружна складова деформації, частина ж деформації, яку називають пластичною, залишається. Унаслідок пластичної деформації незворотно змінюється структура металу, а отже, і його властивості.

У полікристалічних тілах пластична деформація може здійснюватися як шляхом переміщень усередині зерна (внутрішньозерна), так і зсуванням зерен один відносно одного (міжзернова). В основі перебігу пластичної деформації лежить явище зародження і руху дислокацій під дією дотичних навантажень шляхом зрушення (ковзання) окремих частин кристала один відносно одного по площинах із найбільш щільним розташуванням атомів (рис. 4.1). У металах із об'ємноцентрованими кубічними ґратками зрушення відбувається по діагональних площинах у напрямі просторових діагоналей.

Пластична деформація полікристалічних тіл відбувається досить неоднорідно. Це пояснюється двома обставинами:

1) різною орієнтацією кристалів відносно прикладеної сили, що призводить до неодноразності деформації різних зерен;

2) наявністю міжзернових неметалевих включень, які опираються переміщенню дислокацій та викликають їх локальне скупчення.

Пластична деформація в основному характеризується ковзанням і роздвоєнням (рис. 4.1).

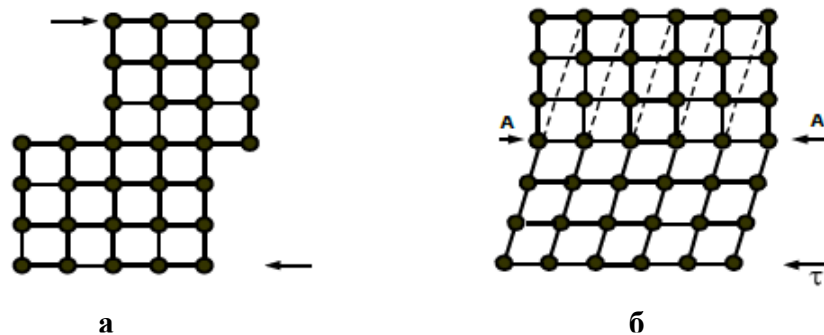


Рисунок 4.1 – Схема пластичної деформації металу: а – ковзанням; б – роздвоєнням

Під час ковзання виникають нові дислокації, і їх щільність збільшується. У недеформованому кристалі щільність дислокацій досягає 10^6 см^{-1} , а в сильно деформованому металі порядку 10^{12} см^{-1} . Пластична деформація деяких металів, що мають щільно упаковані ґрати К12 і Г12, окрім ковзання, може здійснюватися і роздвоєнням, яке полягає в переорієнтації частини кристала в положення, симетричне відносно до першої частини, відносно площини, яка називається площиною двійникування. У разі деформації полікристала окремі зерна змінюють свою форму (витягуються), прагнуть прийняти окреме кристалографічне орієнтування вздовж напрямку дії зовнішніх сил. Зміна орієнтування відбувається поступово, у міру збільшення ступеня деформації. За умови великої деформації

метал набуває певного кристалографічного орієнтування зерен, що називається текстурою.

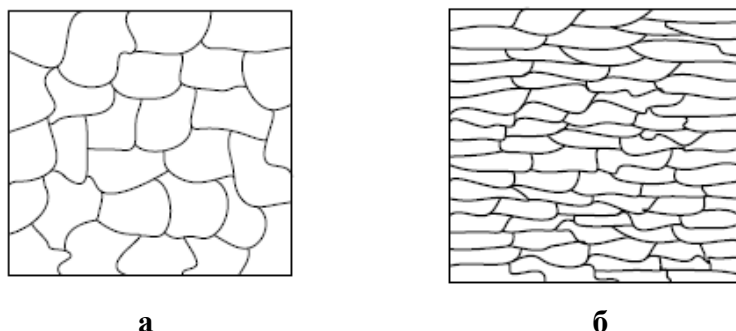


Рисунок 4.2 – Схема зміни мікроструктури За умов пластичної деформації: а – структура металу до деформації; б – структура металу після деформації

У разі пластичної деформації зерна металу витягуються в напрямі плющення, волочиння і набувають форми листочків або волокон (рис. 4.2, б). За великих ступенів деформації зерна розбиваються на більшу кількість фрагментів і блоків, збільшується протравлюваність металу, мікроструктура виявляється нечітко. Утворення *текстури* деформації сприяє тому, що полікристалічний метал стає анізотропним (властивості його змінюються залежно від напрямку випробування).

Зміна механічних властивостей технічного заліза залежить від ступеня холодної пластичної деформації. Зміцнення металу внаслідок пластичної деформації – наклепання пояснюється збільшенням кількості дефектів кристалічної будови (дислокацій, вакансій, міжвузлових атомів). Пластична деформація призводить до зміни фізичних властивостей металу: збільшуються спотворення ґраток і, отже, його внутрішня енергія, зростають твердість, міцність, електричний опір, зменшується пластичність. Деформація відбувається не тільки внаслідок впливу зовнішніх сил, але і в результаті фазових перетворень. Усе це приводить до наклепання. Наклепані метали більш схильні до корозійного руйнування під час експлуатації.

Зі збільшенням ступеня холодної деформації значення характеристик міцності (межа міцності, межа текучості, твердість) зростають, а характеристик пластичності зменшуються. Після деформації в металу зі ступенем деформації до 70% межа міцності й твердість зростають до 3 разів, а межа текучості – до 8 разів, при цьому відносне подовження зменшується до 40 разів.

2.2. Рекристалізація металів

Структурний стан пластично деформованого металу є термодинамічно нестійким. Під час нагрівання пластично деформований метал поступово відновлює свою структуру і знову переходить у стійкий стан. Ступінь і характер деформації, температура, швидкість і тривалість нагрівання впливають на усунення наклепання і зміни в структурі та властивостях металу. Розрізняють дві

стадії процесу при нагріванні: зворот (відпочинок і полігонізація) і рекристалізація (первинна, збірна і вторинна) (рис. 4.3).

Зворот – початкова стадія розміцнення, пов'язана зі змінами в тонкій кристалічній структурі. Зворот першого роду (або відпочинок) відбувається в разі нагрівання до відносно невисоких температур і приводить до часткового зняття пружних спотворень у ґратах. Під час відпочинку в металі перебігає ряд елементарних процесів, основним з яких слід вважати дифузію точкових дефектів і їх зміщення до дислокацій.

Зворот другого роду, або полігонізація, помітно змінює структуру деформованого металу під час нагрівання. Під полігонізацією мають на увазі перерозподіл дислокацій, що призводить до утворення областей кристала, вільних від дислокацій і відокремлених один від одного поверхнями поділу.

Первинна рекристалізація є наступною стадією зміни структури деформованих металів після полігонізації (рис. 4.3). Рекристалізація, тобто утворення нових зерен, відбувається при більш високих температурах, ніж зворот і полігонізація, може початися з великою швидкістю після нагрівання вище певної температури. Співставлення температур рекристалізацій різних металів показує, що між мінімальною температурою рекристалізації і температурою плавлення існує проста залежність

$$T_{рек} = \alpha T_{пл}, \quad (4.1)$$

де $T_{рек}$ – абсолютна температура рекристалізації;
 $T_{пл}$ – абсолютна температура плавлення;
 α – коефіцієнт чистоти металу.

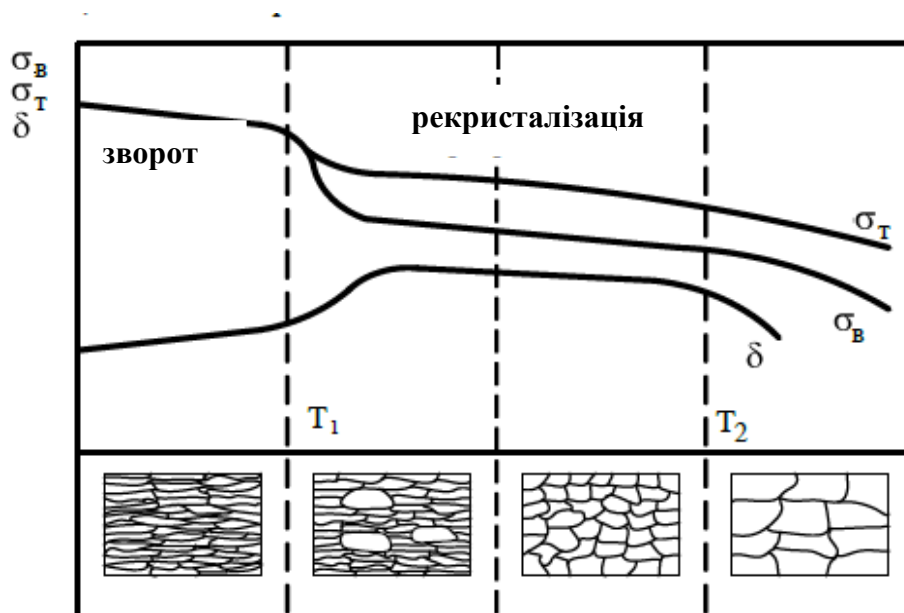


Рисунок 4. 3 – Вплив нагрівання на механічні властивості та структуру деформованого металу

Чим більші значення чистот металу, тим нижча температура рекристалізації. У металів звичайної технічної чистоти $\alpha=0,3\dots0,4$. Температура рекристалізації сплавів, як правило, вище температури рекристалізації чистих металів і в деяких випадках досягає $0,8T_{пл}$. Навпаки, дуже чисті метали мають низьку температуру рекристалізації: $0,2T_{пл}$ і навіть $0,1T_{пл}$.

У деформованому металі формуються і ростуть центри рекристалізації – ділянки з неспотвореними ґратами, відокремлені від матриці межами з великими кутами різної орієнтації. У ході критичної деформації утворюється неоднорідність наклепання різних зерен; вона настільки велика, що внаслідок різниці в накопиченій об'ємній енергії сусідніх зерен під час нагрівання йде швидко міграція окремих меж на відстані, співмірні з розмірами зерен, тобто початкові зерна ростуть за рахунок сусідніх. Крім того, щільність дислокацій і надлишок дислокацій одного знака недостатні, щоб спричинити утворення нових висококутових меж і центрів первинної рекристалізації.

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

Вторинна рекристалізація відбувається в матеріалі при високій температурі й великому збільшенні тривалості відпалювання. Вона полягає в різкому вибіркового зростанні окремих рекристалізованих зерен і супроводжується появою різнозернистості. Перебіг цієї стадії спричиняють такі чинники:

1) різна величина об'ємної енергії в зерен, менш спотворені зерна ростуть за рахунок більш спотворених;

2) висока рухливість меж одних зерен порівняно з іншими, що може спричинятися різними причинами. Одна з них – нерівномірний розподіл дисперсних включень по межах зерен. Межі, які вивільняються в першу чергу, інтенсивно мігрують у напрямку зменшення поверхневої енергії, що створює сприятливі умови для прискореного зростання окремих зерен.

Якщо температура деформації нижча за температуру рекристалізації, то деформація вважається холодною. Холодна деформація супроводжується наклепанням металу, оскільки низькі температури не забезпечують розміцнення металу, механічні властивості металів за умов холодної деформації змінюються значною мірою: збільшується міцність і зменшується пластичність.

Якщо температура деформації вища за температуру рекристалізації, то деформацію називають гарячою. Одержуване під час гарячої деформації зміцнення одразу повністю або частково зменшується внаслідок рекристалізації, що знижує опір деформації і підвищує пластичність металів.

Розмір зерна рекристалізованого металу залежить від таких чинників: розміру початкового зерна, ступеня деформації, температури і швидкості нагрівання, тривалості витримання, наявності розчинних і нерозчинних домішок, хімічного складу сплаву.

2.3. Надпластичність

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

Розрізняють декілька видів надпластичності.

1. Дрібнозерниста надпластичність виявляється за підвищених температур (не нижче, ніж $0,4T_{пл}$. дуже дрібному зерні розміром у діагоналі від 3 до 5 мкм і над малій швидкості деформації (до 10^{-4} с^{-1}).

2. Субкритична надпластичність має місце при температурах, близьких до температури фазових перетворень, і певній вихідній структурі.

3. Мартенситна надпластичність спостерігається в разі так званого мартенситного зсувного бездифузійного перетворення.

4. Рекристалізаційна надпластичність. Як правило, опір деформації об'єднують у загальне поняття «міцність», а опір руйнуванню – «надійність». Якщо руйнування відбувається не за один, а за багато циклів навантаження, причому в кожному циклі відбувається мікроруйнування (сюди належать такі процеси поступового руйнування, як зношування, втома, корозія, повзучість), то це характеризує довговічність матеріалу.

3. ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Ознайомитися з механізмами пружної і пластичної деформації.
2. Вивчити залежності механічних властивостей деформованого металу від ступеня нагрівання
3. Для закріплення матеріалу вирішити наведені нижче завдання.

Завдання 1

Використовуючи діаграму розтягання зразка сталі зазначити які зміни відбуваються в мікроструктурі сталі під час розтягання її до критичних точок.

Завдання 2

Деталі, виготовлені з прутків міді діаметром 20 мм, повинні мати межу міцності не нижче 300 МПа. На заводі є прутки міді більшого діаметра з межею міцності 250 МПа. Зазначити, яким чином можна підвищити межу міцності.

Завдання 3

Пояснити, чи можливо метал, деформований у холодному стані, за мікроструктурою відрізнити від металу, деформованого в гарячому стані, та зазнати у чому полягає розбіжність мікроструктур.

Завдання 4

Три зразки низьковуглецевої сталі були холодно деформовані: перший на 5%, другий на 15%, третій на 30%, потім їх нагрівали до 700°C. Зазначити в якому зразку в результаті нагрівання утвориться більше зерно та як величина зерна впливає на властивості сталі.

Завдання 5

Волочіння дроту проводять у декілька переходів. Якщо волочіння з більшим обтисканням проводять без проміжних операцій, то дріт на останніх переходах дає розриви. Пояснити причини виникнення розривів і запропонувати заходи для запобігання цьому.

Завдання 6

Деталі, штамповані з міді в холодному стані, мають знижену пластичність. Зазначити, чи можна збільшити відносно подовження такої міді, рекомендувати режими термічної обробки та пояснити, як при цьому змінюються механічні властивості (міцність, твердість, пластичність).

Завдання 7

У котельних установках часто спостерігається більш значна корозія на місцях, які прилягають до заклепок. Пояснити причини виникнення такого явища.

Завдання 8

У ході дослідження структури сталюого кованого вала діаметром 100 мм було виявлено, що в поверхневих шарах структура була дрібнозернистою, а всередині крупнозернистою. Назвати можливі причини такого явища.

Завдання 9

Одні прутки латуні після холодної деформації нагрівали до 200°C, а інші до 600°C та витримували протягом 60 хв. Зазначити, як впливає на структуру та властивості це нагрівання.

4. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які існують стадії рекристалізації?
2. Що називається зворотом та відпочинком?
3. Як змінюється структура металу внаслідок пластичної деформації?
4. Як змінюються властивості металу після наклепання?
5. Дати визначення критичного ступеня деформації.
6. Як змінюється структура деформованого заліза в результаті первинної кристалізації?
7. Як змінюється пластичність при холодній пластичній деформації?
8. Чому відбувається зміцнення під час холодної деформації?

ВИЗНАЧЕННЯ ТВЕРДОСТІ МЕТОДОМ РОКВЕЛЛА

1. МЕТА РОБОТИ

1. Засвоєння методики визначення твердості матеріалів методом Роквелла. Ознайомлення з будовою та принципом дії відповідного твердоміра.
2. Практичне вимірювання твердості різних матеріалів методом Роквелла та переведення її значення у твердість методом Брінелля.

2. ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

2.1. Суть вимірювання твердості методом Роквелла

Цей метод вимірювання твердості найбільш універсальний і найменш трудомісткий, менше пошкоджується поверхня виробів відтисками індентора. Проте існують і недоліки методу Роквелла – це відсутність геометричної подібності відтисків, отриманих не лише різними наконечниками, але й одним і тим самим.

Випробування проводять на стаціонарних або переносних твердомірах із механічним чи електричним приводом.

Твердість, виміряна методом Роквелла, може бути переведена в значення твердості, виміряної за іншими методами, зокрема методом Брінелля.

Визначення твердості методом Роквелла засноване на втисканні в досліджуваній матеріал загартованої сталевий кульки діаметром 1,59 мм або алмазного конуса та вимірюванні глибини втискання (рис. 2.8).

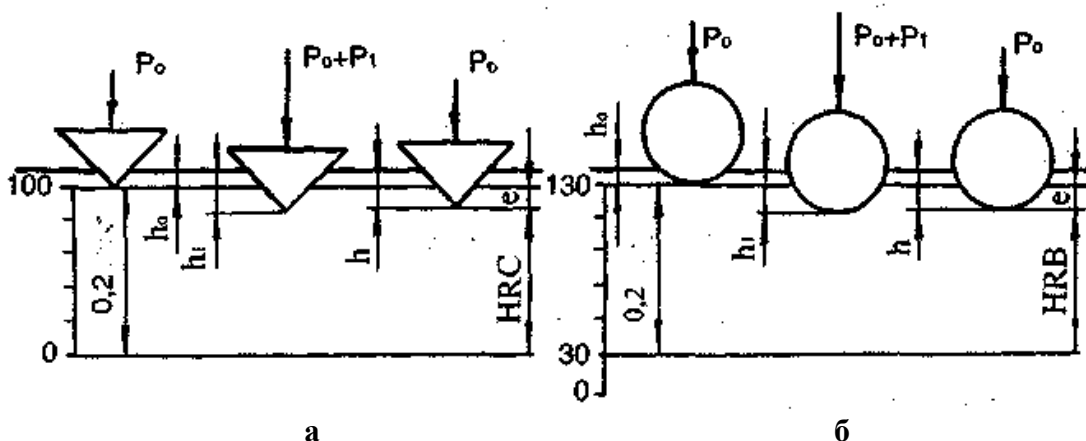


Рисунок 5.1 – Схеми вимірювання твердості за методом Роквелла: а – алмазним конусом; б – сталевий кулькою

Кулька або конус вдавлюється у випробовуваний зразок під дією двох навантажень, що послідовно додаються: попереднього P_0 і основного P_1 . Попереднє навантаження прикладають з метою виключення впливу пружної

деформації та шорсткості поверхні зразка на результати вимірювань. Під дією попереднього навантаження P_0 , яке дорівнює 98 Н (10 кгс), індентор занурюється в поверхню зразка на величину h_0 (рис. 5.1). У разі подачі на зразок основного навантаження P_1 загальне навантаження P буде дорівнювати сумі попереднього P_0 та основного P_1 навантажень.

Глибина втискання h після зняття основного навантаження P_1 , коли на індентор знову діє тільки попереднє навантаження P_0 , в умовних одиницях визначає значення твердості за Роквеллом. Твердість за Роквеллом – величина безрозмірна, що виражається в умовних одиницях.

Величину твердості визначають за індикаторною шкалою, кожна поділлка якої відповідає глибині втискання 2 мкм (рис. 5.2, б). На циферблаті є дві шкали: чорна застосовується при в разі використання алмазного конуса та червона – для сталєвої кульки. Стрілка індикатора відзначає не вказану глибину втискання h , а величину $100 - h$ на чорній шкалі при вимірюванні твердості алмазним конусом і величину $130 - h$ на червоній шкалі при вимірюванні кулькою, де 100 і 130 – кількість поділок на шкалах А і В індикатора.

Твердість на приладі Роквелла можна виміряти:

– алмазним конусом із загальним навантаженням 1471 Н (150 кгс), значення твердості відображається стрілкою на чорній шкалі циферблату. Позначається символом HRC. Цю шкалу використовують для твердих матеріалів із твердістю більше 68 HRC, наприклад загартованих сталей (табл. 5.1). Якщо твердість менша ніж 20 HRC, вимірювання втрачають точність унаслідок занадто глибокого втискання конусу;

Таблиця 5.1 – Умови проведення випробувань методом Роквелла

Позначення твердості	HRA	HRC	HRB
Матеріал і форма наконечника	Алмазний конус	Алмазний конус	Сталєва кулька
Інтервал вимірювань	(70...85) HRA	(22...68) HRC	(25...100) HRB
Діапазон застосування	Надтверді матеріали, тонкі вироби	Тверді матеріали	М'які матеріали (< 450)

– алмазним конусом із загальним навантаженням 589 Н (60 кгс). Значення твердості в цьому випадку визначають за шкалою А. Позначають HRA і застосовують для особливо твердих матеріалів, наприклад для виробів із твердих сплавів із твердістю більше HRC 70, а також для вимірювання тонких твердих поверхневих шарів (0,3 – 0,5 мм), виробів із поверхневою термічною або хіміко-термічною обробкою. Межі вимірювань твердості за шкалою А – 70...85 HRA;

– сталеву кулькою із загальним навантаженням 981 Н (100 кгс). Значення твердості визначають за червоною шкалою В та позначають HRB. Цей спосіб застосовують для вимірювання порівняно м'яких матеріалів, наприклад м'якої відпаленої сталі або кольорових сплавів. Межі вимірювання твердості за шкалою В – 25...100 HRB.

Для вимірювання твердості за Роквеллом відстань від центра відбитку до країв зразка або до центра іншого відбитку має бути не менше 1,5 мм при втисканні конуса і 4 мм при втисканні кульки. Товщина зразка має бути не менше 10-кратної глибини відбитку. Твердість потрібно заміряти не менше, ніж у трьох точках зразка.

2.2. Вимірювання твердості методом Роквелла

Найчастіше застосовується стаціонарний твердомір ТК-2 з електричним приводом важільного механізму навантаження (рис. 5.2, а).

Для проведення вимірювання наконечник 2 закріплюють у хвостовику шпинделя 6. Гвинтом 3 і тумблером вмикають електродвигун 18. Зразок 1 для вимірювання встановлюють на столику 23 і плавним обертанням маховика 22 піднімають столик до втискання зразка в наконечник із початковим зусиллям 98 Н, що створюється стисканням пружини 5.

Визначається твердість за показами індикатора годинникового типу 7, який реєструє переміщення шпинделя, а отже, і наконечника через мірний важіль. Початковому навантаженню 98 Н на індикаторі приладу відповідає положення маленької стрілки навпроти червоної точки, при цьому велика стрілка розташовується приблизно вертикально (із відхиленням від вертикалі ± 5 поділок). Обертанням барабана 21, який через тросик 8 обертає шкалу, суміщають цифру «0» чорної шкали індикатора з великою стрілкою. Основне навантаження прикладається до наконечника при вмиканні клавішею 20 електропривода, який складається з двигуна 18, редуктора 17 та блока кулачків 15. Під час обертання кулачкового блока на один оберт за допомогою штока 14 відбувається плавне опускання та піднімання вантажного важеля 9 разом з опорою 10 та важками 11, 12, 13, унаслідок чого здійснюється цикл навантаження-розвантаження наконечника основним зусиллям. Значення тривалості для нормального циклу 4 с, для прискореного 2с) установлюються відповідним положенням ручки перемикача 16 (відповідно навпроти літер «Н» та «У»). Після повного обертання кулачковий блок автоматично вмикається. Після завершення циклу навантаження основним зусиллям наконечник втискається в зразок тільки початковим навантаженням. Велика стрілка індикатора обертається за годинниковою стрілкою до значення твердості за відповідною шкалою (*HRA, HRC, HRB*) (рис. 5.2, б).

Після вимірювання зразок звільняється від початкового навантаження обертанням маховика 22 проти годинникової стрілки.

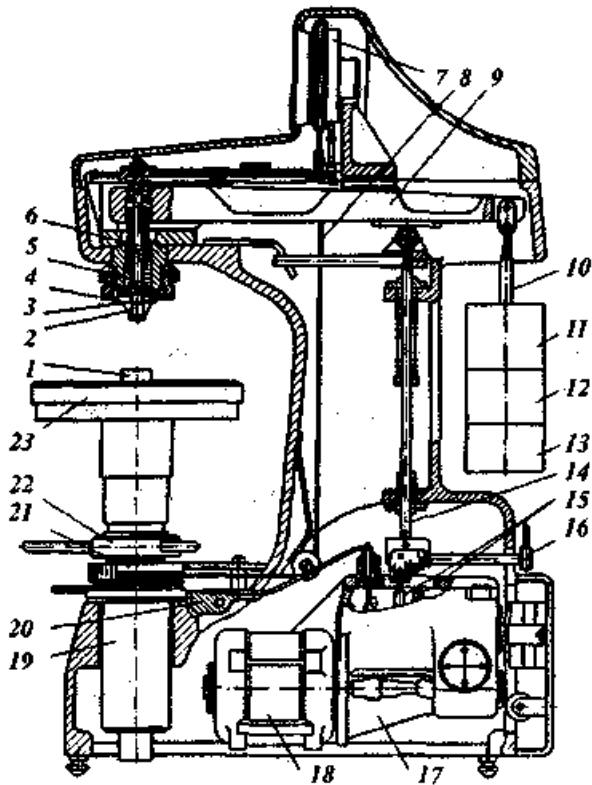


Рисунок 5.2 – Твердомір ТК-2 а – схема твердоміра; 6 – шкали індикатора; 1 – зразок; 2 – наконечник; 3 – гвинт кріплення наконечника; 4 – обмежувач; 5 – пружина; 6 – шпindel; 7 – індикатор; 8 – трос; 9 – вантажний важіль; 10 – опора; 11, 12 – змінні важки; 13 – постійний важок; 14 – шток; 15 – кулачковий блок; 16 – ручка; 17 – редуктор; 18 – електродвигун; 19 – гвинт; 20 – клавіша; 21 – барабан; 22 – маховик; 23 – столик

Перевірку правильності показів твердомірів здійснюють за зразковими мірами твердості. Середнє значення твердості за п'ятьма вимірами не повинно відрізнятись від твердості міри більше ніж на одиницю. Перші три виміри твердості після заміни наконечника або столика є пробними і не враховуються.

3. ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛИ ТА ІНСТРУМЕНТИ

Твердомір ТК-2, зразкові міри твердості, зразки з матеріалів різної твердості, зразки стандартного типорозміру з різних матеріалів, штангенциркуль.

4. ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Вивчити будову та методику вимірювання твердості методом Роквелла, використовуючи наочний посібник твердоміра.
2. Отримати у викладача зразки з матеріалів різної твердості.
3. Вибрати наконечник, навантаження та шкалу відліку залежно від матеріалу зразка за даними табл. 5.1. Матеріал та умови вимірювання записати в протокол вимірювання (табл. 5.2).
4. Закріпити вибраний наконечник 2 гвинтом 3 у хвостовику шпинделя 6 приладу та встановити відповідні важки на опору 10 (рис. 5.2).
5. Тумблером увімкнути електродвигун приводу приладу.

6. Провести випробування на твердість зразків відпаленої сталі кулькою (шкала В) при навантаженні 981 Н (100 кгс) і загартованої сталі алмазним конусом (шкала А) при навантаженні 1475 Н (150 кгс). Допускається застосування конічних інденторів з твердого сплаву при твердості до 50 HRC.

6.1. Установити випробовуваний зразок на стіл і обертанням маховика плавно, ОБЕРЕЖНО підняти його до стикання зразка з індентором.

6.2. Продовжуючи піднімати стіл, установити стрілки індикатора так, щоб мала стрілка зайняла положення біля червоної крапки, а велика – положення, близьке до вертикального (допустиме відхилення від вертикалі не більше ніж на 15 градусів).

6.3. Плавно натиснути на клавішу 20, що забезпечить автоматичне прикладання до індентора основного навантаження й подальше розвантаження після встановленого для заданого матеріалу часу витримування під навантаженням.

6.4. Після того як стрілки індентора встановляться, відрахувати показ твердості за ою шкалою.

6.5. Обертаючи маховик, розвантажити зразок.

7. Твердість слід вимірювати не менше ніж у трьох точках, відстань між центрами двох сусідніх відбитків або від центра відбитку до краю зразка має бути не менше 3 мм. Визначити середнє значення твердості.

8. Дані випробувань твердості занесіть у табл. 5.2.

9. Перевести значення твердості зразків, виміряні методом Роквелла, у значення твердості за методом Брінелля.

Таблиця 5.2 – Протокол вимірювання твердості методом Роквелла

Матеріал зразка	Товщина зразка	Умови випробування			Виміри				Твердість	
		Індентор	Навантаження, Н (кгс)	Шкала	1	2	3	Середнє значення	HRB	HRC

5. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які методи використовуються для вимірювання твердості матеріалів?
2. Охарактеризуйте поняття твердості металів.
3. З яких матеріалів виготовляють індентори та на що впливає вибір матеріалу індентора?
4. Для вимірюванням твердості яких матеріалів застосовується алмазний конус?
5. З якою метою твердомір має три шкали на індикаторі?

ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВІ СПЛАВИ

1. МЕТА РОБОТИ

1. Вивчення хімічного складу, будови та класифікації залізовуглецевих сплавів.
2. Ознайомлення з властивостями та застосуванням залізовуглецевих сплавів.
3. Проведення дослідження структури окремих вуглецевих сплавів.

2. ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

2.1. Класифікація залізовуглецевих сплавів

Мікроструктуру вуглецевих сталей у рівноважному стані за кімнатної температури характеризує діаграма Fe – C (рис. 6.1).

Залізовуглецеві сплави, які містять до 2,14% вуглецю, називаються *сталями* (рис. 6.1). Зазвичай сталі виплавляють із вмістом вуглецю не більше 1,3%, оскільки за більшого вмісту значно збільшується крихкість і сталі не можуть практично використовуватися.

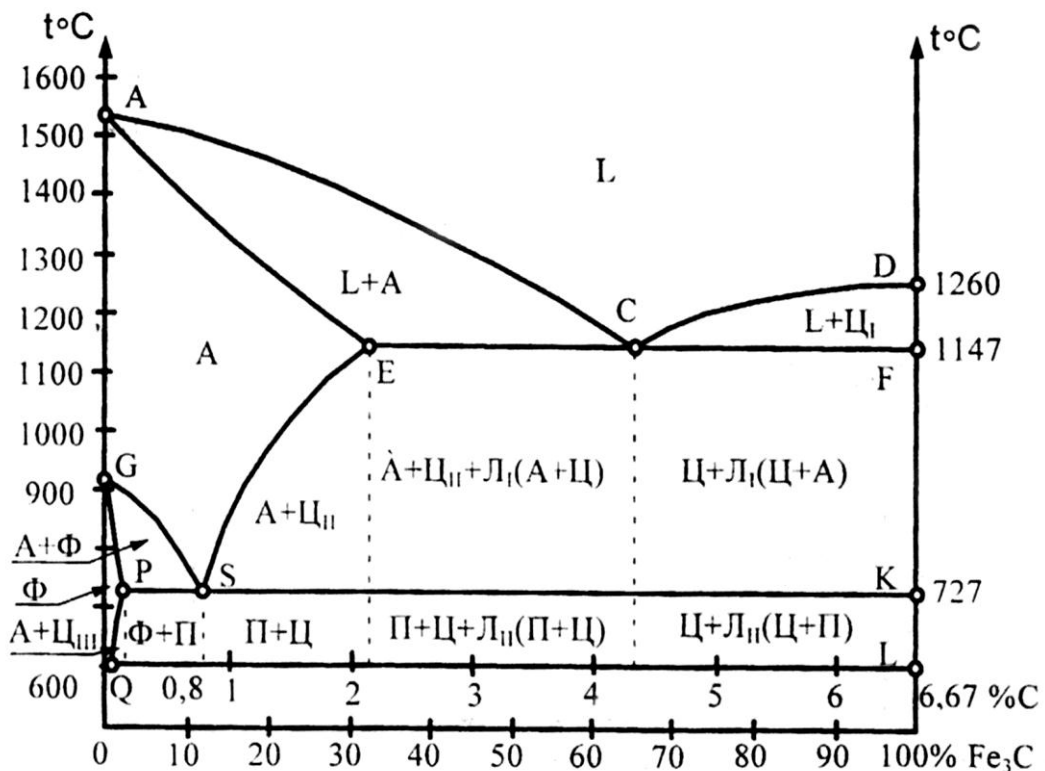


Рисунок 6.1 – Спрощена діаграма стану Fe – C

Залізвуглецеві сплави із вмістом вуглецю від 2,14% до 6,67% називаються *чавунами*. У техніці застосовують чавуни із вмістом вуглецю до 4,3% та інколи до 5,0%. Чавуни широко застосовуються в машинобудуванні як дешеві ливарні сплави, оскільки мають добрі ливарні властивості, легко обробляються різанням. Проте через малу пластичність їх не можна обробляти тиском, а їх газове чи електродугове зварювання вимагає особливих технологій.

2.2. Вплив вуглецю на властивості сталей

Ферит має малу твердість, добру пластичність та невелику міцність. Зі збільшенням концентрації вуглецю частка фериту в сталі поступово зменшується, а цементиту – зростає. Цементит значно твердіший та крихкіший за ферит, тому зі збільшенням його відносної кількості зростає опір руху дислокацій та підвищуються показники міцності, але погіршуються пластичність та в'язкість сталі (рис. 6.2). Крім того, вуглець полегшує перехід сталі у крихий стан зі зниженням

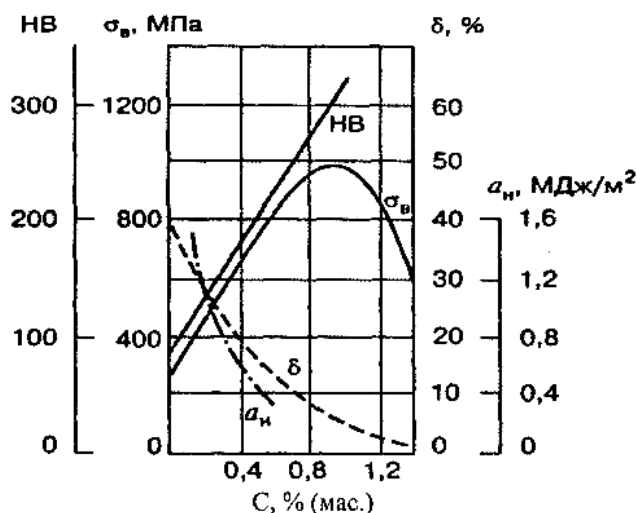


Рисунок 6.2 – Вплив вмісту вуглецю на механічні властивості сталі

температури. Збільшення вмісту вуглецю на 0,1% підвищує температуру переходу з в'язкого у крихий стан приблизно на 20°C.

Зі збільшенням концентрації вуглецю до 0,8...0,9% міцність вуглецевих сталей поступово зростає (рис. 6.2). Однак подальше збільшення вмісту вуглецю зменшує міцність, що пояснюється крихким руйнуванням цементитної сітки, яка утворюється на межах колишніх зерен аустеніту.

Одночасно зі збільшенням складу вуглецю у сталях та чавунах зростають питомий електричний опір та коерцитивна сила, але зменшуються їх теплопровідність, густина, магнітна проникність та залишкова індукція.

На технологічних властивостях залізвуглецевих сплавів збільшення вмісту вуглецю позначається негативно: погіршується здатність зварювання, обробки різанням та пластичної деформації в гарячому й особливо в холодному стані.

Слід відзначити, що в сталях окрім вуглецю як основного легувального елемента, можуть міститися домішки: постійні (Mg, S, P, Si), приховані (H₂, O₂, N₂) та випадкові (Ni, Cu, Sn). Наявність домішок пояснюється хімічним складом вихідної руди, неможливістю повного видалення деяких домішок або їх переходом до складу сталі під час металургійних процесів добування залізвуглецевих сплавів.

2.3. Класифікація сталей

З урахуванням основних положень структурної будови, хімічного складу і доцільного застосування сталей у промисловості передбачена класифікація за такими ознаками:

1. За хімічним складом: вуглецеві та леговані.
2. За вмістом вуглецю залізобуглецеві сплави поділяють на доевтектоїдні, евтектоїдні та заевтектоїдні сталі.

Крім того, виділяють *технічне залізо* – сплав заліза, що містить менше 0,02 %С (рис. 6.3, а). Його мікроструктура складається з фериту (рис. 6.3, б) і цементиту третинного (рис. 6.3, в). Розташовуючись на межах зерен, цементит третинний значно зменшує ударну в'язкість технічного заліза.

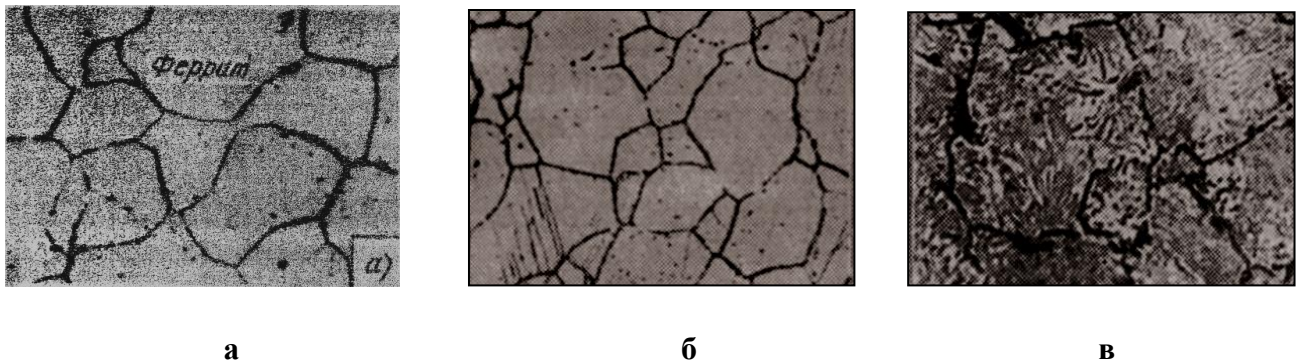


Рисунок 6.3 – Ферит і технічно чисте залізо: а – ферит (0,08 % С); б – технічне залізо; в – цементит

Доевтектоїдні сталі містять від 0,02 до 0,7% С. Мікроструктура доевтектоїдних сталей складається з фериту та перліту (рис. 6.4, а). На мікрошліфі ферит має вигляд світлих, а перліт – темних зерен. Чим більша концентрація вуглецю, тим менша кількість фериту у структурі сталі (рис. 6.4, б, в).

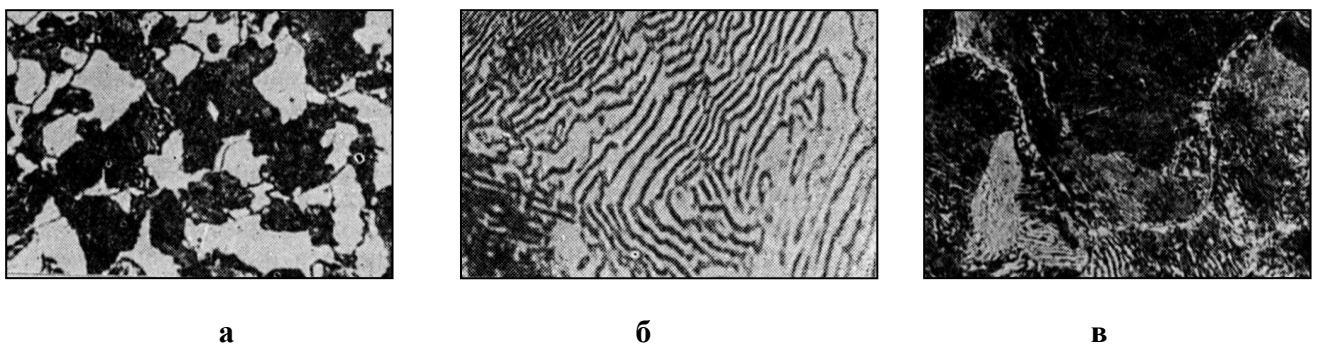


Рисунок 6.4 – Мікроструктура сталей залежно від вмісту вуглецю (x450):
а – доевтектоїдна сталь (0,5% С); б – евтектоїдна сталь (0,77%); в – заевтектоїдна сталь (1,2% С)

Евтектоїдна сталь – це сталь із вмістом близько 0,77% С. Така сталь має структуру пластинчастого перліту і складається з пластинок фериту та цементиту, що чергуються (рис. 6.5, а). Після застосування відпалювання утворюється *зернистий перліт*, у якому цементит має зернисту будову (рис. 6.5, б).

Заевтектоїдні сталі містять від 0,77 до 2,14% С. Структура заевтектоїдних сталей після повного відпалювання складається з колоній перліту, які оточені неперервною сіткою цементиту вторинного (рис. 6.4, в).

3. *За способом виробництва* розрізняють сталі, виплавлені в мартенівських печах, електроступах або киснево-конверторним способом.

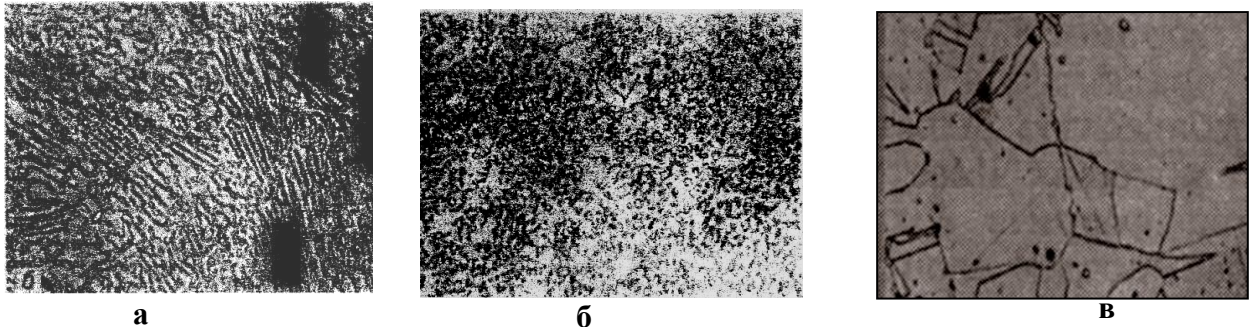


Рисунок 6.5 – Перліт та аустеніт: а – перліт пластинчастий (0,8% С); б – перліт зернистий (0,8% С); в – аустеніт (0,2% С; 8,5% Ni; 18% Cr)

4. *За призначенням* розрізняють *конструкційні* та *інструментальні* сталі. Конструкційні вуглецеві сталі поділяють на будівельні та машинобудівні.

Будівельні сталі використовують для виготовлення металевих конструкцій будівель, споруд, армування залізобетону та ін. *Машинобудівні сталі* призначаються для виготовлення деталей машин (валів, кулачків, осей, зубчастих коліс, пружин, ресор, втулок).

5. *За ступенем розкиснення* розрізняють:

- *киплячі* («кп») сталі, що містять підвищену кількість FeO, що взаємодіє з розчиненим у ньому вуглецем і утворює бульбашки CO (ефект кипіння) під час твердіння розплаву;

- *напівспокійні* («нс») займають проміжне положення між спокійними та киплячими сталями;

- *спокійні* («сп») сталі кристалізуються без виділення газів.

4. *За показником якості*, яку визначає вміст шкідливих домішок (кремнію та фосфору), сталі класифікують таким чином:

- сталі звичайної якості (S до 0,05%, P до 0,04%).

- якісні сталі (S до 0,04%, P до 0,035%).

- високоякісні (S до 0,025%, P до 0,025%).

- особливо високоякісні сталі (S до 0,015%, P до 0,015%).

Конструкційні вуглецеві сталі виробляють звичайної якості, якісні та високоякісні; особливо високоякісними сталями можуть бути тільки леговані.

2.4. Маркування сталей

Вуглецеві сталі звичайної якості виготовляють у мартенівських печах та кисневих конвертерах. Позначають літерами «Ст» (сталь) та числом від 0 до 6, яке вказує на її умовний номер (ДСТУ 2651-94). Число у марці не є показником її хімічного складу. Однак вміст вуглецю та, відповідно, твердість зростають зі збільшенням номера сталі. Залежно від гарантованих заводом-виробником характеристик ці сталі розділяють на такі групи:

- група А – гарантовані механічні властивості (Ст.0...Ст.6);
- група Б – гарантований хімічний склад (БСт.0... БСт.6);
- група В – гарантований хімічний склад та механічні властивості (ВСт.1 – ВСт.5).

Зі сталей звичайної якості виготовляють листи, труби, періодичні профілі, гарячий рядовий прокат: балки, швелери, кутники, які широко використовують у будівництві та машинобудуванні для сільського господарства.

Якісні вуглецеві сталі виплавляють у кисневих конвертерах, електро- та мартенівських печах. До них пред'являють більш жорсткі вимоги що до складу домішок. Маркують числами 08, 10, 15, 85, які вказують середній вміст вуглецю в сотих частках відсотка (наприклад, сталь 08 містить 0,08% С, а сталь 15 – відповідно 0,15% С). Спокійні сталі позначають без відповідного індексу, а в марках киплячих та напівспокійних сталей засвідчують спосіб розкиснення.

За вмістом вуглецю якісні сталі розділяють на маловуглецеві (до 0,25% С), середньовуглецеві (0,3...0,55% С) та високовуглецеві (до 0,85% С).

Маловуглецеві конструкційні сталі 05кп, 08, 08кп, 10, 10кп відрізняються високою пластичністю та малою міцністю. Використовуються для виготовлення слабонавантажених деталей (прокладок, шайб, змійовиків тощо) та елементів зварних конструкцій. Ці сталі не підлягають термообробці.

Середньовуглецеві сталі 30, 35, 40, 45, 50, 55 застосовують для виготовлення різноманітних деталей машин у різних галузях промисловості після нормалізації, поліпшення та поверхневого гартування. З метою підвищення прогартовуваності ці сталі легують марганцем (40Г, 50Г).

Високовуглецеві конструкційні якісні сталі 60, 65, 70, 80, 85 застосовують після попередньої термообробки для виготовлення деталей, які працюють в умовах тертя за наявності високих статичних і вібраційних навантажень (пружини та ресори, шпинделі, прокатні валки тощо). Такі сталі мають підвищену міцність, зносостійкість і пружність.

Інструментальні вуглецеві сталі позначають літерою «У» і числом, яке вказує на середню масову концентрацію вуглецю в десятих частках відсотка (наприклад, сталь У8 містить 0,8% С). Сталі виробляють тільки *якісні* (У7, У8, У9, У10 тощо) та *високоякісні* (У10А тощо). Остання літера «А» в марці сталі вказує, що сталь високоякісна. Інструментальні вуглецеві сталі зі складом вуглецю 0,7...1,0% застосовують для ударного та різального інструменту великих розмірів, сталі У11...У13 – для гравіювального та чистового інструменту.

2.5. Чавуни

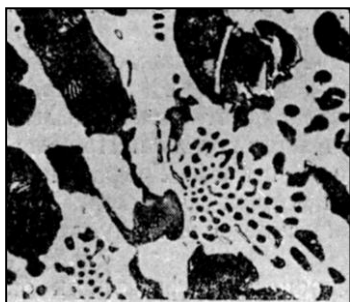
Залізовуглецеві сплави із вмістом вуглецю від 2,14% до 6,67% називаються *чавунами*. У техніці застосовують чавуни із вмістом вуглецю до 4,3% та інколи до 5%. Широке застосування чавунів у машинобудуванні пояснюється добрими ливарними властивостями – високою рідкоплинністю, незначною усадкою та доброю оброблюваністю. Конструкційні чавуни використовують для отримання виливок різноманітної маси, форми та складності – від корпусних деталей редукторів і станин до поршневих кілець автомобілів. Залежно від стану, в якому перебуває вуглець у чавунах, їх поділяють на білі, сірі, ковкі та високоміцні чавуни.

2.5.1. Білі чавуни

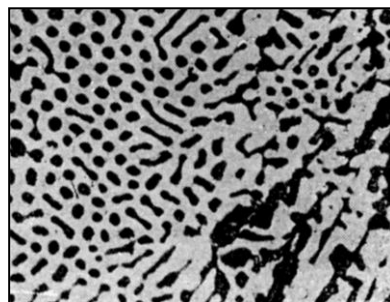
У *білих чавунах* весь вуглець перебуває в цементиті, тому вони мають високу твердість (450...550 НВ), крихкість, знижену технологічність і підвищену зносостійкість. Такі чавуни мають білий блискучий злам завдяки цементиту.

Білі чавуни залежно від вмісту вуглецю поділяють на:

- *доевтектоїдні*, що складаються з перліту, цементиту другорядного (виділеного з аустеніту) і ледебуриту другорядного (рис. 6.6, а), містять від 2,11 до 4,3% вуглецю;
- *евтектоїдні*, що складаються тільки з ледебуриту другорядного (рис. 6.6, б) та містять у своєму складі 4,3% вуглецю;
- *заевтектоїдні*, що містять більше ніж 4,3% вуглецю і структура яких складається з цементиту первинного та ледебуриту другорядного (рис. 6.6, в).



а



б



в

Рисунок 6.6 – Мікроструктура білих чавунів (x400): а – доевтектоїдний; б – евтектоїдний; в – заевтектоїдний;

Використання білих чавунів у машинобудуванні досить обмежене, тому для них не існує системи маркування. Завдяки високій зносостійкості їх використовують для виготовлення зносостійких деталей кульових млинів для розмелювання руди, щоків дробарок, зубців ківшів екскаваторів, лемехів плугів.

2.5.2. Сірі чавуни

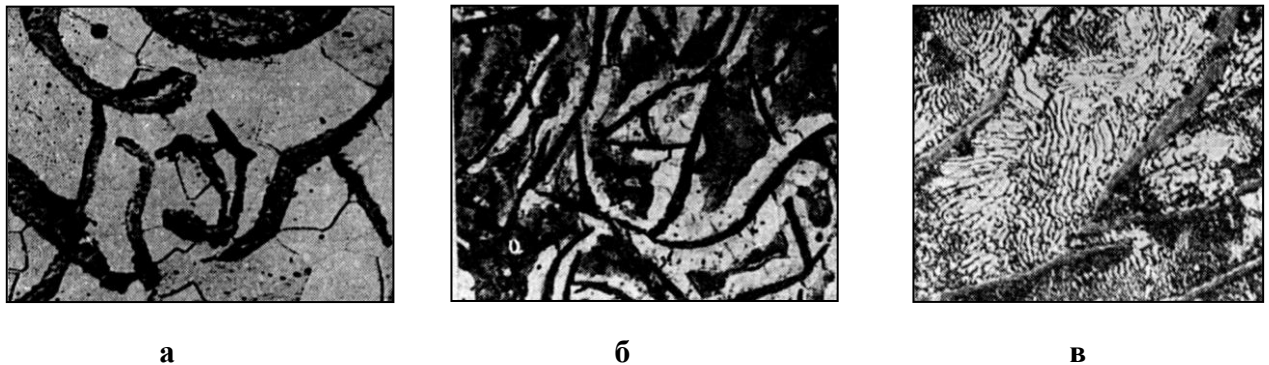
Сірі чавуни – це чавуни з пластинчастим графітом, які випускаються металургійною промисловістю у вигляді виливків. Ці чавуни являють собою

металеву основу (зі структурою сталі) з порожнинами у формі пластинчастих графітних виділень (рис. 6.7, а, б, в). Наявність у структурі вільного графіту зумовлює матовий сірий колір зламу.

Сірі чавуни характеризуються дуже низькою пластичністю ($\delta < 0,5$ %), низькою міцністю на розтягування, згинання, скручування. Але завдяки пластинчастому графіту в сірих чавунах вдало поєднуються зносостійкість, добрі антифрикційні властивості, мала чутливість до концентраторів напружень і здатність гасити вібрації.

Сірі чавуни позначаються літерами СЧ (С – сірий, Ч – чавун) і числами, які відповідають мінімально допустимим значенням границі міцності на розтягування у МПа·10⁻¹ (ГОСТ 1412-85).

Чавуни СЧ 10 ($\sigma = 100 \dots 150$ МПа), СЧ 15 ($\sigma = 150 \dots 200$ МПа) мають феритно-графітну структуру та застосовуються для виготовлення маловідповідальних деталей автомобілів, тракторів і верстатів.



**Рисунок 6.7 – Мікроструктури чавунів із пластинчастим графітом (x400):
а – феритний; б – феритно-перлітний; в – перлітний**

До феритно-перлітної групи належать чавун марок СЧ 20 ($\sigma = 200 \dots 250$ МПа), СЧ 25 ($\sigma = 250 \dots 300$ МПа). Їх використовують при більших навантаженнях (картери двигунів, поршні циліндрів, зубчасті колеса та ін).

Шляхом модифікування кремнієм, кальцієм чи іншими графітизувальними модифікаторами забезпечується подрібнення та рівномірніше розташування пластинчастого графіту, що підвищує міцність чавуну. Модифіковані перлітні чавуни СЧ 30 ($\sigma = 300 \dots 350$ МПа), СЧ 35 ($\sigma > 350$ МПа) використовують для виготовлення відповідальних деталей, що працюють в умовах високих навантажень чи зношування (гільзи блоків циліндрів, зубчасті колеса, розподільні вали).

2.5.3 Високоміцні чавуни

Чавуни, в яких вільний графіт має вигляд кулястих включень, або разом з вермикулярними включеннями називаються високоміцними. Завдяки формі графітних включень такі чавуни мають вищу пластичність, ударну в'язкість та міцність.

Відповідну форму графіту отримують шляхом додавання в розплавлений чавун невеликої кількості модифікаторів (магнію, алюмінію, цезію).

Марки високоміцних чавунів із кулястим графітом позначають літерами ВЧ (В – високоміцний, Ч – чавун), далі йде цифрове позначення мінімального допустимого значення границі міцності на розтягування (σ_B) у МПа та через дефіс – відносного походження (δ) у відсотках (ДСТУ 3925-99). Наприклад, чавун із кулястим графітом із мінімальними значеннями $\sigma_B = 600$ МПа та $\delta = 3\%$ позначається таким чином: ВЧ 600-3 ДСТУ 3925-99.

Високоміцний чавун з кулястим графітом (рис. 6.8), як конструкційний матеріал, є заміником вуглецевої сталі та охоплює широкий спектр механічних і технологічних властивостей. Феритні чавуни марок ВЧ 350-22, ВЧ 400-15 характеризуються найвищою пластичністю й ударною вязкістю, забезпечують виливкам холодотривкість, ударотривкість, хорошу здатність до обробки різанням і зварювання. Перлітні чавуни ВЧ 600-3, ВЧ 700-2, ВЧ 800-2, ВЧ 900-2 і бейнітний ВЧ 1000-2 – зносотривкі, здатні чинити високий опір статичним і циклічним навантаженням.

Чавуни з вермикулярним графітом (від лат. *vermiculus* – хробачок) мають у своєму складі до 40% кулястого графіту та одержують також модифікуванням магнієвими лігатурами, але в меншій кількості. Вермикулярний графіт має форму графітних пелюсток, тільки менших розмірів, грубших (із відношенням довжини до товщини від 2 до 10) і з заокругленими краями.

Марки чавунів із вермикулярним графітом позначаються літерами ЧВГ (Ч – чавун, В – вермикулярний, Г – графіт), після яких зазначаються мінімально допустимі значення границі міцності на розтяг у МПа і через дефіс – відносного подовження у відсотках (ДСТУ 3926-99). Наприклад, чавун із вермикулярним графітом із мінімальними значеннями границі міцності на розтяг 400 МПа і відносного видовження 4% позначається таким чином: ЧВГ 400-4 ДСТУ 3926-99.

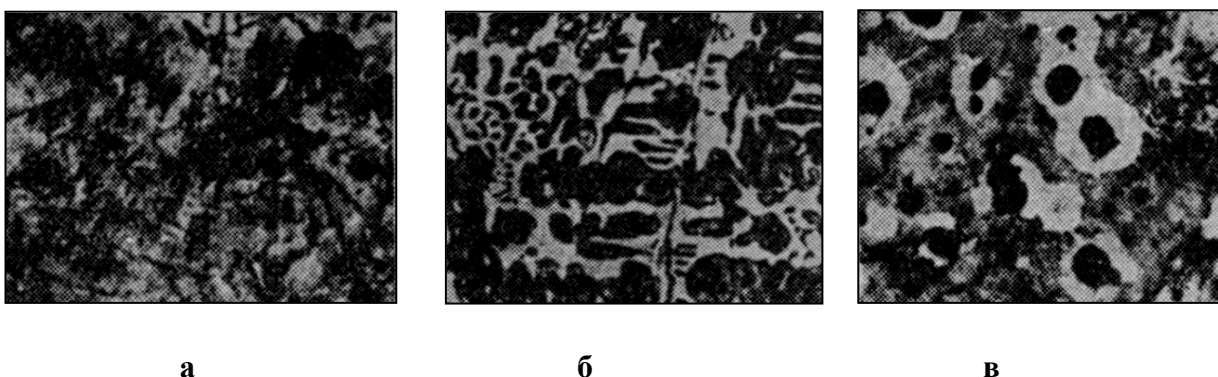


Рисунок 6.8 – Мікроструктури чавунів із кулястим графітом (x100):
а – до модифікації; б – після модифікації магнієм; в – після модифікації магнієм та феросиліцієм

З огляду на механічні властивості чавунів із вермикулярним графітом переважають сірі чавуни за пластичністю, ударною вязкістю, корозійною

стійкістю, герметичністю, а високоміцні – за здатністю гасити вібрації, оброблятися різанням, меншою вартістю (дешевші на 20...30%).

Із високоміцних чавунів виливають головки циліндрів морських дизельних двигунів, високошвидкісних дизель-генераторів електростанцій, махові колеса, ексцентрикові зубчасті колеса, кришки редукторів, картери, гальмівні колодки тощо. Із них виготовляють як дрібні деталі задніх мостів, коробок передач, шатуни, поршні, поршневі кільця в автомобілебудуванні, шпинделі, муфти, зубчасті колеса у верстатобудуванні, так і великогабаритні масивні столи, супорти, плити гідравлічних пресів, поршні, повзуни механічних пресів, букси, напрямні та плунжери ливарних машин.

2.5.4. Ковкі чавуни

Ковкі чавуни за фізико-хімічними та технологічними властивостями займають проміжне положення між сталями та сірими чавунами. Їх одержують шляхом тривалого графітизувального відпалювання виливків із білого маловуглецевого чавуну. Графіт при цьому набуває компактної форми з нерівними краями. Завдяки специфічній формі графіту ковкі чавуни мають підвищену пластичність, високі антифрикційні властивості та здатність до обробки різанням. Дефектом ковких чавунів є висока собівартість через довготривале відпалювання та обмеження товщини стінок відливки через небезпеку утворення графіту всередині.

За структурою металевої основи ковкі чавуни поділяють на феритні та перлітні (рис. 6.9).

Позначають ковкий чавун літерами КЧ (К – ковкий, Ч – чавун), після яких зазначається мінімально допустима границя міцності на розтяг (σ_B) у МПа та через дефіс – відносне поводження (δ) у відсотках (ГОСТ 1215-79). Наприклад, вилівок КЧ 30-6 ГОСТ 1215-79 має $\sigma_B=300$ та $\delta=6\%$.

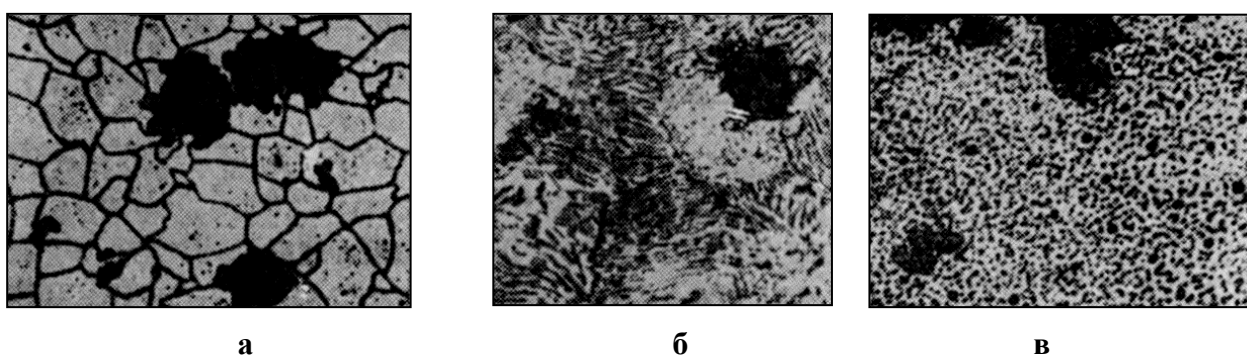


Рисунок 6.9 – Мікроструктури ковких чавунів (x100): а – феритний; б – із пластинчастим перлітом; в – із зернистим перлітом

Ковкі чавуни феритного та перлітного типу широко використовуються в машино і суднобудуванні. Для виготовлення деталей, що підлягають значним статичним і динамічним навантаженням (картери редукторів, фланці, муфти)

використовуються феритні чавуни (КЧ 35-10, КЧ 37-12). Із перлітних ковких чавунів (КЧ 50-5, КЧ 60-3, КЧ 70-2), що відрізняються зносостійкістю в експлуатації з мастилом, виготовляють вилки карданних валів, шатуни, деталі конвеєрних ланцюгів.

2.6. Визначення вмісту вуглецю в залізовуглецевих сплавах

За мікроструктурою залізовуглецевих сплавів у рівноважному стані можна приблизно визначити склад вуглецю. Площі, що займають перліт, цементит, графіт та ледебурит (y %) на поверхні мікрошліфа досліджуваного сплаву позначають відповідно П, Ц, Гр, Л.

Для доєфтектоїдної сталі:

$$C=0,8 \cdot П/100 \quad (6.1)$$

Для заєвтектоїдної сталі:

$$C=0,8 \cdot П/100+6,67 \cdot Ц/100 \quad (6.2)$$

Для доєвтектичних білих чавунів:

$$C=0,8 \cdot П/100+4,3 \cdot (Л - 0,25П)/100 \quad (6.3)$$

Для заєвтектичних білих чавунів:

$$C=6,67Ц/100+4,3Л/100 \quad (6.4)$$

Для сірих і ковких чавунів:

$$C=Гр \cdot \rho_{гр}/\rho+0,8П/100 \quad (6.5)$$

3. ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛИ ТА ІНСТРУМЕНТИ

Мікрошліфи конструкційних, інструментальних, вуглецевих сталей та чавунів, атлас мікроструктур.

4. ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Вивчити структуру та властивості залізовуглецевих сплавів
2. Отримати у викладача мікрошліф сталі та чавуну.
3. Визначити за мікрошліфом вид сталі (доєвтектоїдна, євтектоїдна, заєвтектоїдна) та чавуну, їх застосування.

4. Розрахунковим методом обчислити приблизний вміст вуглецю та визначити марку сталі та чавуну.

6. Для закріплення матеріалу вирішити наведені нижче завдання.

Завдання 1

Визначити марку сталі, якщо в ході дослідження зразка за допомогою металографічного мікроскопа встановлено, що перліт займає 90% площі мікрошліфа.

Завдання 2

Визначити вміст вуглецю в сплаві та вид сплаву, якщо на мікрошліфі цементит та ледебурит займають однакову площу.

Завдання 3

Чавун містить 3,7% вуглецю. Визначити площину, яку займає на мікрошліфі чавуну перліт та ледебурит, якщо відомо, що перліту вдвічі менше.

Завдання 4

Визначити вміст вуглецю та вид сплаву, якщо графіт займає приблизно 15% площини мікрошліфа, а перліт – 85%.

Завдання 5

Два види чавуну мають приблизно однакові механічні властивості ($\sigma_b = 400$ МПа та $\delta = 4\%$), але на мікрошліфі спостерігаються різні форми виділення графіту : пластівчасті в одному зразку та шароподібні – у другому. Визначити способи отримання чавунів обох видів.

5. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які сплави називають сталями, чавунами?
2. Охарактеризуйте хімічний склад сталей.
3. Чим можна пояснити зміну механічних властивостей сталей залежно від вмісту в них вуглецю?
4. Охарактеризуйте поділ сталей залежно від їх структури.
5. Як і за якими ознаками класифікують та маркують вуглецеві сталі?
6. Охарактеризуйте структуру, властивості й застосування білих чавунів.
7. Яким способом одержують чавун із вермикулярним графітом. Опишіть властивості, структуру та маркування цього матеріалу.
8. Яким чином отримують ковкий чавун?
9. Чим відрізняються властивості та маркування чавуну з кулястим графітом від інших високоміцних чавунів?
10. Назвіть основні типи конструкційних та інструментальних сталей.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ШВИДКОСТІ ОХОЛОДЖЕННЯ НА ВЛАСТИВОСТІ СТАЛЕЙ

1. МЕТА РОБОТИ

1. Дослідити вплив швидкості охолодження на твердість вуглецевої сталі, нагрітої до температури гартування.
2. Набути практичних навичок визначення залежності твердості сталі від швидкості охолодження.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

2.1. Термічна обробка сталей

Термічна обробка – це низка послідовних технологічних операцій нагрівання, витримування та охолодження твердих металевих сплавів з метою забезпечення потрібних технологічних, механічних і фізико-хімічних властивостей виробів.

У ході попереднього нагрівання сталей під час термообробки відбуваються поліморфні перетворення $Fe\alpha \rightarrow Fe\gamma$ з утворенням гомогенної структури аустеніту. Із зниженням температури разом з утворенням фериту відбувається дифузійний перерозподіл вуглецю.

Структуру сталі залежно від швидкості охолодження після нагрівання вище критичної точки визначають за допомогою діаграми ізотермічного перетворення аустеніту, тобто перетворення при сталій температурі (рис. 7.1). Дві С-подібні криві на діаграмі відображають початок та кінець ізотермічного перетворення аустеніту за різних температур. Початок перетворень відбувається повільно, а з часом швидкість зростає.

За малих швидкостей охолодження V_1 аустеніт перетворюється на перліт із твердістю HRC 15–20. При швидкостях V_2 утворюється сорбіт (HRC 20–30), при V_3 – тростит (HRC 35–40) (рис. 7.2). Якщо швидкість вище V_3 , відбудеться лише частковий розпад аустеніту з утворенням троститу. Частина аустеніту, яка не розпалася, зазнає бездифузійного аустенітно-мартенситного перетворення, унаслідок чого утворюється троститно-мартенситна структура, яка зазвичай є небажаною. При швидкостях, які вище за $V_{кр}$, у сталі аустеніт переохолоджується до точки M_n та частково перетворюється на мартенсит, що має найбільшу твердість (600–650 HB) і крихкість.

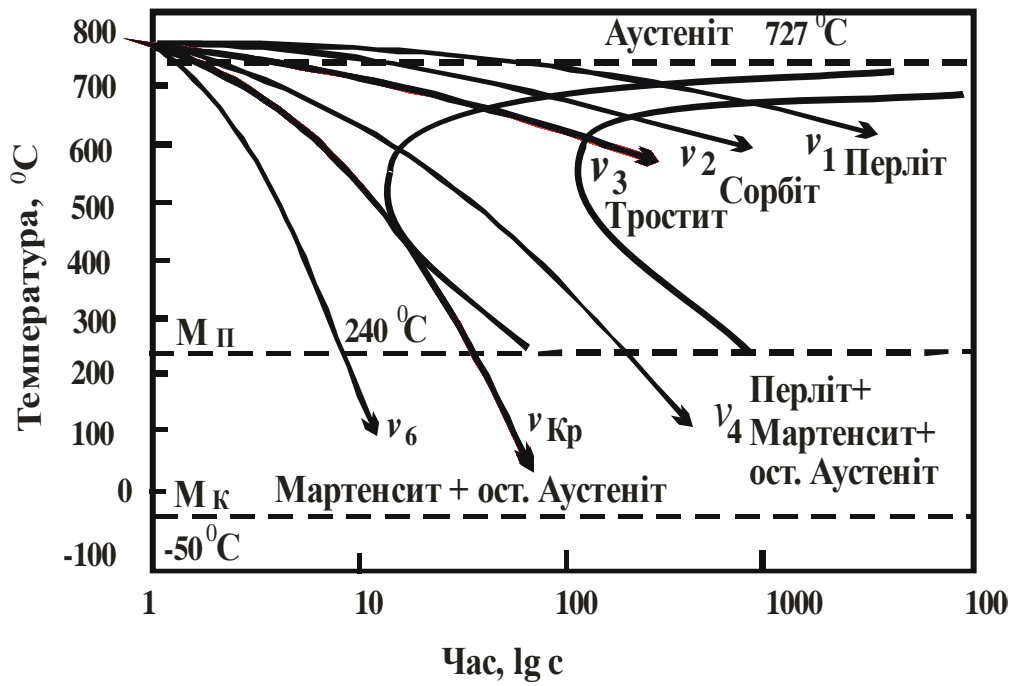


Рисунок 7.1 – Діаграма ізотермічного перетворення аустеніту

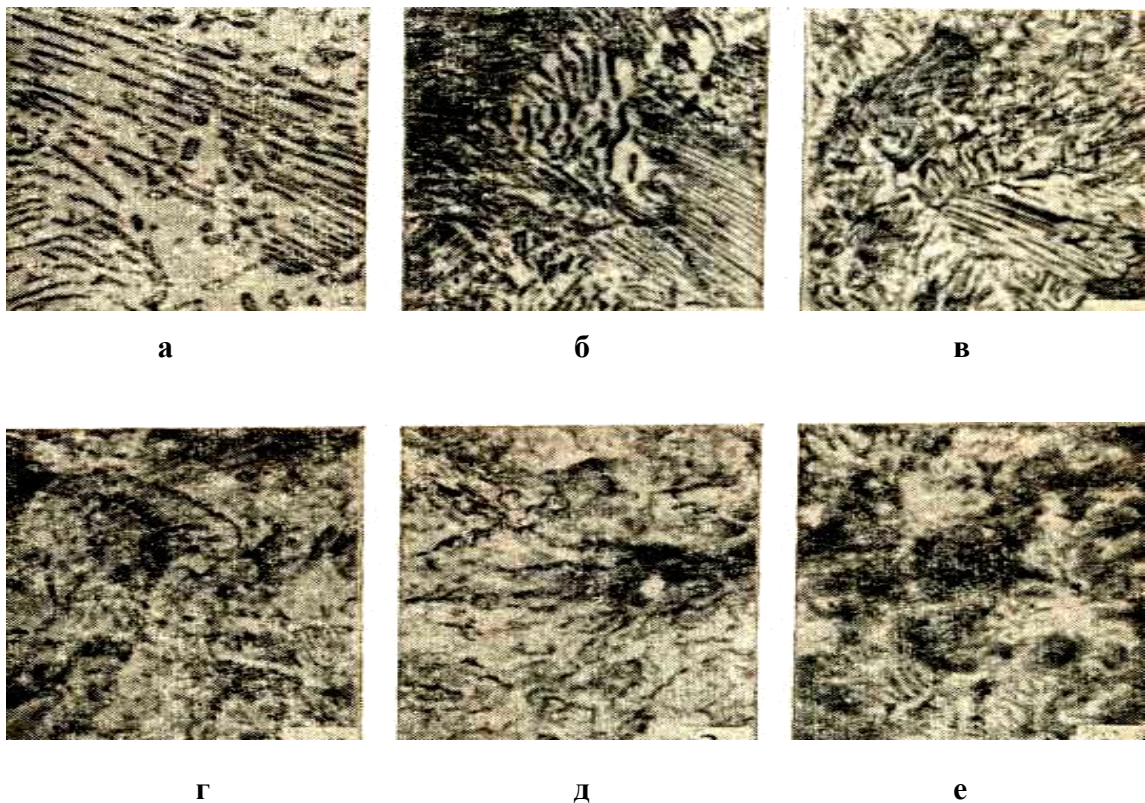


Рисунок 7.2 – Структура евтектоїдної сталі залежно від температури розпаду аустеніту (x100): а, б, в – перліт; г – сорбіт; д, е – тростит

Найменша швидкість охолодження $V_{кр}$, при якій із аустеніту утворюється тільки мартенсит, називається критичною *швидкістю охолодження*.

Швидкість охолодження, що визначається температурою нагрівання t_n і часом охолодження $\tau_{ох}$, залежить від виду термообробки, хімічного складу сталі, форми та розмірів деталі й регулюється вибором охолоджувального середовища. За зменшенням охолоджувальної здатності (швидкості охолодження) основні охолоджувальні середовища розташовуються в такій послідовності: водні розчини солей, лугів; циркулююча вода; спокійна вода; оліфи індустріальні; повітря. Найменшу швидкість охолодження забезпечує охолодження деталей разом із піччю (таблиця 7.1).

Отже, добираючи певні параметри режиму, виконують різноманітні операції термічної обробки, забезпечуючи потрібний комплекс властивостей виробів відповідно до експлуатаційних вимог.

2.2. Відпалювання

Відпалювання – це термічна обробка, що застосовується для вирівнювання хімічного складу сплавів, зняття внутрішніх напружень, усунення наклепання, поліпшення оброблюваності, підвищення стійкості різального інструменту, міцності, твердості й зносостійкості деталей та ін.

Таблиця 7.1 – Охолоджувальна здатність різних середовищ

Гартівне середовище	Швидкість охолодження, град/с, в інтервалі температур, °С	
	650-550	300-200
Вода при температурі 18°С	600	270
Вода при температурі 50°С	100	270
10% розчин NaOH у воді	1200	300
10% розчин NaCl у воді	1100	300
Мінеральне масло	100 – 150	20 – 50
Мідні плити	60	30
Повітря	3	1
Разом з піччю	0,05	0,02

Залежно від призначення застосовують такі види відпалювання:

– *відпалювання 1-го роду* (дифузійне, рекристалізація і відпалювання для зняття внутрішніх напруг);

– *відпалювання 2-го роду* (повне, неповне, циклічне).

Дифузійне відпалювання застосовується для великогабаритних відливок з метою усунення ликвації. Іноді цей процес називають гомогенізацією (від слова «гомогенний» – однорідний). Під час гомогенізації сталь нагрівають до температури 1050...1200°С, витримують протягом 8...20 годин і повільно охолоджують.

Дифузійне відпалювання приводить до зростання зерна. Цей дефект може бути усунений додатковим відпалювання на дрібне зерно або нормалізацією. У результаті гомогенізації у сталі підвищуються такі механічні властивості, як ударна в'язкість і втомні характеристики.

Відпалювання рекристалізації проводиться при температурі 650...700°C (рис. 7.3). Час витримування залежить від габаритів заготовки. Мета такого відпалювання – усунення наклепання і підвищення пластичності. Застосовується перед холодною обробкою тиском і як проміжна операція для зняття наклепання в деталях, що пройшли холодну обробку тиском.

Відпалювання для зняття залишкових напружень необхідне для виробів, в яких після попередніх технологічних операцій (обробка різанням, зварювання та ін.) виникли залишкові напруження. За цього виду відпалювання проводиться нагрівання до 160...700°C з витримуванням 2,5...3,0 хв. на 1 мм товщини перетину.

Повне відпалювання полягає в нагріванні доєвтектоїдної сталі на 30...50°C вище за температуру, що відповідає точці A_{C3} , витримуванні для повного завершення фазових перетворень і подальшому повільному охолодженні. У результаті повного відпалювання отримують дрібнозернисту структуру, що забезпечує в'язкість і пластичність.

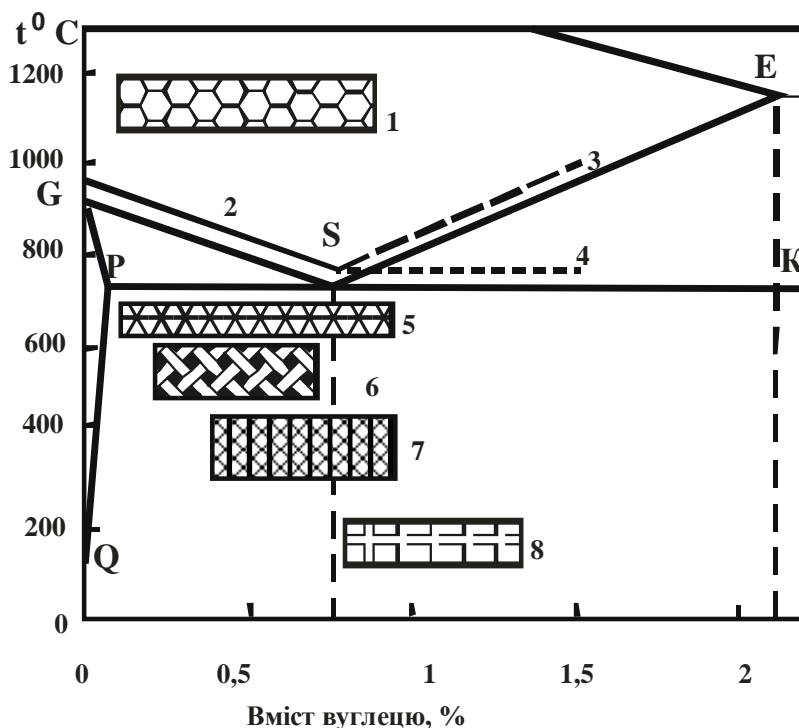


Рисунок 7.3 – Температурні інтервали операцій термічної обробки сталей: 1 – дифузійне відпалювання; 2 – повне відпалювання, повне гартування; 2, 3 – нормалізація; 4 – неповне відпалювання, неповне гартування; 5 – рекристалізувальне відпалювання; 6 – високе відпускання; 7 – середнє відпускання; 8 – низьке відпускання

Неповне відпалювання відрізняється від повного тим, що нагрівання проводиться до температури на 10...30°C вище за точку A_{C1} . Неповне відпалювання для доевтектоїдних сталей застосовується тоді, коли потрібне тільки зниження твердості. Заевтектоїдні сталі піддаються тільки неповному відпалюванню.

Нормалізація полягає в нагріванні сталі до температури $A_{C3} + (30...50)^\circ\text{C}$ або $A_{Ct} + (30...50)^\circ\text{C}$, витримуванні для прогрівання з метою завершення фазових перетворень та охолодження в повітрі. Нормалізація викликає повну фазову перекристалізацію й усуває крупнозернисту структуру, одержану внаслідок лиття, прокату, кування або штампування. Нормалізація широко використовується для поліпшення властивостей сталевих зливоків замість гартування разом з відпусканням.

3. ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛИ ТА ІНСТРУМЕНТИ

Зразки сталі 45, відпаленої та охолодженої в різних середовищах, твердомір Роквелла, зразкові міри твердості.

4. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Визначити твердість зразків із сталі 45, нагрітих до температури $A_{C3} + (30...50)^\circ\text{C}$ та охолоджених у різних середовищах. Кожен зразок вимірювати тричі. За кінцевий результат узяти середнє арифметичне значення.
2. Дані вимірювань занести в табл. 7.2.
3. Для кожного зразка визначити передбачувану структуру.
4. Побудувати графік залежності твердості сталі від швидкості охолодження.

Таблиця 7.2 – Результати вимірювання твердості

№ з/п	Температура нагрівання, °C	Охолоджуюче середовище	Швидкість охолодження, °C/c	Отримана твердість			Передбачена структура
				HRC	HRB	HB	

5. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Як впливає швидкість охолодження на мікроструктуру і властивості сталі?
2. Яка температура нагрівання для різних видів термообробки?
3. Що таке критична швидкість охолодження?
4. Що таке перліт, сорбіт, троостит, бейніт, мартенсит та їх властивості?
5. Охарактеризуйте режими й застосування гомогенізувального, рекристалізувального й відпружувального відпалювання.
6. Чим відрізняються режими й застосування повного, неповного, ізотермічного, нормалізаційного й сфероїдизувального відпалювання?

ГАРТУВАННЯ ТА ВІДПУСКАННЯ СТАЛЕЙ

1. МЕТА РОБОТИ

1. Ознайомитися з основними операціями термічної обробки сталей: вибором оптимального режиму обробки, структурою та властивостями сталей після обробки, застосуванням у промисловості.
2. Набути практичних навичок із визначення режиму термічної обробки.

2. ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

2.1. Гартування

Гартування – це вид термообробки, що складається з нагрівання до температури утворення аустеніту, витримування та швидкого охолодження зі швидкістю, більшою за *критичну швидкість гартування* $V_{кр}$ (рис. 7.1). Унаслідок такої термообробки в сталях формується структура мартенситу з максимальною твердістю та міцністю.

Мартенсит – це пересичений твердий розчин вуглецю в Fe_{α} (рис. 8.1) Атоми вуглецю знаходяться між вузлами металевих ґрат: у центрі тетраедрів, або посередині їх довгих ребер. У разі утворення мартенситу ґрати Fe_{α} сильно спотворюються, перетворюючись із кубічних на тетрагональні. Зі збільшенням вмісту вуглецю ступінь тетрагональності збільшується.

Для доевтектоїдних сталей нагрівання проводять вище лінії GSE на 30...50 °С (*повне гартування*), яке виключає наявність у структурі залишкового фериту, як за умов неповного гартування (рис. 7.3).

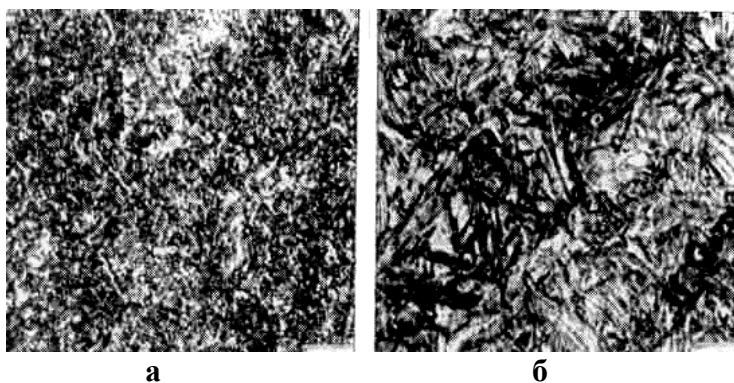


Рисунок 8.1 – Структура дрібногольчастого (а); крупногольчастого, (б) мартенситу сталі У10. X500

Заевтектоїдні сталі піддають *неповному гартуванню*, під час якого нагрівання здійснюють до температури на 30..50°C вище лінії PSK. При цьому в структурі закалених сталей разом з мартенситом залишається вторинний цементит, який підвищує твердість та зносостійкість.

Вирішальним чинником у процесі гартування є швидкість охолодження, яка визначається видом гартівного середовища. Залежно від структури, яку необхідно отримати внаслідок гартування, охолодження здійснюють у рідинних середовищах: воді, водних розчинах солей, лугів, олифі, розплавах солей або мідних плитах (табл. 7.1).

Залежно від складу сталі, форми та розмірів виробів, що загартовуються, застосовують різні способи гартування:

- безперервне;
- переривчасте;
- ступінчасте;
- ізотермічне.

Безперервне гартування – це найпростіший та найпоширеніший спосіб. Охолодження здійснюють в одному гартівному середовищі (рис. 8.2): для невеликих деталей із вуглецевих та легованих сталей застосовують масло, для великогабаритних – воду або водяні розчини лугів. Цей метод має істотний дефект, оскільки у виробках під час гартування виникає внутрішнє напруження.

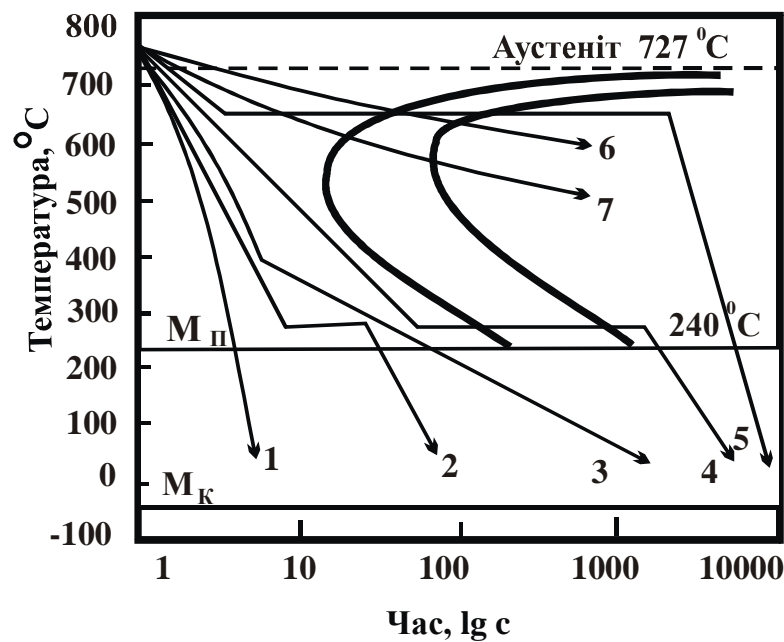


Рисунок 8.2 – Способи термообробки: 1 – безперервне гартування; 2 – ступінчасте гартування; 3 – гартування у двох середовищах; 4 – ізотермічне гартування; 5 – ізотермічне відпалювання; 6 – гомогенізація; 7 – нормалізація

Перериване гартування застосовують із метою зменшення дефектів гартування в одному середовищі. Деталь спочатку охолоджують у воді, щоб запобігти передчасному розпаданню аустеніту. Потім її переносять у середовище з меншою швидкістю охолодження (масло), що зменшує гартівні напруження в мартенситному інтервалі.

Ступінчасте гартування застосовують для деталей складної форми та вуглецевих інструментальних сталей. За цього способу деталь швидко охолоджують у соляній ванні з температурою на 20..40°C вище лінії M_n (початок мартенситного перетворення), витримують до досягнення однакової температури по всьому перетину деталі, а потім охолоджують у повітрі або

маслі. Завдяки попередньому вирівнюванню температури перетворення відбуваються одночасно по всьому об'єму деталі, що суттєво зменшує внутрішні напруження.

За *ізотермічного гартування*, на відміну від ступінчастого, сталь витримують у соляній ванні з температурою 250...230°C до закінчення ізотермічного перетворення аустеніту. У результаті утворюється структура бейніту з твердістю 45...55 НВ зі збереженням підвищеної пластичності та в'язкості. Ізотермічному гартуванню підлягає інструмент із легованих сталей та пружні деталі.

Кінець перетворення аустеніту відповідає точці M_K із температурою мінус 50°C (рис. 8.3). Зрозуміло, що під час охолодження до кімнатної температури аустенітно-мартенситне перетворення завершується неповністю і в структурі сталі наявний залишковий аустеніт, який зменшує твердість загартованої сталі.

Тому для підвищення твердості відразу після гартування проводиться *обробка холодом* для усунення залишкового аустеніту. При цьому здійснюється охолодження загартованої сталі нижче за кімнатну температуру, аж до температури завершення мартенситного перетворення M_K за допомогою рідкого азоту.

2.2. Відпускання

Унаслідок того, що попередньо загартовані деталі на мартенсит мають великі внутрішні напруження та підвищену крихкість, проводять наступне відпускання для формування структури з необхідними фізико-механічними властивостями.

Відпускання – завершальна термічна обробка загартованих сталей з метою часткового або повного розпаду мартенситу, що призводить до зменшення внутрішніх напружень, твердості та підвищення пластичності й ударної в'язкості. Режим відпускання полягає в нагріванні загартованих сталей до температур, нижче лінії PSK (рис. 7.3), витримуванні при цих температурах для перетворення мартенситу гартування в рівноважні структури та наступного охолодження.

Швидкість охолодження після відпускання для більшості сталей не має особливого значення, оскільки головним параметром режиму відпускання, який визначає структуру, є температура.

За температурою нагрівання розрізняють такі види відпускання:

- низькотемпературне;
- середньотемпературне;
- високотемпературне.

Низькотемпературне відпускання (150...200°C) застосовують для деталей, які повинні мати високу твердість (підшипники, штамповий та різальний інструмент). Цей вид термообробки дещо підвищує в'язкість сталі зі збереженням твердості внаслідок збереження структури мартенситу та виділення дрібнодисперсних часток карбиду заліза.

Середньотемпературне відпускання (350...400°C) застосовують для деталей із помірними ударним навантаженнями (пружини, ресори, штампи гарячого деформування). Супроводжується більш істотними змінами в структурі сталі: мартенсит перетворюється на тростит відпускання з меншою твердістю (40...50 HRC), більшою пружністю та в'язкістю.

Високотемпературне відпускання (450...600°C) приводить до утворення сорбіту та майже повного усунення гартівних внутрішніх напружень. Сорбіт високотемпературного відпускання має зернисту структуру, що спричиняє найкраще поєднання високої ударної в'язкості, границі витривалості із задовільною міцністю та твердістю (приблизно 25 HRC). Цей вид термообробки застосовується для деталей машин, які використовуються при високих ударних навантаженнях і напруженнях.

Комплексна термообробка – гартування з високим відпусканням – називається *покращенням*. Покращення значно підвищує конструкційну міцність сталей, зменшує чутливість до концентраторів напружень, знижує температуру холодноламкості. Його застосовують для конструкційних сталей, із яких виготовляють деталі, що працюють в умовах дії значних динамічних і змінних навантажень.

3. ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Засвоїти теоретичні положення основ термообробки сталей.
2. Згідно з таблицею завдань 8.2 отримати свій варіант.
3. Визначити режим загартування зразка сталі згідно з варіантом.
4. Визначити режими низького, середнього та високого відпускання зразків сталі згідно з варіантом.
5. Зазначити твердість сталі після загартування та відпускання.
6. Охарактеризувати структуру сталей після проведення різних видів термообробки.
7. Провести аналіз впливу термічної обробки на її властивості.
8. Заповнити таблицю та скласти звіт до роботи.
8. Для закріплення матеріалу вирішити додаткові завдання згідно зі своїм варіантом.

Завдання № 1

Визначити режим термічної обробки двох вуглецевих сталей 45 з метою отримання твердості для першого зразка 50 HRC, а для другого – 30 HRC.

Завдання № 2

Два зразки середньовуглецевої сталі (0,5% C) нагрівали під час гартування один до 820 °C а другий до 920 °C. Зазначити, який зразок матиме більшу твердість, більшу крихкість.

Завдання № 3

Визначити температуру гартування сталі з вмістом вуглецю 1,2%, рекомендувати режим відпускання для отримання твердості 60 HRC.

Завдання № 4

Визначити температуру, режими та час відпалювання сталі Ст. 30.

Завдання № 5

Дати характеристику мікроструктури вуглецевої сталі (0,8% C), загартованої на мартенсит та відпущеної при температурі 500°C

Завдання № 6

Рекомендувати режим термічної обробки вуглецевої сталі 65, що має твердість в одному зразку 170 HRB, а в другому 60 HRC для отримання твердості 45 HRC. Дати характеристику структури сталі в кожному зразку.

Завдання № 7

Різні за складом сталі нагрівають під час загартування 770°C. Який зі зразків – сталь 50 чи У8 – при цьому отримує більш низьку твердість?

Таблиця 6.1 – Протокол досліджень

№ зразка	Марка сталі	Загартування			Твердість HRC	Відпускання			Твердість HRC
		Температура нагрівання, °C	Витримування, хв	Охолоджуюче середовище		Температура нагрівання, °C	Витримування, хв	Охолоджуюче середовище	

Таблиця 6.2 – Індивідуальні завдання

№ з/п	Марка сталі	Необхідна структура	№ з/п	Марка сталі	Необхідна структура
1	У 12	мартенсит	11	P18	мартенсит
2	12X18H10B	тросит	12	12X1MФ	тросит
3	12X18H10T	сорбіт	13	30X9H8M4Г2C2	сорбіт
4	30XГC	перліт	14	40XH2MA	перліт
5	P6M5	перліт+цементит	15	30XГCH2A	мартенсит
6	03H18K9M5T	ферит+перліт	16	ШX15CГ	тросит
7	95X18	мартенсит	17	09X14H19B2BP	сорбіт
8	08X13	тросит	18	65C2BA	перліт
9	ШX15	сорбіт	19	30X10Г10	мартенсит
10	36X2H2MФА	перліт	20	04X11H9M2Д2ТЮ	тросит

4. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Охарактеризуйте основні параметри температурно-часового режиму операцій термічної обробки.

2. Охарактеризуйте умови й механізм фазового перетворення, що відбувається під час гартування сталі, структуру гартування та її властивості.
3. Яке значення в практиці гартування має прогартуваність сталі та від яких чинників вона залежить?
4. Поясніть застосування повного й неповного гартування.
5. Охарактеризуйте застосування різних способів охолодження під час гартування сталей.
6. Охарактеризуйте структуру, властивості сталі після низькотемпературного, середньотемпературного та високотемпературного відпускання, їх застосування.

Лабораторна робота № 9

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ

1. МЕТА РОБОТИ

1. Ознайомлення з основами легування.
2. Вивчення впливу легувальних елементів на структуру і властивості легованих сталей.
3. Вивчення маркування і класифікації легованих сталей.

2. ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

Легованими називають сталі, в які з метою зміни структури і властивостей, окрім вуглецю, вводять легувальні елементи. Основними легувальними елементами є : хром, нікель, вольфрам, кобальт, титан, ванадій, цирконій та інші, а також марганець і кремній. У легованих сталях, як і в конструкційних , містяться постійні домішки: марганець, кремній, фосфор, сірка та ін.

Легування застосовується у двох основних напрямках:

- 1) для підвищення технологічності термічної обробки конструкційних та інструментальних сталей (загартуваність у маслі, прожарюваність та ін.);
- 2) для отримання сталей особливого призначення, які мають комплекс спеціальних характеристик (корозійна стійкість, жароміцність, особливі магнітні властивості та ін.).

2.1. Вплив легувальних елементів на властивості сталі

Переваги легованих сталей та характерні для них спеціальні властивості виявляються тільки після відповідної термічної обробки.

Покращення механічних властивостей обумовлено впливом легувальних елементів на структуру фериту, дисперсність карбідної фази, стійкість мартенситу під час відпускання, прожарюваність, розмір зерна.

Для досягнення високої прожарюваності сталь найчастіше легують більш дешевими елементами – марганцем, хромом, бором, а також дефіцитними елементами – нікелем і молібденом.

• **Хром** (вводять у кількості до 2%) розчиняється у фериті й цементиті, що покращує механічні властивості. Сприяє отриманню високої і рівномірної твердості, підвищує жароміцність, жаростійкість, корозійну стійкість.

• **Нікель** (вводять у кількості від 1 до 5%) сильно знижує поріг холодноламкості й збільшує опір поширенню тріщини, збільшуючи пластичність і в'язкість. Крім того, нікель підвищує електроопір.

• **Марганець** (вводять у кількості до 1,5%) помітно підвищує межу текучості сталі, проте підвищує чутливість до перегріву, сприяє зростанню зерна. Вміст у сталі хрому або марганцю до 1% майже не впливає на поріг холодноламкості. Проте при великих їх концентраціях поріг холодноламкості підвищується. Разом із марганцем вводять карбідоутворювальні елементи для подрібнення зерна.

• **Кремній** (кількість обмежують 2%) сильно підвищує межу текучості, дещо ускладнює розміщення сталі під час відпускання; знижує в'язкість і підвищує поріг холодноламкості.

Вольфрам і молібден – дорогі та дефіцитні карбідоутворювальні елементи, які розчиняються переважно у фериті.

• **Вольфрам** (0,8...2%) зменшує величину зерна, підвищує твердість і міцність, покращує ріжучі властивості за підвищених температур.

• **Молібден** (0,2...0,4%) діє так само, як і вольфрам. Крім того, підвищує статичну, динамічну та втомну міцність сталі, покращує корозійну стійкість.

• **Ванадій, титан, ніобій та цирконій** під час легування сталей у невеликих кількостях (від 0,05 до 0,15%) створюють складно розчинні в аустеніті карбіди, подрібнюють зерно, що знижує поріг холодноламкості.

• **Бор** у мікродозах (0,002...0,005%) уводять для збільшення прожарюваності. Оскільки він істотно впливає на властивості сталі, його відмічають у маркуванні (наприклад, 20ХГР містить 0,001...0,005% бору).

2.2. Маркування легованих сталей

Маркування легованих сталей складається з поєднання букв і цифр, що позначають їх хімічний склад. Відповідно до стандартного маркування основні легувальні елементи позначаються такими буквами: А–азот, Б–ніобій, В–вольфрам, Г–марганець, Д–мідь, Е–селен, До–кобальт, Н–нікель, М–молібден, П–фосфор, Р–бор; З–кремній, Т–титан, Ф–ванадій, Х–хром, Ц–цирконій, Ч–рідкоземельні елементи, Ю–алюміній.

У конструкційних сталях дві цифри на початку марки позначають вміст вуглецю в сотих частках відсотка (наприклад, у сталі 30ХН3А близько 0,30 % вуглецю); у високовуглецевих інструментальних сталях – у десятих частках відсотка (сталь 9ХС – 0,9% вуглецю). Якщо сталь має 1,0% вуглецю і вище, то

цифра, що характеризує вміст вуглецю, незначається (сталь Х12М). Цифри, що йдуть після букви, позначають відсотковий вміст цього легувального елемента. За вмісту елемента в межах 1,0–1,5% цифра відсутня (наприклад, сталь ХВГ), за винятком бору і ванадію.

Швидкорізальні сталі заведено маркувати буквою Р, після якої йде цифра, яка вказує на наявність обов'язкового легувального елемента в таких сталях – вольфраму у відсотках (наприклад, Р9), середній вміст кобальту позначають К та цифрою після букви, ванадію – цифрою після букви Ф (Р6К5Ф2) і тощо.

У шарикопідшипникових сталях на початку маркування ставиться буква Ш, а вміст хрому зазначається в десятих частках відсотка (ШХ15). Автоматні сталі маркують буквою А, після якої йде цифра, яка вказує середній вміст вуглецю в сотих частках відсотка, за підвищеного вмісту в сталі марганцю в кінці марки додають букву Г (А40Г).

Допускаються нестандартні позначення легованих сталей і сплавів, зокрема дослідні марки сталі, що виплавляються на заводі «Електросталь», позначаються буквами Э, Д (дослідницька), П (пробна) і порядковим номером, наприклад: ЭИ612, ЭП658.

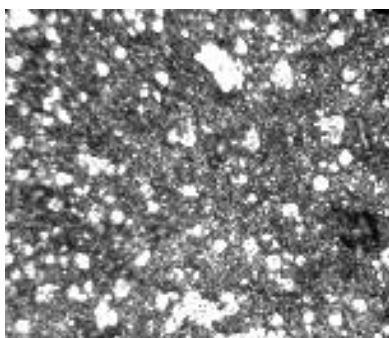
Приклади позначення і розшифровки деяких марок сталей:

1) 40ХГТР–сталь конструкційна низьколегована, якісна, містить 0,38–0,45% вуглецю; 0,8–1,1% хрому; 0,7–1,0% марганцю, 0,03–0,09 титану, усе інше–залізо та технологічні домішки;

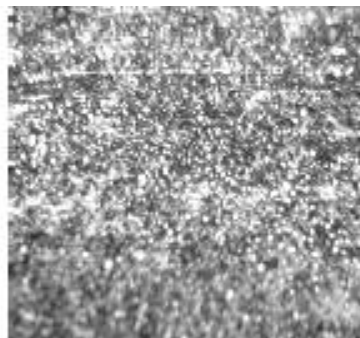
2) ХВГ–сталь інструментальна низьколегована, містить 0,09–1,05% вуглецю; 0,9–1,2% хрому; 1,2–1,6% вольфраму; 0,8–1,1% марганцю, усе інше–залізо і технологічні домішки;

3) ШХ15СГ - сталь шарикопідшипникова, якісна, містить 0,95–1,05% вуглецю; 1,30–1,65% хрому; 0,40–0,65% кремнію; 0,9–1,2% марганцю, усе інше – залізо і технологічні домішки (рис. 9.1, б);

4) Р6М5 – сталь швидкорізальна, інструментальна, якісна, містить близько 1% вуглецю, 3,8–4,4% хрому, 5,5–6,6% вольфраму, 5,0–5,5% молібдену, 1,7–2,1% ванадію, усе інше–залізо та технологічні домішки (рис 9.1, а).



а



б

Рисунок 9.1 – Мікроструктура легованих сталей: а – швидкорізальної Р6М5 після відпалювання (x100); б – шарикопідшипникової ШХ15СГ після загартування та низького відпускання (x300)

2.3. Класифікація легованих сталей

Леговані сталі класифікують за хімічним складом, призначенням і структурою. Залежно від наявності певних легувальних елементів сталі поділяються на хромисті, хромонікелеві, хромонікельвольфрамові, марганцеві, кременисті та ін. За кількістю введених елементів їх підрозділяють на низьколеговані, середньолеговані та високолеговані.

Сталі, в яких сумарний вміст легувальних елементів не перевищує 2,5%, належать до низьколегованих, ті, що містять 2,5–10,0% - до легованих, понад 10%—до високолегованих.

За призначенням леговані сталі поділяються на такі групи:

1) конструкційні: будівельні низьколеговані, цементовані, покращені (середньовуглецеві, що містять 0,3–0,5% вуглецю, піддаються гартуванню і відпусканню), високоміцні, шарикопідшипникові, ресорно-пружинні та ін.;

2) інструментальні: для різальних і вимірювальних інструментів, штампів;

3) сталі та сплави з особливими властивостями: нержавіючі, жаростійкі, жароміцні, з особливими магнітними й електричними властивостями та ін.

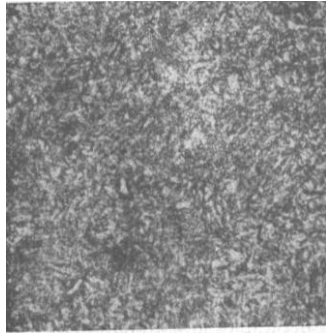
Леговані сталі класифікують за структурою в рівноважному (відпаленому) і в нормалізованому стані.

За структурою в рівноважному стані сталі з певним ступенем умовності поділяються на такі класи: перлітний, ледебуритний (карбідний), феритний, аустенітний і феритно-аустенітний. Класифікація сталей у нормалізованому стані проводиться за структурою зразків невеликого перетину, охолоджених після нагрівання вище критичних точок на повітрі. В основу такої класифікації покладено вплив легувальних елементів на діаграму ізотермічного розпаду переохолодженого аустеніту і температуру початку і кінця мартенситного перетворення.

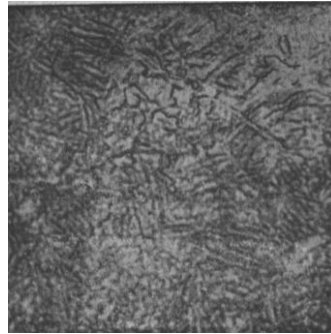
За структурою в нормалізованому стані сталі поділяються на класи: перлітний, мартенситний і аустенітний. Крім того, існують сталі аустенітно-мартенситного (перехідного), мартенсито-ферритного класу та ін.

Перлітні сталі після відпалу містять у структурі або тільки перліт або окрім перлітного, і ще ферит (доевтектоїдні сталі), або вторинні карбіди (заевтектоїдні сталі). Сталі перлітного класу містять невелику кількість легувальних елементів. Перлітні низьколеговані сталі після нормалізації набувають структури перлітного типу (перліт, сорбіт, троостит) із можливими включеннями фериту в доевтектоїдних і цементиту в заевтектоїдних сталей. До перлітного класу належить більшість марок конструкційних (20Х, 30ХГСА, ШХ15 та ін.) (рис. 9.2) та інструментальних сталей (9ХС, ХВГ та ін.).

За вмісту легувальних елементів приблизно 4–10% та після нормалізації структура сталі утворюється переважно мартенситна. Такі середньолеговані сталі належать до мартенситного класу. Сталями мартенситного класу є деякі конструкційні (18Х244ВА, 38ХНЗМФА та ін.), хромисті корозійностійкі (30Х1320Х13 та ін.), жароміцні (15Х11МФ, 40Х9С2) та ін.



а



б

Рисунок 9.2 – Мікроструктура сталей: а – марки 30ХГСА після загартування та високого відпускання Х300; б – марки 60С2А(Х1000)

Леговані сталі перлітного класу, на відміну від простих вуглецевих, вигідно відрізняються тим, що для отримання мартенситної структури можуть загартовуватися в маслі, тоді як вуглецеві сталі слід загартовувати у воді. Різде охолодження під час загартовування вуглецевих сталей веде до викривлення деталей.

Найкращими в цьому відношенні є сталі мартенситного класу. У них мартенсит утворюється під час загартування в повітрі. Викривлення в цьому випадку є найменшим. Крім того, зі зростанням вмісту легованих елементів збільшується прожарювання, що дозволяє проводити зміцнення шляхом загартування та відпускання виробів великих перетинів.

У простих вуглецевих сталей прожарювання дуже низьке, наприклад для сталі У10 воно становить ~ 10 мм; у легованих сталей перлітного класу прожарювання помірне, а у сталей мартенситного класу – велике.

Ледебуритні сталі – це інструментальні сталі з високим вмістом вуглецю і карбідоутворювальних елементів (Cr, W, Mo та ін.), наприклад: Р9, Х12М. Після лиття структура таких сталей складається з ледебуриту, перліту і вторинних карбідів. Під час кування великі ледебуритні (первинні) карбіди роздробляються на дрібніші.

У відпаленому після кування стані структура сталі складається з карбідоутворювального перліту, первинних (більших) і вторинних (дрібніших) карбідів, загальна кількість яких може досягати 30–35%. Тому такі сталі іноді називають карбідними. У нормалізованому стані ледебуритні сталі є сталями мартенситного або перлітного класу.

2.4. Характеристика основних структурних класів сталей

Сталі феритного, аустенітного, аустенітно-феритного, аустенітно-мартенситного і мартенситно-феритного класів здебільшого належать до корозійностійких, жароміцних і містять не менше 12% хрому.

За низького вмісту вуглецю і великої кількості легувального елемента, що обмежує область існування аустеніту (Cr, W, Mo, V та ін.), утворюється сталь, що належить до феритного класу.

Сталлями феритного класу є хромисті корозійностійкі сталі 08X13, 15X25T та ін. Вони не мають фазових перетворень у твердому стані, тому не зміцнюються термічною обробкою.

У разі збільшення змісту вуглецю або аустенізаторів у хромистих корозійностійких сталях (12X13, 20X13 та ін.) під час нагрівання частина фериту перетворюється на аустеніт, який після швидкого охолодження переходить у мартенсит. Такі сталі є мартенситно-феритним, отже, можуть зміцнюватися термічною обробкою.

Аустенітні сталі, як правило, леговані хромом і нікелем (або марганцем). Найбільшу групу високолегованих сталей становлять хромонікелеві та хромонікельмарганцеві сталі (рис. 9.3). У рівноважному стані вони мають легований аустеніт, а також певну кількість карбідів та інтерметалідів. У разі загартування при 1000...1100°C в них утворюється чиста аустенітна структура, оскільки інші фази (карбіди, інтерметаліди) розчиняються під час нагрівання. При цьому утворюються високі корозійна стійкість і пластичність, але зміцнення не відбувається. Останнє відрізняє аустенітні сталі від низько- та середньолегованих.

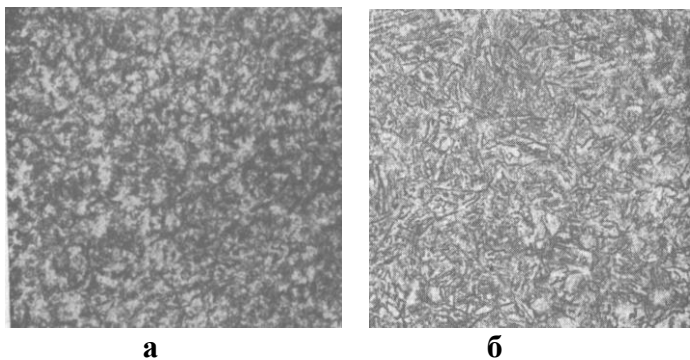


Рисунок 9.2 – Мікροструктура сталей: після загартування та високого відпускання, х 300 а – марка 20ХН3А, б – марки 18ХН4ВА

Проте, якщо в результаті загартування аустеніт достатньо перенасичений вуглецем та іншими легувальними елементами, то старіння при 650...700°C може викликати зміцнення за рахунок виділення інших фаз у дрібнодисперсному стані. Таким чином, аустенітні сталі можуть бути гомогенними, не зміцнюваними термічною обробкою (12X18Н9 та ін.), дисперсно-твердіючими, зміцнюваними загартуванням і старінням (наприклад, 40X14Н14В2М).

Сталі перехідного аустенітно-мартенситного класу (09X15Н9Т та ін.) за високих температур є повністю аустенітними і після охолодження до 20°C зберігають цей стан, який є нестійким. Це досягається підбиранням хімічного складу і, головним чином, завдяки зменшенню вмісту нікелю порівняно зі сталлями аустенітного класу. Нестійкий після гартування аустеніт після обробки холодом частково (до 50–70%) перетворюється на мартенсит, надаючи тим самим сталі вищих міцнісних властивостей. Додаткове зміцнення сталі відбувається під час старіння при 350...500°C. Ці сталі, як і аустенітні, завдяки високим технологічним властивостям, мають кращі міцнісні характеристики. Вони використовуються як корозійностійкі матеріали при звичайних і високих температурах (до 500...550°C).

Корозійностійкі сталі аустенітно-феритного класу (12Х22Н5Т та ін.) завдяки більшому вмісту хрому і зменшеному вмісту нікелю мають двофазну структуру за всіх температур твердого стану. Кількісне співвідношення аустеніту і фериту в них залежить не тільки від хімічного складу, але і від температури нагрівання під час термічної обробки та може змінюватися в широких межах. Стабільність механічних властивостей цих двофазних сплавів досягається тільки за відносно невеликих коливань хімічного складу.

3. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Вивчити властивості, структуру та застосування легованих сталей у відпаленому та нагартованому стані.
2. Ознайомитися з колекцією легованих сталей.
3. Отримати у викладача зразки легованих сталей згідно з варіантом.
4. Заміряти твердість відпалених та загартованих зразків сталей У10, 9ХС, ХВГ, 12Х18Н9, Х12 у центрі та скраю.
5. За виданим варіантом леговоної сталі визначити марку, коротко описати її властивості та застосування в харчовому машинобудуванні.
6. Скласти звіт про роботу.

Таблиця 9.1 – Результати випробувань легованих сталей на твердість

Марка сталі	Температура загартування	Твердість сталі після загартування	Твердість сталі після відпускання	
			300°С	500°С
У10				
12Х18Н9				
Х12				
ХВГ				

4. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. З якою метою проводиться легування сталі?
2. У яких кількостях містяться легувальні елементи в низьколегованих, легованих і високолегованих сталях?
3. Як впливають легувальні елементи на властивості сталі?
4. Які основні переваги леговоної сталі перед вуглецевою?
5. Які найважливіші чинники обумовлюють зміну структури і властивостей легованих сталей?
6. Як маркуються леговані сталі?
7. За якими основними ознаками класифікуються леговані сталі?
8. Що таке теплостійкість? Як впливає легування на цю характеристику?
9. Особливості термічної обробки леговоної сталі.

БУДОВА ТА ВЛАСТИВОСТІ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ

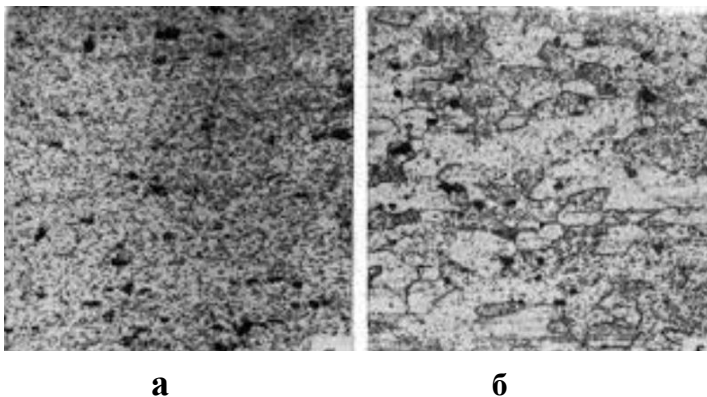
1. МЕТА РОБОТИ

1. Вивчення хімічного складу, будови та класифікації алюмінієвих сплавів.
2. Вивчення способів і режимів термообробки алюмінієвих сплавів.
3. Ознайомлення з властивостями та застосуванням алюмінієвих сплавів.

2. ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

2.1. Властивості алюмінієвих сплавів

Алюміній – метал сріблясто-білого кольору, легкий ($\rho=2700 \text{ кг/м}^3$) із температурою плавлення $T_{\text{пл}}=660^\circ\text{C}$ (рис. 10.1). Технічний алюміній після прокатування і відпалювання має невисоку міцність і твердість ($\sigma_{\text{в}}=80\text{...}100 \text{ МПа}$, $\text{НВ}= 25\text{...}30$), але високу пластичність. Домішки інших елементів дещо знижують його пластичність, але підвищують міцність.



**Рисунок 10.1 – Мікроструктура технічно чистого алюмінію:
а – деформованого; б – відпаленого**

Алюміній має високу тепло- й електропровідність. Електропровідність чистого алюмінію становить 60% від електропровідності міді, що разом із малою густиною забезпечує йому широке застосування в електротехніці для виготовлення провідників струму. Електропровідність і теплопровідність сплавів алюмінію знижуються через легування різними елементами.

Алюміній має високу корозійну стійкість на повітрі та в інших середовищах, що пояснюють утворенням на його поверхні тонкої, але щільної захисної плівки Al_2O_3 . У промисловості використовують переважно алюміній високої та технічної чистоти у виробництві сплавів, провідників струму, фольги для конденсаторів та інших потреб.

Позначається алюміній буквою *A* та числом відсоткового вмісту домішок. Залежно від цього алюміній буває особливої чистоти *A999* (0,001% домішок),

високої частоти $A995, A99, A97, A95$ (0,005–0,050% домішок) та технічної частоти $A85, A8$ (0,15–2,00% домішок).

Як конструкційний матеріал алюміній застосовують рідко, зазвичай використовують його сплави. Перевагою алюмінієвих сплавів є висока питома міцність (відношення границі міцності до густини) та здатність чинити опір інерційним і динамічним навантаженням. За питомою густиною окремі алюмінієві сплави наближаються до високоміцних сталей, але поступаються їм у жорсткості (модуль Юнга сталей приблизно дорівнює $2,10 \cdot 10^5$ МПа, а сплавів алюмінію– $0,71 \cdot 10^5$ МПа). Більшість алюмінієвих сплавів мають високу корозійну стійкість (за винятком сплавів із Cu), тепло- та електропровідність і добру технологічну пластичність, розмаїття механічних і фізичних властивостей. Сплави з особливими фізичними властивостями застосовують у приладобудуванні. Корозійностійкі сплави використовують в умовах морського і тропічного клімату, у хімічному машинобудуванні; спеціальні жароміцні сплави–в умовах короткочасної або тривалої дії підвищених температур. З антифрикційних алюмінієвих сплавів виготовляють підшипники ковзання. Добра зварюваність сплавів дає змогу отримувати нероз’єднанні з’єднання високої міцності та корозійної стійкості.

За технологією виготовлення виробів розрізняють три групи алюмінієвих сплавів: деформівні, ливарні, спечені (спеціальні) (табл. 10.1).

2.2. Деформівні сплави

Деформівні сплави мають високу здатність до пластичної деформації. Головними легувальними елементами в них є Mg, Mn, Cu, Si, Zn.

Деформівні сплави, які зміцнюються нагартовкою – це з’єднання Al із Mn та Mg (рис. 2, 3). Такі сплави внаслідок термообробки майже не зміцнюються, тому з цією метою застосовують нагартовку в холодному стані. Сплави Al–Mg та Al–Mn мають високу корозійну стійкість, добре зварюються, штамнуються, але погано обробляються різанням. Із них виготовляють трубопроводи для масла, бензину, зварні баки (наприклад: АМц, АМцС, АМг1, АМг3, АМг5, АМг6 та ін.) (рис. 10.2, а, б).

Деформівні сплави, що зміцнюються термообробкою мають у своєму складі Al, Cu, Mg, Mn та інші легувальні елементи. До них належать дюралюміни, високоміцні, кувальні та жароміцні сплави.

1. *Сплави нормальної міцності* (системи Al–Cu–Mg–Mn) називаються **дюралюмінами**. Маркують їх буквою «Д» та номером сплаву Д1, Д16, Д20. У кінці можуть ставитися такі букви: М – відпалений, м’який; Т – термічно оброблений; Н – нагартований; Н1 – умовно нагартований (рис. 10.2, в).

Термічна обробка дюралюміну полягає в гартуванні його за температури до 500°C і наступному природному старінні за кімнатної температури протягом 5...7 діб або штучному старінні за температури $100...150^\circ\text{C}$. Після такої обробки властивості дюралюмінію є такими: $\sigma_{\text{в}} = 420...470$ МПа, $\text{НВ } 90...10$, $\delta = 18...20\%$.

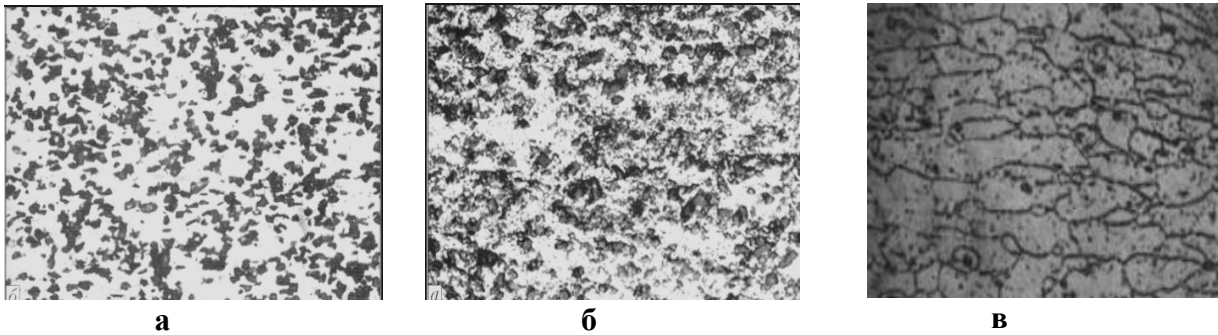


Рисунок 10.2 – Мікроструктура алюмінієвих сплавів: а–АМг5; б – АМг6; в – Д16

Дюралюміни мають знижену корозійну стійкість, тому їх захищають методом плакування. Широко застосовуються в авіації.

2. *Високоміцні сплави* – це системи Al – Zn – Mg – Cu (B65, B95) та Al – Cu – Li – Cd (ВАД 23), що відрізняються найвищою межею міцності серед алюмінієвих сплавів та підвищеною корозійною стійкістю. ВАД 23 є ще й жаростійким. Застосовуються такі сплави для виробництва деталей, літаків (обшивка, шпангоути, лонжерони).

3. *Сплави для кування та штампування* – це системи Al – Cu – Mg – Si (рис. б). Їх особливістю є покращені ливарні властивості та висока пластичність у гарячому стані. Дефектом є схильність до корозії під напруженням та недостатня жароміцність (АК6, АК8).

4. *Жароміцні сплави* застосовують для виготовлення деталей машин та елементів конструкцій, що працюють за підвищених температур до 350°C 9 (рис. 10.3). Вони переважно є складнолегованими та містять велику кількість таких елементів, як Fe, Ni, Co, Ti (АК 4).

Сплави Д20, Д21 мають високий вміст міді. Вони використовуються для лопаток і дисків компресорів, поршнів двигунів.

2.3. Ливарні сплави

Ливарні сплави характеризуються високою рідкоплинністю, малою усадкою. Ці сплави поділені за стандартом на п'ять груп. Найкращі ливарні властивості мають сплави системи Al – Si (силуміни), АЛ 2, АЛ 4 (рис. 10.3), АЛ 9 (алюмінієвий ливарний сплав марок 2, 4, 9). Крім того, застосовуються сплави систем Al – Mg (Амг 10, АЛ 27, АЛ 13, АЛ 23, АЛ 28); Al – Cu (АМ5, АЛ 7, АЛ 19); Al – Cu–Si (АК8М, АЛ 10В, АЛ 15В).

Особлива група ливарних сплавів – це антифрикційні сплави, які застосовуються у вигляді тонкого шару, нанесеного на сталеву основу. Із такого біметалу штамнують деталі для двигунів, товстостінні підшипники. Широко використовуються сплави Al – Cu – Sb – Ni (АСМ) та Al – Sn (АО 20-1(17-23% Sn; Cu) АО 9-2(8-10 % Sn; 2-2,5% Cu, 08-1,2 % Ni,0,3-0,7 % Si).

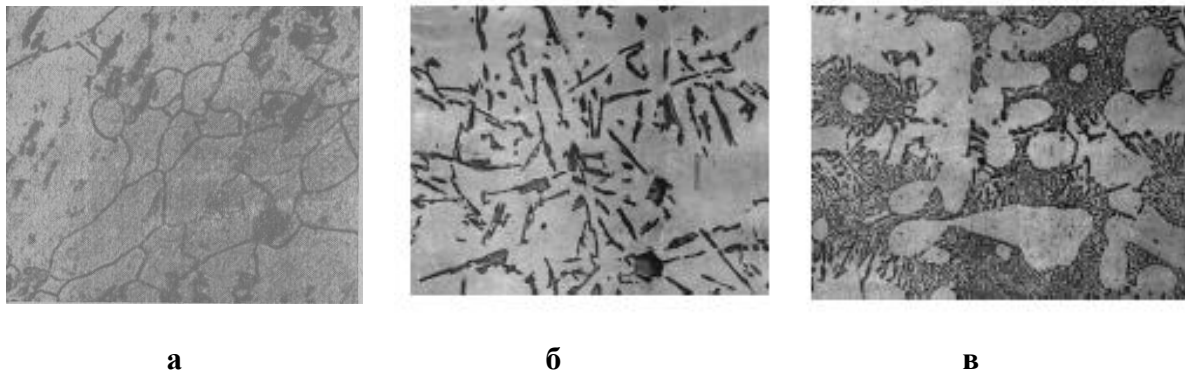


Рисунок 10.3 – Мікроструктура алюмінієвих сплавів: а – АК-4, б – -силуміну АЛ4 до модифікації; в – АЛ4 після модифікації

2.4. Спечені сплави

Спечені сплави – спеціальні матеріали, одержані методом порошкової або гранульної металургії. Вони складаються з чистого алюмінію з рівномірно розподіленими дисперсними зміцнювальними часточками Al_2O_3 та солей алюмінію Al_2Cr , Al_2Zn , Al_2Fe .

Алюмінієві сплави такого типу поділяють на дві групи.

1. *Спечені алюмінієві порошки (САП)* одержують пресуванням і спіканням окисненої алюмінієвої пудри, часточки якої менші ніж 1 мкм. Фізичні властивості САП близькі до властивостей алюмінієвих сплавів, але за жароміцністю перевищують їх зберігаючи стабільну структуру до $350^{\circ}C$.

2. *Гранульовані алюмінієві сплави (САС)* мають структуру твердого розчину легувальних елементів у алюмінії з дисперсними включеннями Al_2O_3 та солей алюмінію Al_2Cr , Al_2Zn , Al_2Fe . Гранули розміром 0,5...1,0 мкм одержують охолодженням крапель перегрітого розплаву з великою швидкістю.

Спеціальні алюмінієві сплави завдяки високій жароміцності використовують для виготовлення основних деталей літаків, авіаційних та автомобільних двигунів, що працюють за температур $300...500^{\circ}C$. Висока корозійна стійкість обумовлює їх застосування в хімічній, нафтопереробній та суднобудівній галузях промисловості. Склад і властивості основних промислових алюмінієвих сплавів наведено в табл. 1.

3. ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Отримати у викладача зразки алюмінієвих сплавів.
2. Визначити твердість отриманих сплавів методом Роквелла.
3. Отримані алюмінієві сплави класифікувати за структурою та призначенням, охарактеризувати їх властивості.
4. Зазначити можливе застосування досліджуваних сплавів у галузі харчового машинобудування.
5. Для закріплення матеріалу розв'язати наведені нижче завдання.

Таблиця 1 – Хімічний склад і властивості алюмінієвих сплавів

Марка сплаву	Вміст елемента, %					Режим термообробки	Механічні властивості		
	Cu	Mg	Mn	Si	інші		σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %
<i>Деформівні сплави, що зміцнюються нагартовкою</i>									
АМц	0,1	0,2	1,0–1,9	0,6	0,1Zn; 0,7Fe	Відпал	300	0	0
АМг2	0,1	1,8–2,6	0,2–0,6	0,4	0,2Zn; 0,4Fe	Те саме	90	0	4
АМг5	0,1	4,8–5,8	0,3–0,8	0,5	0,02–0,1 Ti; 0,0002–0,005 Be	Те саме	70	20	8
<i>Деформівні сплави, що зміцнюються термообробкою</i>									
Д1	3,8–4,8	0,4–0,8	0,4–0,8	0,7	0,1 Ni; 0,7Fe	10	10	8
Д16	3,8–4,9	1,2–1,8	0,3–0,9	0,5	0,1 Ni; 0,5Fe	Те саме	40	30	8
В95	1,4–2,0	1,8–2,8	0,2–0,6	0,5	0,01–0,25Cr; 5,0–7,0 Zn	Те саме	40	70	0
В96	2,0–2,6	2,3–3,0	0,3–0,8	–	8–9 Zn	Те саме	750	720	7
АК6	1,8–2,6	0,4–0,8	0,4–0,8	1,0	0,7–1,2 Si	Те саме	20	00	3
ВАД23	4,8–5,8	$\leq 0,05$	0,4–0,8	–	0,9–1,4Li; 0,1–0,25Cd	Те саме	50	80	0
01420	–	5,0–6,0	–	–	1,9–2,3 Li; 0,09–0,15Zr	Те саме	20	70	
<i>Ливарні сплави</i>									
АК12	–	–	–	10–13	–	Литво в землю	180	80	7
(АЛ2)						Литво в кокіль	220	90	
АК9	–	0,17–0,30	0,2–0,5	8–0,5	–	Литво в землю	260	200	4
(АЛ9)						Загартування –старіння			
АМ9 (АЛ19)	4,5–5,3	–	0,6–1,0		0,15–0,35Ti	Те саме	360	360	3

Завдання 1

Для виготовлення деталей літака вибрано сплав Д16. Розшифруйте його склад, опишіть спосіб зміцнення сплаву і поясніть природу зміцнення. Охарактеризуйте механічні властивості сплаву.

Завдання 2

Для поршнів двигуна внутрішнього згорання застосовується сплав АЛ4. Розшифруйте склад сплаву, визначте спосіб виготовлення деталей, режим термічної обробки і природу зміцнення. Охарактеризуйте механічні властивості сплаву.

Задання 3

Для яких деталей харчового машинобудування застосовується сплав АМгЗ. Визначте склад сплаву, опишіть, яким способом проводиться його зміцнення і поясніть природу зміцнення. Охарактеризуйте механічні властивості сплаву.

Задання 4

Для виготовлення деяких деталей літака вибрано сплав Д19. Визначте склад і охарактеризуйте механічні властивості після термічної обробки. опишіть спосіб зміцнення цього сплаву і поясніть природу зміцнення.

Завдання 5

Для виготовлення деяких деталей двигунів внутрішнього згорання застосовується сплав АК4. Розшифруйте склад, визначте спосіб виготовлення деталей із цього сплаву і охарактеризуйте механічні властивості сплаву за підвищених температур.

Задання 6

Для виготовлення деяких деталей в авіабудуванні застосовується сплав МЛЗ. Розшифруйте його склад, визначте спосіб виготовлення деталей із нього й охарактеризуйте механічні властивості.

Завдання 7

Описати застосування сплаву АМгЗ у харчовому машинобудуванні. Визначте склад сплаву, опишіть спосіб його зміцнення, пояснивши природу зміцнення, охарактеризуйте механічні властивості сплаву.

4. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Дайте визначення сплавам на основі алюмінію.
2. Які існують деформівні сплави алюмінію?
3. Які сплави називають дюралюмінами? Назвіть особливості їх фазового складу, термічної обробки та застосування.
4. Склад, режими термічної обробки, властивості та застосування деформівних алюмінієвих сплавів, що зміцнюються термічною обробкою.
5. Види та застосування ливарних алюмінієвих сплавів?

ВЛАСТИВОСТІ ТА ЗАСТОСУВАННЯ МІДНИХ СПЛАВІВ

1. МЕТА РОБОТИ

1. Вивчення хімічного складу, будови та класифікації мідних сплавів.
1. Ознайомлення з властивостями та застосуванням мідних сплавів.

2. ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

2.1. Мідні сплави

Мідь—це метал червоного кольору густиною $\rho=8,9 \text{ г/см}^3$ і температурою плавлення 1083°C (рис. 11, а).

У відпаленому стані мідь має міцність $\sigma_{\text{в}}=250 \text{ МПа}$, твердість 45 НВ, пластичність $\delta=45 \%$. Як конструкційний метал чисту мідь у машинобудуванні використовують рідко. Частіше її використовують у вигляді сплавів—латуні та бронзи.

Мідні сплави мають високі тепло- та електропровідність, корозійну стійкість у вологому середовищі, зносостійкість (навіть в умовах абразивного зношування), малий коефіцієнт тертя і добру припрацьовуваність у парах з іншими твердими матеріалами. Мідні сплави вирізняються досить високою міцністю ($\sigma_{\text{в}}$ до 900 МПа), та пластичністю ($\delta=55\%$; $\delta=75\%$). Більшість мідних сплавів добре обробляються тиском та різанням. Сплави на основі міді є надійними матеріалами для роботи за низьких температур: їх міцність і пластичність навіть зростають аж до мінус 250°C , у той час як сплави заліза в таких умовах стають дуже крихкими.

Дефектами мідних сплавів є відносно висока густина ($8,2\dots 8,9 \text{ г/см}^3$) та низькі механічні властивості за підвищених температур.

2.2. Латунь

Латунями називають сплави міді з цинком. Їх поділяють на прості (подвійні) (рис. 11.1, б) та складні (багатокомпонентні) (рис. 11.1, в). Цинк у кількості до 39% утворює з міддю твердий розчин α , так звану α -латунь. За більшого вмісту цинку в сплавах утворюється друга фаза— β -твердий розчин. Двофазні латуні називають $(\alpha+\beta)$ -латунями (рис. 11, б, в). Наявність у структурі міцнішої і твердішої β -фази сприяє підвищенню міцності латуні, проте різко знижує її пластичність.

Сплави з масовою часткою цинку понад 45% є крихкими, тому їх рідко застосовують.

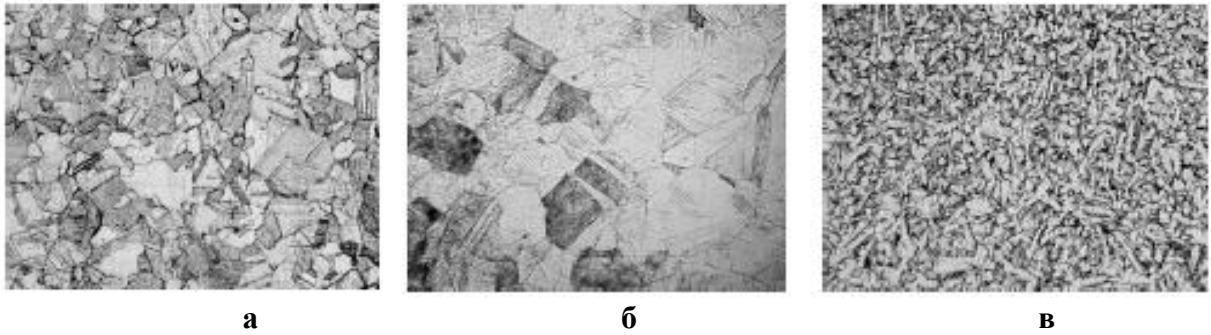


Рисунок 11.1 – Мікроструктура: а – технічно чистої міді, $\times 100$; б – α латунь Л70; $\times 70$, в – α - β -латунь Л62, $\times 150$

Прості латуні застосовують переважно як деформівні матеріали, з яких виготовляють напівфабрикати: листи, стрічки, смуги, труби, прутки тощо.

Усім латуням в інтервалі температур $200\text{...}700^\circ\text{C}$ властиве значне зменшення пластичності, що пов'язано з впливом домішок і утворенням у зазначеному температурному діапазоні крихких міжкристалітних прошарків. Наявність зони крихкості робить неможливою гарячу обробку тиском латуней за температур, нижчих від 700°C .

Для підвищення міцності й корозійної стійкості, поліпшення деяких технологічних властивостей до складу латуней вводять Ni, Pb, Sn, Si та інші елементи. Такі латуні називають *складними*.

Унаслідок легування:

- алюміній підвищує міцність, твердість, корозійну стійкість (ЛА77-2);
- олово підвищує корозійну стійкість у морській воді (ЛО70-1);
- кремній підвищує корозійну стійкість та технологічні властивості (ЛК80-3);
- нікель підвищує механічні властивості і корозійну стійкість (ЛН 65-5).

Латуні маркують літерою «Л» і цифрами, які позначають масову частку міді в сплаві, наприклад марка Л80 означає латунь із 80% Cu, решта – Zn. У марці складних латуней перші дві цифри за літерами вказують на середній вміст міді, а наступні – вміст інших елементів (решта – Zn): О – олово, Ц – цинк, С – свинець, Ж – залізо, Мц – марганець, Н – нікель, К – кремній, А – алюміній. Наприклад: марка ЛЖС58-1-1 позначає латунь із масовою часткою 58% Cu, 1% Fe і 1% Pb, решта – Zn; ЛАЖМц66-6-3-2 - це деформівна латунь, що містить як основні компоненти 66% Cu, 6% Al, 3% Fe, 2% Mn, решта – Zn.

Марки ливарної латуні відрізняються від розглянутих. Так, марка ЛЦ40Мц3Ж позначає латунь із масовою часткою 40% Zn, 3% Mn, 1% Fe, решта – Cu; ЛЦ30А3 – ливарна латунь із вмістом приблизно 30% Zn, 2...3% Al, решта – Cu.

Склад і властивості різних марок латуні наведено в табл. 11.2.

Таблиця 11.2 – Хімічний склад, механічні властивості та призначення латуні

Марка латуні	Структура	Вміст, %		$\sigma_{\text{в}}$ МПа	δ , %	НВ	Призначення
		Cu	Легіюючі елементи				
<i>Деформівні латуні</i>							
Л90	α	8–91	–	60	5	3	Стрічки, листи, мембрани, змійовики
Л80	α	9–81	–	20	2	5	Стрічки, дрiт, труби конденсаторiв, теплообмiнники
Л63	$\alpha+\beta$	2–65	–	30	0	6	Стрічки, дрiт, прутки, труби деталі радіаторів, патрубків
ЛС59-1	$\alpha+\beta$	7–60	0,8–1,9Pb	00	5	0	Смуги, прутки, втулки, крани, трійники, прокладки
ЛЖМц59-1-1	$\alpha+\beta$	7–60	0,6–1,2Fe; 0,5–0,8Mn	50	0	8	Дрiт, труби
ЛАЖ60-1-1	$\alpha+\beta$	8–61	0,75–1,5Al; 0,75–1,5Fe	50	5		Труби, прутки
<i>Ливарні латуні</i>							
ЛЦ16К4	$\alpha+\beta$	8–81	3,0–4,5Si	00	5	00	Арматура, деталі харчового обладнання
ЛЦ40Мц3Ж	$\alpha+\beta$	3–58	3,0–4,0Mn; 0,5–1,5Fe	00	0	00	Гребні гвинти та їх лопаті
ЛЦ23А6Ж3Мц2	$\alpha+\beta$	4–68	4,0–7,0Al; 2,0–4,0Fe; 1,5–3,0Mn	00		60	Гайки гвинтів, черв'яків, гвинти

2.3. Бронзи

Бронзою називають сплав міді з оловом, алюмінієм, берилієм та іншими елементами, крім цинку як основного компонента. На відміну від цинку, ці елементи або мають змінну розчинність у міді залежно від температури, або утворюють тверді розчини, які під час охолодження зазнають евтектоїдного перетворення. Тому за технологічними властивостями бронзу поділяють на деформівну та ливарну. Крім того, бронзу зі значною розчинністю компонентів або евтектоїдним перетворенням можна піддавати зміцнювальній термообробці.

Бронзи, як і латуні, бувають простими і складними. Марки деформівних бронз починаються літерами «Бр», за якими йдуть літери, що позначають легувальні елементи, а за ними в такому самому порядку цифри, які вказують на вміст цих елементів (решта – Cu). Наприклад, до складу бронзи марки БрОЦС-4-4-4 входить

по 4 % Sn, Zn і РЬ, решта - Си. У марках ливарних бронз вміст елементів зазначають безпосередньо після їх позначення, наприклад: БрО8Н4Ц2 (8% Sn, 4% Na, 2% Zn, решта – Cu).

Бронзи отримали назву за своїми легувальними елементами:

1. **Алюмінієві бронзи** (БрА5, БрА7, БрА10) вирізняються високими корозійною стійкістю та зносостійкістю, що зумовлює їх застосування в суднобудуванні—для виготовлення парової та водяної арматури, зубчастих коліс, шестерень, черв'ячних передач тощо. З алюмінієвої бронзи, легованої Fe, виробляють сидла клапанів, втулки, деталі насосів і турбін, які працюють за температури близько 500°C.

2. **Олов'яні бронзи** відрізняються високою корозійною та хімічною стійкістю (БрОЦСН 3-7-5-1). Незважаючи на зростання міцності сплавів із вмістом олова до 25%, практичного застосування набули прості бронзи з 2...14% Sn. Наявність у структурі литої бронзи колоній твердого евтектоїду забезпечує високу стійкість проти стирання; завдяки цьому бронза з 10% Sn є добрим матеріалом для виготовлення підшипників ковзання.

Склад і властивості промислової бронзи різних марок наведено в табл. 3.

3. **Свинцеві бронзи** поєднують у собі антифрикційні властивості з високою теплопровідністю, добре сприймають ударні навантаження та працюють на стомлення. Їхня структура, що складається з відносно твердих зерен міді та м'яких вкраплень свинцю, забезпечує високі антифрикційні властивості та зумовлює широке застосування свинцевої бронзи для виготовлення вставок підшипників ковзання, які експлуатують за підвищеного тиску й на високих швидкостях. Унаслідок низьких механічних властивостей подвійного сплаву свинцеву бронзу наплавляють тонким шаром на сталеву основу. Найпоширенішими промисловими сплавами є такі БрС3О, БрОС5-25, БрОС8-12, БрСН60-2,5.

4. **Кремнієві бронзи** (БрКН1-3, БрКМц3-1) мають кращі механічні властивості, ніж олов'яні, зокрема вищу пластичність, тому вони є добрими деформівними сплавами. Вони мають високі пружні властивості та корозійну стійкість у прісній, морській і стічних водах. Із кремнієвої бронзи виготовляють фасонні виливки, пружні елементи, деталі приладів і радіообладнання, яке працює за температур до 250°C.

5. **Марганцеві бронзи** вирізняються високою корозійною стійкістю та підвищеною жароміцністю. Завдяки утворенню структури однорідного твердого розчину їх можна обробляти тиском. У промисловості використовують бронзу з 5% Mn (БрМц5), яка характеризується підвищеною корозійною стійкістю і здатністю зберігати свої механічні властивості до 400°C і яку використовують для виготовлення арматури парових котлів.

6. **Берилієві бронзи** мають виняткові властивості, а саме: високі міцність, твердість, границі пружності та витривалості (рис. 11.2).

Таблиця 3 – Хімічний склад, механічні властивості та використання бронзи

Марка бронзи	Вміст, %	Механічні властивості		Призначення
		σ_B , МПа	δ , %	
<i>Алюмінієві бронзи</i>				
БрАЖ9-4	9 Al, 4Fe	600	40	Для виготовлення прокату, штампованих шестерень, втулок, труб, кранів, деталей машин, апаратів і насосів для сула вина, коньячного спирту, арматури, обійми підшипників
БрАЖН 10-4-4	10 Al, 4Fe, 4 Ni	650	3	
БрА10ЖЗМц 2	10 Al, 3Fe, 2 Mn	390	10	
<i>Олов'яні бронзи</i>				
БрОФ 4-0,25	4,0 Sn 0,3 P	340	52	Трубки апаратів і приладів, деталі для винного обладнання, мембрани, сітки
БрОЦС4-4-2,5	4,0 Sn 4,0 Zn 2,5 Pb	350	40	Стрічки та смуги для прокладок у втулках та підшипниках
<i>Кремнієві бронзи</i>				
БрКМц3-1	3 Si, 1 Mn	380	35	Прутки, стрічки, дріт для пружин
<i>Свинцеві бронзи</i>				
БрС30	30 Pb	600	4	Антифрикційні деталі
<i>Берилієві бронзи</i>				
БрБ2	2 Be	1200	4	Смуги, стрічки, прутки, дротинки, пружини, мембрани, контакти

Отже вони є цінним матеріалом для виготовлення пружин. Завдяки високій зносостійкості з них виготовляють деталі відповідального призначення, що працюють в умовах тертя. Ударні інструменти з такої бронзи не створюють іскор. Із них виготовляють зубчасті колеса, шестерні, кулачки, черв'ячні передачі, елементи відцентрових насосів тощо. Сплав є немагнітним, що робить можливим виготовлення деталей компасів, годинникових механізмів, різного типу вимикачів та перемикачів.

Широкому вжитку берилієвих бронз перешкоджає їх висока вартість через дефіцит Берилію. Легування Mn, Ni, Ti, Co дає змогу зменшити вміст берилію без помітного погіршення механічних властивостей і в такий спосіб здешевити матеріал (БрБНТ-1,7; БрБНТ-1,9).

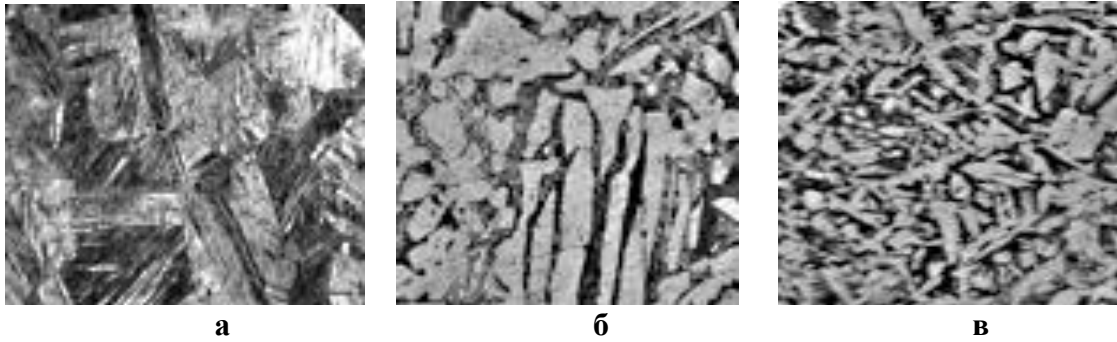


Рисунок 11.2 – Мікроструктура бронзи: а – БрБ2, 5; б – БрАЖМц10-3-1,5; в – БрАЖ 9-4

3. ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛИ ТА ІНСТРУМЕНТИ

Твердомір ТР-2, зразки мідних сплавів.

4. ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Отримати у викладача зразки мідних сплавів.
2. Визначити твердість отриманих сплавів.
3. За отриманою твердістю визначити вид та приблизну марку сплаву.
4. За маркою сплаву розшифрувати його хімічний склад.
5. Класифікувати зразок за структурою та призначенням, вказати властивості.
6. Визначити можливе застосування в галузі харчового машинобудування досліджуваних сплавів.
7. Для закріплення матеріалу розв'язати наведені нижче завдання.

Завдання 1

Для виготовлення деталей способом глибокого витягування застосовують латунь Л68. Визначте склад і опишіть структуру сплаву. Призначте режим термічної обробки, застосовуваний між окремими операціями витягування, обґрунтуйте його вибір. Наведіть механічні властивості сплаву.

Завдання 2.

Для відливань складної форми використовують бронзу БрОФ7-0,2. Розшифруйте склад, опишіть структуру, визначте вид термічної обробки, яку застосовують для зняття внутрішніх напружень, що виникають у результаті лиття, опишіть механічні властивості цієї бронзи.

Завдання 3

Для виготовлення деталей арматури вибрано бронзу БрОЦ4-4-2,5. Розшифруйте склад і опишіть структуру сплаву. Поясніть призначення легувальних елементів. Охарактеризуйте механічні властивості сплаву.

Задання 4

Назвіть марку латуні, корозійностійкої в морській воді. Розшифруйте її склад і опишіть структуру, використовуючи діаграму стану мідь–цинк. Назвіть спосіб зміцнення латуні та основні її властивості.

Задання 5

Для виготовлення деяких деталей у суднобудуванні застосовується латунь ЛО70-1. Визначте склад і опишіть структуру сплаву. Дайте загальну характеристику механічних властивостей сплаву і назвіть причини введення олова в цю латунь.

Задання 6

Для виготовлення струмопровідних пружних елементів вибрано бронзу БРБНТ-1,7. Наведіть хімічний склад, режим термічної обробки та механічні властивості сплаву. Опишіть процеси, що відбуваються під час термічної обробки.

Задання 7

Як матеріал для відповідальних підшипників ковзання вибрано сплав БрС30. Визначте групу сплаву за призначенням. Опишіть основні властивості й вимоги, що ставляться до сплавів цієї групи.

Задання 8

Назвіть марку алюмінієвої бронзи для виготовлення дрібних відповідальних деталей (втулок, фланців та ін.). Визначте її склад, опишіть структуру та основні властивості бронзи, використовуючи діаграму стану мідь – алюміній.

Задання 9

Для виготовлення відповідальних деталей (втулки, клапани, зубчасті колеса та ін.) вибрано сплав БрАЖМц10-4-4. Розшифруйте склад, визначте режим термічної обробки, механічні властивості й опишіть структуру, використовуючи діаграму стану мідь–алюміній.

Задання 10

Для видливання складної конфігурації використовується бронза БрОФ4-0,2. Визначте склад сплаву, його структуру і призначте режим термічної обробки для зняття внутрішніх напружень, що виникають після видливання.

5. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Дайте визначення сплавам на основі міді.
2. Чим відрізняється латунь від бронзи?
3. Як впливає цинк на механічні властивості латуні?
4. Якими хімічними елементами легують латуні та з якою метою?
5. За діаграмою стану Cu–Zn визначити температуру рекристалізації латуні Л80, ЛА77-2, ЛЦ30А3.
6. Охарактеризувати склад, структуру, властивості та галузі використання однофазних та двофазних олов'яних бронз?
7. За діаграмою стану Cu–Al визначити температуру рекристалізації латуні БрА5, БрА7.
8. Назвіть основні галузі застосування мідних сплавів.

ВИЗНАЧЕННЯ ВИДУ КОЛЬОРОВОГО МЕТАЛУ МЕТОДОМ ВИМІРЮВАННЯ ГУСТИНИ

1. МЕТА РОБОТИ

1. Вивчення хімічного складу, будови та класифікації кольорових металів і сплавів.
2. Ознайомлення з властивостями та застосуванням кольорових металів і сплавів.
3. Набуття практичних навичок визначення виду кольорового металу за його густиною.

2. ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

2.1. Магній і його сплави

Магній—метал із мінімальною серед конструкційних металів густиною $\rho=1,74$ г/см³. Через малу міцність (у литому стані $\sigma_{\text{в}}=30$ МПа) і невелику корозійну стійкість технічно чистий магній як конструкційний матеріал не використовують.

Магнієві сплави містять до 10,0% Al, 2,5% Mn, 3,0% Zn. Іноді у сплави вводять добавки цезію, кадмію, берилію, а останнім часом—цирконій, торій. Алюміній і цинк поліпшують механічні властивості, кадмій підвищує корозійну стійкість, інші добавки подрібнюють зерно, підвищують пластичність і теплостійкість сплаву.

1. **Деформівні магнієві сплави** застосовують для виготовлення поковок і штамповок. До цієї групи сплавів (їх позначають літерами «МА» і умовним номером—МА1, МА8 та ін.) належать сплави магнію, які мають у своєму складі до 9,0% Al, 1,5% Zn, 2,5% Mn.

Після гартування і штучного старіння вони мають $\sigma_{\text{в}}=250\text{...}300$ МПа і $\delta=9\text{...}18\%$. Добавка 2% Ti і 3% Ni до цих сплавів дає змогу підвищити їх теплостійкість за умов тривалої експлуатації до 350°C.

2. **Ливарні магнієві сплави** (їх позначають літерами «МЛ» і умовними номерами—МЛ4, МЛ5 тощо) містять до 10,0% Al, 3,0% Zn, 0,5 Mn (рис. 10.1, а). Ці сплави мають $\sigma_{\text{в}}=150\text{...}250$ МПа, $\delta=1\text{...}9\%$, добру рідкоплинність і широко застосовуються для виготовлення виливків, які працюють за невеликих навантажень (кронштейни, корпуси приладів тощо). Сплави, додатково леговані цирконієм і торієм, можна тривалий час експлуатувати при температурі до 350°C і короткочасно—при температурі до 450°C.

2.2. Титан і його сплави

Технічно чистий титан виплавляють двох марок: VT1-00, VT1-0. Він має $\sigma_{\text{в}}=300\text{...}500$ МПа, відносне подовження до 30%, твердість 115...165 НВ і високу корозійну стійкість. Титан належить до легких металів, його густина $\rho=4,5$ г/см³.

Механічні властивості титану поліпшують легуванням елементами Al, Cr, Mo, Ni, V, Zn, Sn тощо. Шкідливими домішками в титані та його сплавах є гази (O_2 , N_3 , H_2) і вуглець.

Розрізняють дві поліморфні модифікації титану – низькотемпературну (α) та високотемпературну (β). α -титан має гексагональну щільноупаковану комірку, а при температурі $882^\circ C$ він перетворюється на β -титан із кубічною гранецентрованою коміркою.

Титан легко обробляється тиском, добре з'єднується зварюванням, проте погано обробляється різанням. На повітрі титан покривається оксидною плівкою TiO_2 , яка робить його корозійностійким в атмосфері, прісній та морській воді, органічних і неорганічних кислотах.

У сплави титану крім основного металу та домішок вводять легувальні елементи: алюміній, молібден, ванадій, хром, залізо, тантал, ніобій, цирконій, олово, мідь, вольфрам, кремній, нікель, свинець, берилій тощо. Вони утворюють із титаном тверді розчини заміщення, або інтерметали.

Залежно від способів виготовлення заготовок титанові сплави поділяють на деформівні та ливарні.

Деформівні (BT5, BT 5-1) відзначаються середньою міцністю, високою термічною стабільністю, добре зварюються та задовільно обробляються різанням (рис. 12.1, б). Деталі з цих сплавів придатні до експлуатації в широкому діапазоні температур – від криогенних до $500^\circ C$.

Ливарні сплави титану (BT5Л, BT14Л) мають високу рідкоплинність і малу лінійну усадку.

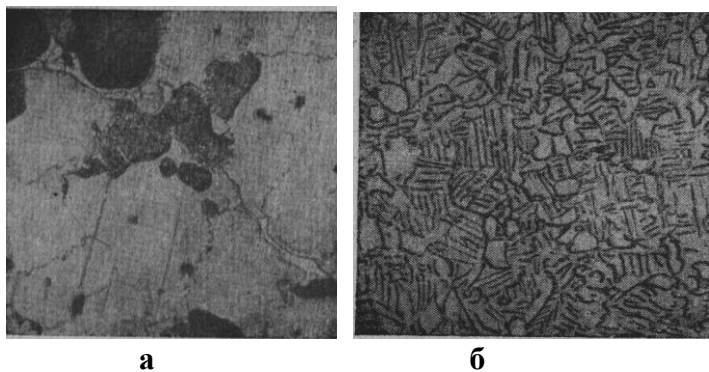


Рисунок 12.1 – Мікроструктура кольорових сплавів: а – магнієвого сплаву ML5 після загартування та старіння; б – титанового сплаву BT5

Завдяки високій питомій міцності, теплостійкості, корозійній стійкості та добрій зварюваності промислові сплави титану широко застосовуються в авіації, ракетно-космічній техніці, транспортному машинобудуванні, у хімічній, харчовій промисловості та медицині. Із них виготовляють обшивку фюзеляжів надшвидкісних літаків, панелі ракет, деталі авіаційних і ракетних двигунів, обшивку морських суден та підводних човнів, деталі машин і апаратів харчової промисловості.

2.3. Нікель і його сплави

Нікель—метал білого кольору густиною $\rho=8,9$ г/см³ і температурою плавлення 1455°C є одним із найважливіших промислових металів. Чистий нікель має високі міцність ($\sigma_v=400\text{...}500$ МПа) і пластичність ($\delta=50\%$), невелику хімічну стійкість та інші цінні властивості.

Сплави на основі нікелю мають підвищені корозійну і жаростійкість, жароміцність, особливі електричні та магнітні властивості тощо.

1. Корозійностійкі сплави нікелю широко використовують у хімічному апаратобудуванні, інших галузях техніки та в побуті. До них належать сплави типу монель-металу (60...70% Ni + 20...25 % Cu + Fe, Si, Mn) і хастелою (55...65% Ni + 5...20% Mo+12,0...1,7%Cr + 5...20%Fe + Mn, Si, W).

2. Жаростійкі сплави нікелю призначені для роботи при температурі до 900°C. Другим основним компонентом у них є хром, тому їх називають ніхромами (ХН78Т, ХН60В, ХН70Ю та ін.) Використовують їх для виготовлення камер згоряння, деталей газових турбін, газопроводів, хімічної апаратури.

3. Жароміцні сплави нікелю. Їх основою є система Ni + Cr + Fe, а легувальними добавками—Ti, Al, Mo, W, Nb, Zr та ін. Ці сплави поділяють на деформівні й ливарні. Застосовують їх для виготовлення деталей із робочою температурою 750...1000°C.

Деформівні сплави призначені для виготовлення лопаток та кріпильних деталей газових турбін (ХН70ВМЮТ, ХН80ТБЮ), дисків газових турбін (ХН77ТЮР, ХН62МВКЮ), листових деталей (ХН60ВТ, ХН75МБТЮ).

Ливарні сплави відрізняються від деформівних дещо більшим вмістом легувальних елементів (Cr, W, Mo) і в деяких випадках – вуглецю. До них належать сплави типу «німонік» (ЖС6, ВЖ36-Л1, ВЖЛ12У). Деталі з них виготовляють точним литтям за витоплюваними моделями.

4. Сплави з особливими фізичними властивостями—це сплави із заданим температурним коефіцієнтом лінійного розширення (інвари) і температурним коефіцієнтом модуля пружності (елінвари), магнітно-м'які сплави типу пермалою, сплави з високим електроопором.

2.4. Сплави на основі олова та свинцю

Олово і свинець мають низькі температури плавлення (232 і 328°C відповідно), малу міцність ($\sigma_v=20$ і 18 МПа), але високу пластичність ($\delta = 40\text{...}50\%$) і велику густину (7,3 і 11,4 г/см³).

Технічне олово застосовують для лудіння металів і виготовлення фольги; свинець—для футерування електролітних ванн і сірчанокислотних камер, виготовлення фольги і кабельних оболонок.

Сплави олова і свинцю з іншими елементами використовують як антифрикційні матеріали і легкоплавкі припої. Антифрикційні матеріали застосовують для

виготовлення вкладишів підшипників ковзання, тому їх ще називають підшипниковими сплавами, або *бабітами*.

У марці бабіту цифри, що йдуть за літерою «Б», яка й позначає бабіт, показують середній вміст олова у сплаві у відсотках, а літери Н, Т, К, С означають наявність у ньому добавок Ni, Te, Cu і Sb відповідно.

Олов'яні бабіти Б89 і Б83 містять у середньому 89 і 83% Sn, 8 і 11% Sb, 3 і 6% Cu відповідно (рис. 12.2). Структура цих бабітів складається з м'якої і в'язкої основи, що є твердим розчином сурми в олові, та твердих включень Sn Sb і Cu_6Sn_5 . Тому під час роботи вал спрацьовує м'яку основу і починає спиратися на тверді включення, які виступають, а западини, що утворилися між включенням, утримують мастило. Бабіти Б89 і Б83 застосовують у найважливіших вузлах тертя двигунів внутрішнього згорання, турбокомпресорів і потужних електродвигунів, які працюють при великих швидкостях ковзання деталей і робочій температурі до 120°C.

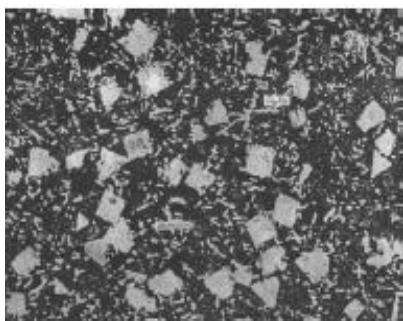


Рисунок 12.2 – Мікро-структура бабіту Б89

Найбільш доступними підшипниковими матеріалами є малоолов'яні бабіти на свинцевій основі: Б16, Б6, БН і БТ. Вони містять 5...17% Sn, 13...17% Sb і до 3% Cu. У бабіті Б6, крім того, міститься в середньому 2% Cd, у БН–1,5% Cd, 1% Ni і до 1 % As, а в БТ–до 2% Te. Основою цих бабітів є свинець, а твердими включеннями - сполуки $SnSb$, $SnAs_2$ і Cu_6Sn_5 .

До свинцевих належать бабіти марок БС і БК. Крім свинцю бабіт БС містить до 18% Sb і 1,5% Cu, а бабіт БК–до 1,2% Ca і 0,9% Na. Твердими включеннями в них є Pb_3Na і Sb.

3. ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛИ ТА ІНСТРУМЕНТИ

Зразки кольорових металів та сплавів правильної геометричної форми, технічні терези, штангенциркуль, металева лінійка.

4. ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Отримати зразки кольорових металів правильної геометричної форми.
2. Зважити досліджуваний зразок за допомогою технічних вагів кілька разів та взяти середнє значення. Вимірювання проводити до першого знака після коми.
3. За допомогою штангенциркуля виміряти геометричні розміри виданого зразка.
4. Розрахувати об'єм зразка залежно від геометричної форми за формулами.
5. Визначити густину зразка за відомою формулою $\rho = m/V$.
6. Результати вимірювань занести в таблицю 12.1.
7. За отриманими результатами за допомогою таблиці 12.2 визначити вид кольорового металу та його ймовірну марку.

Таблиця 12.1 – Результати вимірювань і розрахунків

Вага, кг	Довжина, м Діаметр, м	Ширина, м	Висота, м	Об'єм, м ³	Щільність, кг/м ³	Матеріал, Марка

Таблиця № 12.2 – Фізичні властивості кольорових металів

Метал	<i>Al</i>	<i>Au</i>	<i>Cu</i>	<i>Pb</i>	<i>Ag</i>	<i>Sn</i>	<i>Zn</i>
T _{пл.} , °C	658	1539	1083	327	960	232	420
ρ, кг/м ³	2,7·10 ³	7,8·10 ³	8,9·10 ³	11,3·10 ³	10,5·10 ³	7,3·10 ³	7,1·10 ³

5. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Назвіть групи сплавів на основі нікелю, охарактеризуйте їх склад і властивості.
2. Назвіть сплави на основі магнію, охарактеризуйте їх склад, властивості й застосування.
3. Бабіти, охарактеризуйте їх склад, будову, властивості й застосування.
4. Назвіть основні групи титанових сплавів, охарактеризуйте їх склад і застосування?
5. В яких галузях застосовуються сплави на основі олова та свинцю?

Практична робота № 13

ВЛАСТИВОСТІ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ТВЕРДИХ СПЛАВІВ

1. МЕТА РОБОТИ

1. Ознайомитися з технологією виготовлення твердих сплавів, їх властивостями
2. Вивчення класифікації та застосуванням твердих сплавів.

2 ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

Більшість твердих сплавів призначено для обробки різанням різних матеріалів, зокрема чавунів, корозійностійких, жароміцних і спеціальних сталей і сплавів. Важливою галуззю застосування твердих сплавів є їх використання для волочіння і калібрування дроту, прутків, труб та ін. Штамповий твердосплавний інструмент високої міцності та зносостійкості застосовують для роботи в умовах ударних навантажень і для виготовлення високопродуктивного гірського інструменту.

2.1. Класифікація і маркування твердих сплавів

Тверді сплави мають в основі карбіди тугоплавких металів (WC, TiC, TaC) і металеву зв'язку (кобальт або нікель). Тверді сплави зазвичай містять 70–97% тугоплавких карбідів. Вони характеризуються високою твердістю (86–92 HRA), жаростійкістю (800...1000°C) і зносостійкістю за меншої міцності порівнянно зі швидкорізальною сталлю ($\sigma < 2500$ МПа).

Тверді сплави умовно ділять на чотири групи:

1) однокарбідні вольфрамові, такі, що складаються з карбіду вольфраму і кобальту (WC – Co);

2) двокарбідні титановольфрамові, що складаються з карбіду вольфраму (основа), карбіду титану і кобальту (WC–TiC–Co);

3) титанотанталовольфрамові сплави, до складу яких входять карбіди вольфраму (основа), титану, танталу і кобальт (WC – TiC – TaC – Co);

4) безвольфрамові тверді сплави, що складаються з карбіду або карбонітриду титану, зв'язки Ni або сплаву Ni–Mo: TiC–Ni–Mo (сплави ТН); TiC – TiN–Ni–Mo (сплави КНТ).

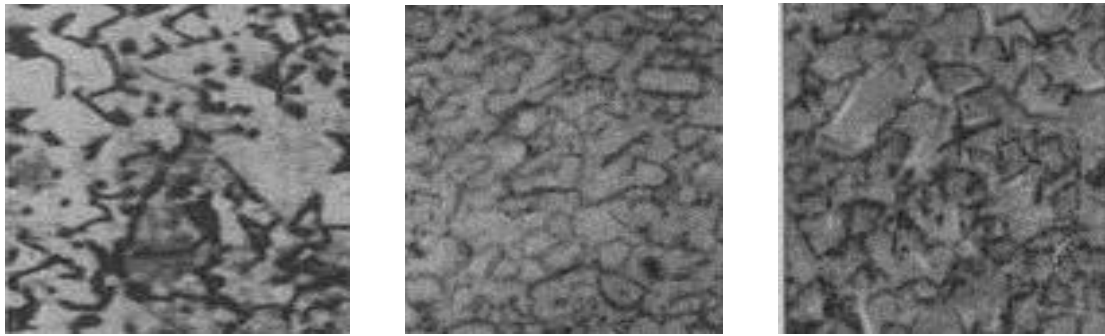
Вольфрамові сплави (рис. 13.1) позначаються буквами «ВК» і цифрою, що вказує на відсотковий вміст кобальту, наприклад сплав ВК6 містить 6% кобальту, інше (94%) – карбід вольфраму. До цієї групи належать сплави ВК3, ВК4, ВК6, ВК8, ВК10, ВК15, ВК20, ВК25. Чим більше кобальту у твердому сплаві, тим вища міцність, але менші твердість і зносостійкість. Їх теплостійкість становить до 800°C. Для сплаву ВК8, наприклад, межа міцності при вигині σ_v дорівнює 1717 МПа, твердість 87,5 HRA, а для сплаву ВК25: $\sigma_v = 2452$ МПа, 83 HRA.

Буква «М» в марці сплаву означає, що сплав дрібнозернистий (ВК6 М), буква «До» – грубозернистий (ВК20 – До), буква «В» вказує, що вироби спікалися в атмосфері водню (ВК6-В). Сплави з великим зерном мають підвищену ударну в'язкість. Чим менше зерно карбідної фази, тим вища зносостійкість твердого сплаву.

Титановольфрамові тверді сплави позначаються буквами «ТК» і цифрами, що стоять після кожної цифри, які позначають певний вміст карбіду титану і кобальту. Так, Т15К6 містить 15% карбіду титану, 6% кобальту, усе інше карбід вольфраму. Теплостійкість сплавів групи ТК становить до 900...1000°C.

Титанотанталовольфрамові сплави позначаються буквами «ТТК» і цифрами, наприклад ТТ7К12 містить карбідів титану і танталу 7%, кобальту 12%, усе інше – карбід вольфраму (рис. 13.2). Теплостійкість сплавів групи ТТК становить до 1000°C.

Безвольфрамові тверді сплави характеризуються високою жаростійкістю, відсутністю дефіцитного вольфраму, удвічі меншою густиною порівнянно зі сплавами групи ВК, проте поступаються їм міцністю, ударною в'язкістю і теплопровідністю.



а

б

в

Рисунок 13.1 – Мікроструктура твердих сплавів, $\times 100$: а – ВК3; б – ВК6 із розміром зерна WC- фази 0,5 – 1 мк; в – ВК 6 із розміром зерна WC-фази 2–3 мк

Хімічний склад безвольфрамових твердих сплавів:

1. Карбідотитанові – 70–80% TiC, 20–40% Ni-Mo (сплави ТН-20, ТН-30 ТН-40).
2. Карбідонітридотитанові – 25–45% TiC, 25–45% Ti, 30–35 % Ni-Mo (КНТ16 та ін.)

Під час обробки сталей використовуються сплави групи ТК, а чавунів–групи ВК. Сплави групи ТТК є універсальним, застосовуються як під час обробки сталей, так і чавунів. Безвольфрамові тверді сплави доцільно використовувати під час напівчистої і чистої обробки вуглецевих сталей і кольорових металів.



а

б

в

Рисунок 13.2 – Мікроструктура твердих сплавів, $\times 100$: а – Т15К6; б – Т15К6; в – Т30К4

2.2. Технологія виготовлення твердосплавних матеріалів

Твердосплавні матеріали в основному виготовляють методом порошкової металургії: холодним пресуванням заготовок із суміші порошків карбідів і зв'язувального металу з подальшим спіканням пресувань, а також пресуванням пористих заготовок із порошків карбідів із наступним просоченням пресувань рідким зв'язувальним металом. Застосовується також метод виготовлення виробів із пластифікованих твердосплавних заготовок. Найбільш широкого промислового застосування набув *метод холодного пресування* суміші порошків карбідів та більш легкоплавких зв'язувальних металів із подальшим спіканням заготовок.

Типова технологічна схема виробництва спечених твердих сплавів передбачає отримання порошків вольфраму, відповідних карбідів і кобальту; приготування суміші карбідів із кобальтом, пресування заготовок із сумішей і подальше спікання.

Як початкові матеріали у виробництві найбільш поширених сплавів використовують вольфрамовий ангідрид або вольфрамову кислоту H_2WO_4 , паравольфрамат амонію $5(NH_4)_2 \cdot 12WO_3 \cdot 11H_2O$, діоксид титану TiO_2 , оксид кобальту або нікелю, оксид танталу або сталевий тантал. Із вольфрамовмісної сировини спочатку одержують порошок вольфраму.

Потім готують твердосплавні суміші, що складаються з порошків карбідів і металів. На практиці найбільш поширене механічне змішування порошків у кульових млинах, що обертаються. Тривалість помелу становить 24-48, а іноді й 120 годин. Таке змішування (спільний помел) можна проводити в газовій атмосфері (повітря, інертний газ), у вакуумі або рідкому середовищі (етиловий спирт, циклогексан у кількості 220 г/кг суміші сплавів ВК і 500 г/кг суміші в разі помелу сплавів на основі карбіду титану). Мокрий помел є основним, оскільки забезпечує кращий розподіл кобальту між карбідними частинками. Умови помелу (змішування) порошків істотно впливають на кінцеві властивості спеченого твердого сплаву.

Надалі суміш проціджують крізь сито і сушать у вакуумних сушильних шафах для видалення спирту при температурі $80^\circ C$. Висушені суміші протирають крізь сито.

Наступним етапом є пресування. Для поліпшення умов пресування, усунення розшарування і підвищення міцності пресувань у твердосплавну суміш уводять пластифікатор–розчин синтетичного каучуку в бензині, або парафін, а також поліетилен-гліколь.

Під час пресування в прес-формах тиск обмежують значенням 130 МПа, оскільки за вищого тиску виникає небезпека утворення розшарованих тріщин. Якість пресувань помітно поліпшується з подовженням витримування під тиском, особливо для великогабаритних виробів, проте надмірно великі терміни витримування різко знижують продуктивність пресування. Твердосплавні заготовки потім сушать при $150 \dots 200^\circ C$.

Твердосплавні заготовки запікають виключно за наявності рідкої фази. Це обумовлює необхідність застосування високих температур і досить тривалого витримування. Спікання заготовок твердих сплавів проводиться, як правило, у дві стадії.

На першій низькотемпературній стадії спікання відбувається в середовищі водню при температурах до $900 \dots 1150^\circ C$. На цій стадії нагрівання до $300^\circ C$ ведуть поволі, щоб уникнути розтріскування виробів; у ході піднімання температури відбувається видалення пластифікатора. При $900 \dots 1150^\circ C$ відбувається попереднє зміцнення виробів перед механічною обробкою й остаточним спіканням.

Остаточне спікання за наявності рідкої фази проводять для вольфрамових сплавів у середовищі водню або вакуумних печах при температурах 1340...1480°C протягом 3–5 годин. Температура їх спікання залежить від вмісту в сплаві кобальту (чим його більше, тим нижче температура ізотермічного витримування), наприклад: для сплаву ВК15 1390±10°C; для сплаву ВК8 1480±10°C. Остаточне спікання карбідотитанових, карбонітридотитанових сплавів проводять тільки у вакуумі. Температура заікання сплавів групи ТК майже не залежить від марки твердого сплаву і становить 1450...1480°C. Сплави ТТК заікають тільки у вакуумі; сплав ТТ17К12–при 1490±10°C, ТТ20К9–при 1450°C.

Для характеристики експлуатаційної придатності твердих сплавів відповідно до їх призначення оцінюють різальні (або бурові) властивості. Під різальними властивостями мають на увазі різця, яку визначають відношенням значень тривалості у хвиликах його роботи до заданої величини зносу за умов випробування. Порівнюють стійкість випробовуваних зразків зі стійкістю зразків-еталонів для відповідної марки твердого сплаву. Після проведення контролю властивостей партії твердих сплавів їх упаковують, прикладають до них паспорт.

Хімічний склад, властивості та застосування промислових твердих сплавів наведено в табл. 13.1.

Таблиця 13.1 – Склад, властивості та застосування твердих сплавів

Марка твердого сплаву	Масова частка, %	σ_w , Мпа	Густина γ , г/см ³	Твердість НРА	Умови застосування
1	2	3	4	5	6
<i>Вольфрамова (ВК) група твердих сплавів</i>					
ВК3	97% WC 3% Co	1373	15-15,3	89	Точіння чистове; фрезерування твердих чавунів, алюмінієвих сплавів із великим вмістом кремнію, абразивних пластмас, кераміки та неметалевих матеріалів; допускаються високі швидкості різання
ВК5	94 % WC 6% Co	1619	14,6-15	88,5	Чорнова обробка чавунів, загартованих сталей, жароміцних сплавів, кольорових металів, неметалевих матеріалів; допускаються високі швидкості різання
ВК8	92 % WC 8% Co	1717	14,4-14,8	87,5	Чорнова обробка чавуну, маловуглецевих сталей, сталей низької міцності, кольорових металів, волочіння та калібрування
ВК10	90% WC 10% Co	1913	14,2-14,6	87	Волочіння сталей для деталей, що швидко зношуються
ВК15	85 % WC 15% Co	1962	13,9–14,1	86	Швидкоспрацьовувані деталі й інструменти, що потребують особливо високої в'язкості: буріння міцних гірських порід, волочіння і калібрування сталі, штамповий інструмент
ВК25	75 % WC - - 25% Co	2452	12,9 - 13,2	83	Штамповий інструмент, що працює в умовах великих ударних навантажень, швидкозношувані деталі

Продовження табл.13.1

1	2	3	4	5	6
<i>Титано-вольфрамова (ТК) група твердих сплавів</i>					
T15K6	79 % WC 15 % TiC 6% Co	1180	1,1 - 11,6	90	Напівчорнове точіння, напівчистове і чистове фрезерування, свердлення, зенкерування, розгортання вуглецевих і легованих сталей. Підвищені швидкості різання
T5K10	85 % WC 6% TiC 9% Co	1470	12,4-13,1	88,5	Чорнове точіння, фрезерування, стругання й інші види обробки вуглецевих і легованих сталей. Швидкість різання середня або низька
T30K4	66% WC 30% TiC 4% Co	980	9,5-9,8	92	Чистове точіння, свердлення загартованих вуглецевих сталей. Високі швидкості різання
Титано-тантало-вольфрамова (ТТК) група твердих сплавів					
ТТ17К12	81% WC 4% TiC 3% TaC 12% Co	1650	13,0-13,3	87	Важке чорнове точіння сталевих поковок, штамповок, відливок. Всі види стругання і важкого чорнового фрезерування вуглецевих і легованих сталей. Швидкості різання низькі
ТТ10К8Б	82% WC 3% TiC 7% TaC 8% Co	1450	13,5-13,8	89	Чорнова і напівчистова обробка важкооброблюваних матеріалів, корозійностійких, жароміцних, титанових сталей і сплавів. Швидкість різання середня
Безвольфрамова (КНТ, ТН) група твердих сплавів					
КНТ-16	74 % Ti (C, N) 19,5 % Ni, 6,5 % Mo	1100	5,8	89	Напівчистове і чистове точіння; фрезерування вуглецевих і легованих сталей, кольорових металів і сплавів
ТН-20	79 % TiC, 15 % Ni, 6 % Mo	1000	5,4-5,8	89,5	Виготовлення деталей, клапанів.

2.3. Паяння твердосплавних пластин

Для кріплення твердосплавних пластин до сталевих державок інструменту або деталей конструкцій (табл. 13.1) застосовують паяння. Як припій у цих випадках використовують мідь, латунь, бронзу (табл. 13.2). Щоб уникнути окиснення виріб нагрівають у захисній атмосфері. Матеріал припою у вигляді фольги поміщається в стик між торцями заготовок, що сполучаються. Швидке нагрівання шва і прилеглих до нього ділянок до температури, що лише трохи перевищує температуру розплавлення припою, з одночасним додаванням невеликого зовнішнього тиску, і подальше швидке охолодження дозволяють уникнути розтікання припою й одержати хорошу міцність з'єднання.

Таблиця 13.1 – Марки сталей для корпусів деяких видів паяного твердосплавного інструменту

Вид інструменту	Марки сталі
Різці, ножі до збірних фрез та ін.	35ХГСА, 45, 40Х
Відрізні різці	35ХГСА, 9ХС, 40Х
Кінцевий інструмент: свердла, зенкери	35ХГСА, 9ХС, ХВГ
Фрези 35ХГСА, 9ХФ	35ХГСА, 9ХФ
Дискові пили для обробки деревних матеріалів	50ХФА, 9ХФ

Таблиця 13.2 – Припої, що застосовують для паяння твердосплавних інструментів

Характеристика роботи інструменту	Припої для паяння			
	Індукційним способом	Електроконтактним способом	Зануренням	В газовому середовищі
Важконавантажений інструмент для швидкісних режимів різання (різці, фрези)	ЛМцЖ57-1,5-0,75		-	Мідь
Інструмент для звичайної роботи (різці, свердла, зенкери, фрези)	ЛМцЖ57-1,5-0,75	Латунь Л62, Л68	Латунь Л62, Л68	Мідь
Інструмент, що працює в легких умовах (розгортки, різенарізні різці) для чистової обробки	Латунь Л62, Л68	Латунь Л62, Л68	Латунь Л62, Л68	Мідь
Буровий інструмент	Латунь Л62	Латунь Л62	Латунь Л62	Мідь

Найбільш економічними є способи паяння з електроконтактним (на машинах контактного зварювання) та індукційним нагріванням (на установках ТВЧ) (табл. 13.2). Для запобігання пошкодженню поверхні, до якої кріпиться твердосплавна пластина, рекомендується застосовувати флюси.

3. ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Ознайомитися з класифікацією твердих сплавів і процесом їх виготовлення.
2. Вивчити властивості та застосування твердих сплавів.
3. Для закріплення матеріалу розв'язати індивідуальне завдання.

Індивідуальні завдання

1. Підібрати інструмент для обробки чавунного відливання (чорнове точіння), визначити матеріал припою, спосіб паяння пластини до інструменту в разі великосерійного виробництва.
2. Підібрати інструмент для обробки чавунної деталі (чистове точіння), визначити матеріал припою і спосіб паяння пластини до інструменту в разі серійного виробництва інструменту.
3. Підібрати інструмент для обробки деталі з корозійностійкої сталі (чорнове точіння), визначити матеріал припою, спосіб паяння пластини до інструменту в разі одиничного виробництва цього інструменту.
4. Підібрати інструмент для обробки деталі з неметалевого матеріалу (чистове фрезерування), визначити матеріал припою і спосіб паяння пластини до інструменту в разі одиничного виробництва.
5. Підібрати інструмент для обробки деталі із загартованої сталі (чистове точіння), визначити матеріал припою і спосіб паяння пластини інструменту в разі масового виробництва цього інструменту.
6. Підібрати інструмент для чистової обробки деталі з бронзи, визначити матеріал припою і спосіб паяння пластини в разі масового виробництва.
7. Підібрати інструмент для обробки деталі з титанового сплаву (чорнове точіння), визначити матеріал припою і спосіб паяння пластини інструменту в разі одиничного виробництва.
8. Підібрати матеріал зенкера для зенкерування деталі зі сталі 40Х, визначити матеріал припою і спосіб паяння пластини до інструменту в разі одиничного виробництва.
9. Підібрати інструмент для чорнової обробки деталі з жаростійкої сталі, визначити матеріал припою і спосіб паяння пластини до інструменту в разі масового виробництва.
10. Підібрати інструмент для буріння гірських порід, визначити матеріал припою і спосіб паяння пластини до інструменту в разі одиничного виробництва.

11. Підібрати матеріал волока для волочіння сталі. Описати фізико-механічні властивості вибраного матеріалу.

12. Підібрати матеріал для штампового інструменту, що працює в умовах великих ударних навантажень. Вибір обґрунтувати, описати фізико-механічні властивості вибраного матеріалу.

13. Підібрати інструмент для механічної обробки поковок зі сталі 40Х, визначити матеріал припою і спосіб кріплення пластини до інструменту в разі одиничного виробництва.

5. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. На які види поділяються тверді сплави?
2. Характерні особливості твердих сплавів.
3. Склад сплавів ВК8, Т15К6, КНТ-16.
4. Від чого залежать міцність і твердість твердих сплавів?
5. Які тверді сплави використовують для чорного точіння чавуну?
6. Які тверді сплави використовують для точіння сталі?
7. Що таке побідит і де він застосовується?

Лабораторна робота № 14

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОЗАХИСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАСТИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

1. МЕТА РОБОТИ

1. Ознайомлення з одним із методів вимірювання теплозахисних характеристик матеріалів.
2. Придбати практичні навички визначення коефіцієнтів теплопровідності пластичних матеріалів.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

Важливими фізичними величинами, які визначають теплозахисні якості матеріалів, є їх теплопровідність і температуропровідність.

Теплопровідність—один із видів переносу теплоти від нагрітого тіла до холодного, що приводить до вирівнювання температури.

Перенесення теплоти внаслідок теплопровідності здійснюється у твердих тілах (діелектриках) шляхом безпосередньої передачі теплового руху молекул і атомів сусіднім часткам речовини у формі пружних хвиль, а в порах, де міститься повітря,—унаслідок обміну енергією під час зіткнення молекул, що мають різну швидкість теплового руху. Згідно з основним законом теплопровідності (закон

Фур'є) вектор густини теплового потоку, що передається теплопровідністю, пропорційний градієнту температури:

$$Q = -\lambda \text{ grad}t, \quad (14.1)$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності речовини, що характеризує здатність цього матеріалу проводити тепло.

Чисельно коефіцієнт теплопровідності ($\lambda = q/\text{grad}t$) дорівнює густині теплового потоку – кількості теплоти, що проходить за одиницю часу через одиницю ізометричної поверхні за умови, що градієнт температури ($\text{grad}t = dt/dn$) дорівнює 1 К/м. Вимірюється він у Вт/м²·К.

Коефіцієнт теплопровідності залежить від природи речовини, її структури (пористості), температури та інших чинників. Найгіршими провідниками теплоти є гази ($\lambda = 0,07 \dots 0,70$ Вт/(м²·К)). Отже, чим більша пористість матеріалу, тим гірша його теплопровідність, тобто кращі захисні якості. Для рідин теплопровідність зростає ($\lambda = 0,02 \dots 3,00$ Вт/(м²·К)), тому волога шкіра значно гірше зберігає тепло.

На зовнішніх поверхнях стінки матеріалу підтримуються постійні температури t_{c1} та t_{c2} . Температура змінюється тільки по товщині пластини – по одній координаті x . Ураховуючи, що для такого одномірного випадку $\text{grad}t = dt/dx$ та використовуючи основний закон теплопровідності (14.1), отримуємо диференціальне рівняння стаціонарної теплопровідності для плоскої стінки:

$$q = \lambda \frac{dt}{dx}, \quad (14.2)$$

Поділивши змінні та проінтегрувавши по t від t_{c1} до t_{c2} і по x від 0 до δ одержимо

$$q = (t_{c1} - t_{c2}) \frac{\lambda}{\delta}, \quad (14.3)$$

або

$$Q = q \cdot F (t_{c1} - t_{c2}) \frac{\lambda F}{\delta}, \quad (14.4)$$

де F – площа зразка, м²;

δ – товщина стінки, м;

λ – коефіцієнт теплопровідності речовини, Вт/м·К;

t_{c1} та t_{c2} – температура поверхні, °С.

Одержана формула (14.4) часто використовується в теплових розрахунках. За нею можна розрахувати коефіцієнт теплопровідності матеріалу, якщо експериментально заміряти тепловий потік та різницю температур на поверхні матеріалу відомих розмірів.

Коефіцієнт теплопровідності часто використовують для оцінки якості пакувальних та різних теплоізоляційних матеріалів. Знаючи його, можна правильно визначити використання матеріалу, ураховуючи умови його

застосування. Матеріали з низьким коефіцієнтом теплопровідності використовують для теплоізоляції домашніх холодильників, у будівництві.

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА УСТАНОВКА

Поміж масивною текстолітовою пластиною 3 та поверхнею електронагрівача розміщено зразок, 2 що досліджується. Зверху текстолітової пластини встановлюється еталон із відомим коефіцієнтом теплопровідності 4. Нагрівач живиться від мережі 220 В. Потужність нагрівача можна визначити за показниками вольтметра U та амперметра I , які підключені до мережі живлення. Температури пластин вимірюються термопарами 6, що за допомогою перемикача почергово підключаються до потенціометра. За показниками потенціометра визначають температуру нижньої поверхні досліджуваного зразка t_1 , температуру текстолітової пластини t_2 (або температуру верхньої поверхні зразка t_2) та температуру верхньої поверхні еталона t_3 .

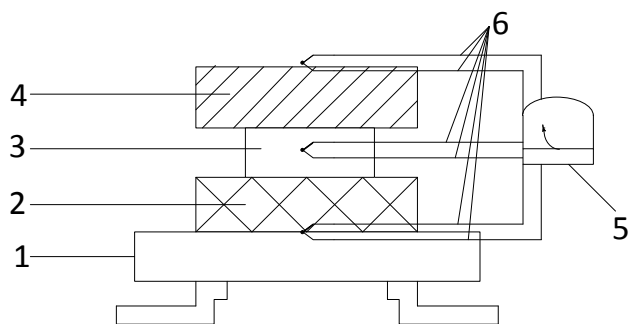


Рисунок 14.1 – Схема установки для визначення коефіцієнта теплопровідності: 1 – нагрівач з електробігровом; 2 – зразок; 3 – текстолітова пластина; 4 – еталон; 5 – потенціометр

4. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Ознайомитися з обладнанням лабораторної установки. Зібрати установку відповідно до схеми. Визначити ціну поділок шкал вимірювальних приладів.

2. Заміряти товщину досліджуваного матеріалу та розмістити його відповідним чином: для визначення коефіцієнта теплопровідності за відомим еталоном згідно зі схемою. Для визначення коефіцієнта теплопровідності за пунктом 5 еталон не використовувати, а термопару з текстолітової пластини розмістити безпосередньо на верхній поверхні зразка.

3. Із дозволу викладача ввімкнути установку. Стежити за показниками потенціометра і виявити, коли настане момент стаціонарного режиму. Для цього кожні 5 хв записувати показники в табл. 15.1. У разі настання стаціонарного режиму величина Δt не змінюється протягом трьох-чотирьох вимірювань.

4. Визначити коефіцієнт теплопровідності досліджуваного зразка. Якщо знехтувати тепловими витратами в установці, то за стаціонарного режиму можна використати формулу

$$\lambda = \frac{IU\delta}{F(t_H - t_B)}, \quad (14.5)$$

де F – площа зразка, що вимірюється штангенциркулем, m^2 ;

I – сила струму (за амперметром), А;

U – напруга (за вольтметром), В;

t_1 та t_2 – відповідно температури нижньої та верхньої поверхонь зразка після встановлення стаціонарного режиму, $^{\circ}C$.

5. Визначити коефіцієнт теплопровідності зразка за еталоном, використовуючи формулу

$$\lambda = \lambda_{em} \frac{h}{h_{em}} \cdot \frac{t_2 - t_3}{t_1 - t_2}, \quad (14.5)$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності зразка, Вт/м·К ;

λ_{em} – коефіцієнт теплопровідності еталона, Вт/м·К;

h – товщина зразка, м;

h_{em} – товщина еталона, м;

t_1 – температура нижньої поверхні зразка (задається 100, 200 та 300 $^{\circ}C$),

t_2 – температура текстолітової пластини (приблизно дорівнює температурі поверхні поділу зразка та еталона), $^{\circ}C$,

t_3 – температура верхньої поверхні еталона, $^{\circ}C$.

6. Мірою теплоінерційних властивостей матеріалу є його теплоємність:

$$\alpha = \frac{\lambda}{C_p \rho}, \quad (14.4)$$

де C_p – теплоємність при сталому тиску; ρ – густина матеріалу.

Оскільки густину можна визначити як

$$\rho = \frac{m}{F\delta} = \frac{m}{V}, \quad (14.5)$$

то зваживши зразок на терезах, можна знайти m , а потім і густину.

7. Визначити масу та за формулою (14.5) розрахувати її густину.

8. За формулою (14.4) розрахувати теплопровідність. Для розрахунків узяти $C_p = 1500$ Дж/(кг·К)

Таблиця 15.1 – Результати вимірювання температури

τ , хв	5	10	15	20	25	30	35	40	...
t_1 , $^{\circ}C$									
t_2 , $^{\circ}C$									
Δt									
t_3 , $^{\circ}C$									

5. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Назвіть основний закон теплопровідності.
2. Яку роль відіграють теплозахисні властивості пластичних матеріалів для їх застосування?
3. Чим відрізняється теплопровідність від температуропровідності? У чому сенс їхнього вимірювання?
4. Яким параметром визначається теплоінерція?
5. Від чого залежить величина коефіцієнта теплопровідності матеріалу?

Практична робота № 15

ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ОПОРІВ ТВЕРДИХ ДІЕЛЕКТРИКІВ

1. МЕТА РОБОТИ

1. Вивчення фізичних основ електропровідності діелектриків і методики вимірювання питомих об'ємного ρ_v і поверхневого ρ_s опорів діелектриків.
2. Експериментально визначити опори діелектриків.
3. Дослідити вплив різних чинників на провідність діелектриків.

2. ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

До електричних властивостей, які найчастіше використовуються для дослідження матеріалів, особливо металевих, у першу чергу належить питома електропровідність (γ) та питомий електричний опір (ρ).

Для вимірювання питомого об'ємного та поверхневого електроопору ізолюючих матеріалів найчастіше застосовується метод безпосереднього відхилення. Він заснований на вимірюванні величини струму, що проходить крізь досліджуваний зразок, при відомій різниці потенціалів між електродами.

Якщо помістити діелектрик у постійне електричне поле, крізь нього буде протікати електричний струм, який складається з двох складових: струму поляризації і струму витоку, або струму наскрізної провідності.

Струми поляризації викликані пружним зсувом зв'язаних зарядів під час поляризації. При постійній напрузі ці струми протікають у короткі проміжки часу в момент вмикання і вимикання напруги і потім поступово затухають. У більшості діелектриків час існування поляризаційних струмів не перевищує часток секунд, але в окремих випадках досягає десятків секунд і довше, що спостерігається в разі сповільнених видів поляризації. Струми, пов'язані зі сповільненими видами поляризації, називають струмами абсорбції. Їх слід враховувати, визначаючи опір діелектриків.

Струми наскрізної провідності обумовлені наявністю в діелектриці вільних зарядів. Струм наскрізної провідності протікає крізь діелектрик весь час, поки він

перебуває під напругою, і за величиною цього струму визначається опір діелектрика.

Позначивши опір ізоляції R_{iz} можна записати:

$$R_{iz} = \frac{U}{i - i_{abc}}, \quad (15.1)$$

де U – прикладена напруга;

i – весь струм, що протікає крізь діелектрик;

i_{abc} – струм абсорбції.

Струми абсорбції зазвичай обчислити складно, тому заведено виміряти струм $I_{xв}$ через хвилину після вмикання зразка під напругою, а опір розраховувати за формулою

$$R_{iz} = \frac{U}{I_{xв}}. \quad (15.2)$$

Для порівняльної оцінки різних матеріалів відносно ланцюга постійного струму використовують величину їх питомого опору. Для твердих діелектриків розрізняють два питомі опори: об'ємний і поверхневий.

Питомий об'ємний опір ρ_v чисельно дорівнює опору куба з ребром 1 см, якщо струм проходить крізь дві протилежні грані цього куба. Виражається питомий об'ємний опір в Ом·см. У системі Сі ρ_v визначається для куба з ребром 1 м і виражається в Ом·м. Питомий поверхневий опір ρ_s чисельно дорівнює опору квадрата по поверхні діелектрика зі стороною 1 см і виміряється в Ом. Величини ρ_v і ρ_s характеризують дві різні властивості діелектрика: проводити електричний струм крізь товщу або по поверхні діелектрика. Для повної характеристики ізоляційного матеріалу потрібно знати його об'ємний і поверхневий опір.

Для визначення об'ємного опору застосовується схема, наведена на рис. 15.1, а, з якої видно, що внаслідок різниці потенціалів між електродами 2 та 3 крізь зразок потече струм, величина якого буде виміряна гальванометром.

Знаючи величину прикладеної напруги і величину струму, що проходить крізь зразок, можна знайти об'ємний опір зразка діелектрика, R_v , Ом:

$$R_v = \frac{U}{I_v}. \quad (15.3)$$

Величина R_v залежить як від структури діелектрика, так і від геометричних розмірів зразка. Тому можна записати:

$$R_v = \rho_v \frac{d}{S}, \quad (15.4)$$

де ρ_v – питомий електричний опір, Ом·см,

d – товщина діелектрика, м;

S – площа електрода, м².

Для вимірювання об'ємного опору важливе істотне значення має заземлення охоронного кільця – електрода 4 (рис. 15.1, а). При незаземленому кільці на електрод 3 потрапляє не тільки струм, що проходить в об'ємі діелектрика через розрахунковий перетин S , але і струм $I_{нов}$, що проходить по поверхні діелектрика, та струм I_v , що протікає за об'ємом діелектрика, перпендикулярно перетину S .

Поверхневий струм виникає за рахунок руху вільних іонів унаслідок забруднень на поверхні матеріалу. Для вимірювання поверхневого опору електроди на випробовуваному зразку мають бути розташовані так, щоб електричне поле викликало рух вільних іонів у тонкому поверхневому шарі діелектрика.

Для визначення поверхневого опору застосовують схему (рис. 15.1, б), з якої видно, що внаслідок різниці потенціалів між електродами 4 і 3 поверхню діелектрика між ними протікатиме струм, величина якого вимірюється гальванометром.

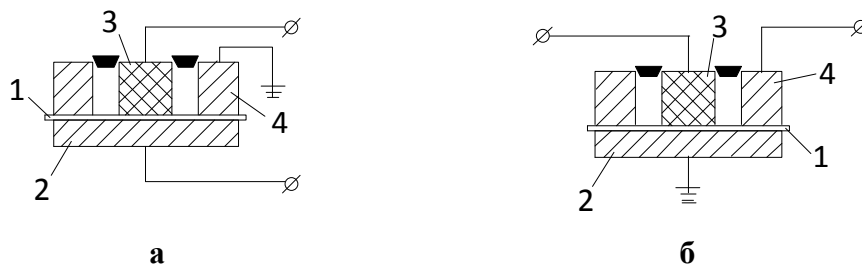


Рисунок 15.1 – Схема пристрою для вимірювання опору ізолюючих матеріалів: 1 – досліджуваний зразок; 2 – нижній електрод; 3 – верхній електрод; 4 – кільцевий електрод

Знаючи діаметр D електрода 3 і внутрішній діаметр D_1 кільцевого електропроводу 4, можна обчислити величину питомого поверхневого опору за формулами:

$$R_s = \frac{U}{I_s}, \quad (15.5)$$

$$\rho_v = R_s \frac{S}{l}. \quad (15.6)$$

Довжина шляху витоку струму поверхнею діелектрика дорівнює ширині зазору між електродами, тобто

$$L = \frac{D_1 - D}{2}, \quad (15.7)$$

$$S = \pi \frac{D_1 + D}{2}. \quad (15.8)$$

Умовний перетин S_1 рівний довжині середнього кола діаметром $\frac{D_1 + D}{2}$,

тобто:

$$P_s = R_s \pi \frac{D + D_1}{D_1 - D}. \quad (15.9)$$

Оскільки поверхню забруднити легше, ніж товщу матеріалу, то звичай P_s кількісно хочаб на один порядок нижче, ніж P_v .

Об'ємний опір діелектриків R_v залежить від температури і величини прикладеної напруги, а для гігроскопічних діелектриків – також від вологості й часу прикладеної напруги. Із підвищенням температури питомий об'ємний опір твердих і рідких діелектриків, як правило, знижується. Зменшення опору твердих і рідких діелектриків під час їх нагрівання можна пояснити ослабленням зв'язків і зростанням рухливості молекул та іонів речовини.

У сильних електричних полях зі збільшенням прикладеної напруги опір діелектриків зменшується, що пояснюється вириванням електронів силами електричного поля з об'єму діелектрика і матеріалу електродів, що і створює в діелектрику додаткову електропровідність електронного характеру. Зниження ж опору зі зростанням напруги в порівняно слабких полях пояснюється зменшенням в діелектрику об'ємних зарядів, перерозподілом вологи в порах діелектрика, впливом контактів з електродами й іншими причинами.

Опір діелектриків залежить також від часу подавання напруги. Збільшення тривалості подавання напруги спричиняє зменшення величини його опору, що слід пояснити поступовим розвитком в його об'ємі шляхів найменшого електричного опору й утворення об'ємних зарядів – відбувається старіння діелектрика.

На величину поверхневого опору твердих діелектриків особливо сильно впливає стан їх поверхні та здатність до адсорбції на ній вологи, що пов'язано з будовою діелектрика. Як правило, діелектрики нейтральної будови (парафін, полістирол та ін.) слабо адсорбують вологу (не змочуються), у зв'язку з чим їх питомий поверхневий опір кількісно майже дорівнює питомому об'ємному опору.

Якщо поверхня діелектриків шорстка, то через осідання пилу з повітря або інших частинок, що випадково потрапили на неї, поверхневий опір діелектриків буде значно знижений. Для збільшення поверхневого опору твердих діелектриків, особливо за умов роботи на відкритому повітрі, їхню поверхню, як правило, шліфують, лакують, покривають глазур'ю та ін.

3. ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛИ ТА ІНСТРУМЕНТИ

Установка (рис 15.2) складається з джерела живлення 10, випрямляча 11, струм з якого через перемикачі 6 та 8 і постійний опір 7 подається на дослідний зразок ізоляційного матеріалу 1. Залежно від схеми підключення струм проходить крізь дослідний зразок з електрода 2 на електрод 3 для дослідження питомого об'ємного електроопору або з електрода 3 на кільцевий електрод 4.

Для обмеження струму в ланцюзі гальванометра в разі пробою дослідного зразка або випадкового замикання електродів застосовано шунт. З метою захисту від дії високої напруги встановлено блокувальний пристрій.

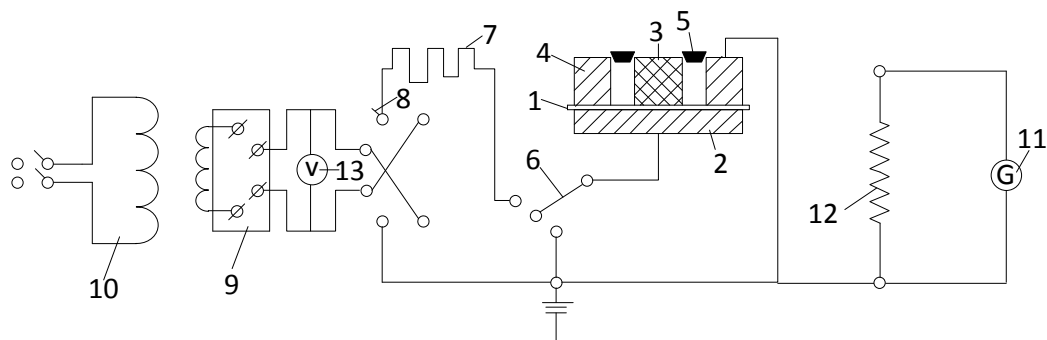


Рисунок 15.2 – Схема установки для визначення електроопору діелектриків: 1 – дослідний зразок; 2 – нижній електрод; 3 – верхній електрод; 4 – кільцевий електрод; 5 – фіксатор; 6, 8 – перемикач; 7 – постійний опір; 9 – високовольтний випрямляч; 10 – автотрансформатор; 11 – гальванометр; 12 – шунт; 13 – вольтметр

4. ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Вимірювання питомого об'ємного та питомого поверхневого електричного опору діелектриків.

Опір зразка діелектрика вимірюється методом безпосереднього визначення величини струму, що проходить крізь зразок, у разі підведення до нього відомої напруги U . Струм, що проходить крізь зразок, визначається за формулою

$$I = \alpha \frac{C}{n}, \quad (15.10)$$

де α – кількість поділок шкали гальванометра;

C – динамічна постійна гальванометра (7,2-10⁻⁹ А/діл.–М197);

n – дробове шунтове число, що показує, яка частина від повного струму пройшла через гальванометр;

I – струм, А.

Тоді шукана величина опору зразка:

$$R_v = \frac{U}{I} = \frac{U \cdot n}{\alpha \cdot C}. \quad (15.11)$$

Вимірювання R_v зразка проводиться в такому порядку:

1) підключити зразок згідно зі схемою на рис. 15.1, а – при визначенні p_v і рис. 15.1, б – при визначенні p_s ;

2) увімкнути мережу 220 В, при цьому має зажеврїти зелена сигнальна лампа. Через 2-3 хвилини ввімкнути тумблер «Вис. напр.», при цьому має

зажевріти червона сигнальна лампа, а вольтметри – показати напругу. Відповідною ручкою регулювання вихідних напруг установити необхідну напругу;

3) записати визначену силу струму на напругу. Вимірювання струму проводять через хвилину після включення зразка в схему;

4) заміряти геометричні розміри зразка: товщину зразка d , діаметр електрода D_2 та меншого електрода D_3 (у разі визначення p_v), внутрішній діаметр кільцевого електрода D_4 і діаметр меншого електрода D_3 (у разі визначення p_s);

5) розрахувати R_v , p_v і p_s , використовуючи відповідні формули.

2. Дослідження залежності R_v зразків діелектриків від часу дії напруги

Залежність визначається в інтервалі часу від 0 до 15 хв. Результати вимірювань і розрахунку звести в таблицю.

Таблиця 5.1 – Результати дослідження об'ємного електроопору

Матеріал	Результати вимірювань					Результати розрахунку		
	D_2 , м	D_3 , м	U, В	α , діл	n_1 , $\mu\text{кА}$	R_v , Ом	p_v , Ом·м	P, Вт
1. Текстоліт	0,2	5						
2. Пароніт	0,1	5						

Таблиця 5.2 – Результати дослідження поверхневого електроопору

Матеріал	Результати вимірювань					Результати розрахунку	
	D_3 , м	D_4 , м	U, В	α , діл	n_1 , $\mu\text{кА}$	R_s , Ом	p_s , Ом·м
1. Текстоліт							
2. Пароніт							

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Яким чином визначається електроопір діелектрика?
2. Які види електропровідності ви знаєте?
3. Від яких чинників залежить електроопір діелектриків?
4. Які види діелектриків застосовуються в машинобудуванні та техніці?
5. Як електроопір діелектриків залежить від величини прикладеної напруги та часу дії?

ТЕХНОЛОГІЯ НАНЕСЕННЯ ГАЛЬВАНІЧНИХ ПОКРИТТІВ

1. МЕТА РОБОТИ

1. Вивчити вплив різних чинників на якість електрохімічних покриттів.
2. Виробити практичні навички нанесення гальванічних покриттів на металеві вироби.
3. Провести обчислення показників, що характеризують якість отриманого покриття.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

2.1. Гальванічні покриття

Металеві покриття, нанесені електролітичним методом, називаються гальванічними. Поширеними видами гальванічних покриттів є такі: цинкові, кадмієві, мідні, нікелеві, хромові, олов'яні та срібні. Нанесення гальванічних покриттів на поверхню деталей проводиться в гальванічних ваннах методом електролізу. Склад електроліту визначається видом гальванічного покриття. Обов'язковим компонентом електроліту є з'єднання, що дає при дисоціації іон металу покриття. Найчастіше таким з'єднанням виступає розчинна сіль металу, що наноситься на поверхню.

Гальванічні покриття застосовують майже у всіх галузях промисловості для захисту деталей від корозії та отримання нових функціональних властивостей: підвищення поверхневої твердості, зносостійкості, антифрикційної здатності та ін.

Гальванічні покриття використовують для відновлення спрацьованих деталей, полегшення паяння. Вони в багатьох випадках дозволяють замінити кольорові метали чорними, благородні – неблагородними, дефіцитні – поширеними. За механічними властивостями, чистотою, корозійною стійкістю та економічністю гальванічні покриття перевершують усі інші. Можливість регулювати товщину шару зміною тривалості процесу і щільності струму, зменшувати витрату кольорових металів на покриття поверхні вигідно відрізняє гальванічний метод покриття від інших.

Гальванічні покриття (захисні, захисно-декоративні спеціальні) надають поверхні деталей цінних спеціальних властивостей: підвищеної твердості й зносостійкості, високої відбивної здатності, антикорозійні властивості, покращення антифрикційних властивостей, поверхневу електропровідність, паяємість і, нарешті, просто зовнішній вигляд деталей.

Електрохімічний (гальванічний) спосіб нанесення покриттів є найбільш поширеним і застосовується для нанесення металевих покриттів, сплавів, для

отримання оксидних плівок під час анодної обробки виробів. Суть методу полягає в зануренні деталей або напівфабрикатів (листи, стрічки, дріт) у водяний розчин електроліту, головним компонентом якого є солі чи інші розчинні з'єднання металопокриття. Деталі, які покриваються, контактують із негативним полюсом джерела постійного струму, тобто є катодами. Анодами, як правило є пластини або прутки з того металу, яким покривають вироби.

Порівняно з іншими застосування цього способу є найбільш доцільним. Основною його перевагою є можливість одержувати покриття заданої товщини – від декількох мікрометрів до десятків і навіть сотень мікрометрів. Покриття мають відмінні експлуатаційні властивості, на них витрачається набагато менше металу порівняно з іншими способами нанесення покриттів. Процес нанесення покриттів можна механізувати й автоматизувати.

2.2. Технологія нанесення гальванічних покриттів

Сучасна технологія нанесення гальванічних покриттів складається з таких основних технологічних операцій:

- підготовка поверхні перед нанесенням покриття;
- нанесення гальванічного покриття;
- завершальне полірування.

Механічна підготовка поверхні полягає в тому, щоб видалити з деталей нерівності, подряпини, раковини, а якщо необхідно, надати деталі блискучої поверхні.

У промисловості широко застосовують механічні методи очищення поверхні: гідропіскоструминний, дробоструминний, метод струминного очищення з використанням металевого пилю, струминне очищення карборундами або рубаним дротом. Усі механічні методи очищення поверхні передбачають застосування спеціального устаткування (у камерах для струминного очищення, у галтувальних барабанах). Вони забезпечують високий ступінь очищення від іржі, окалини і механічних забруднень, але неекономічні й не завжди дають потрібний ефект. Із метою усунення цього недоліку в промисловості застосовують більш продуктивні та ефективні хімічні, фізичні, хіміко-механічні, електрофізичні й електрохімічні методи очищення.

Хімічні методи, що застосовуються для знежирення поверхні, характеризуються використанням у технологічних операціях великої кількості різноманітних органічних розчинників та інших органічних речовин.

Очищення поверхні від іржі й окалини досягається методом травлення в розчинах кислот.

Нанесення гальванопокриттів являє собою осадження шару металу на поверхню деталей. При цьому деталі навішують на катодну штангу гальванічної ванни, а на анода – це пластина з того металу, яким покривають деталі. Нанесення покриттів проводиться в розчинах електролітів, які поділяються на кислі, лужні, ціаністі та ін.

Досить часто застосовуються також контактний і хімічний методи нанесення покриття. За *контактного методу* осадження відбувається внаслідок роботи короткозамкненого елемента, в якому більш електронегативний метал, наприклад цинк або алюміній, розчиняється, а на більш електропозитивному металі (деталь із міді або мідних сплавів) осідає покриття. Цей спосіб застосовують для нанесення тонкого покриття на дрібні й небазові деталі, які потребують в основному тимчасового захисту від корозії.

Суть *хімічного способу* полягає у відновленні іонів металу з водяних розчинів за допомогою сильного відновника. Широко застосовується спосіб хімічного відновлення нікелю, міді, срібла. Перевага цього методу полягає в можливості нанесення гальванічних покриттів не тільки на металеві основи, але й на неметалеві (пластмаса, скло, кераміка), а також у забезпеченні високої рівномірності покриття в усієї деталі.

Залежно від характеру захисту основи розрізняють *анодні* та *катодні* покриття. Якщо в певному корозійному середовищі розчиняється покриття, а не основа, то покриття називають анодним, якщо розчиняється основа – катодним. Анодні покриття мають кращі захисні властивості порівнянно з катодними. Проте застосування анодних покриттів обмежено тим, що вони не можуть бути використані без додаткового захисту, якщо ставляться певні вимоги до товарного вигляду виробів.

Після кожної операції підготовки і нанесення гальванічних покриттів проводять ретельне промивання деталей. Після знежирення деталі промивають спочатку в гарячій, а потім у холодній воді.

На завершальному етапі після нанесення покриття полірують поверхню. Для полірування використовують шліфувальні й полірувальні верстати з абразивними кругами для шліфування та з матерії – для полірування, пістолети-розпилювачі для подачі полірувальної пасти на круг.

2.3. Технологія міднення деталей

Мідні покриття – це захисно-декоративні покриття, які зазвичай не застосовуються як самостійні електролітичні покриття ні для захисту сталевих деталей від корозії, ні для декорування внаслідок своїх хімічних і електрохімічних властивостей. Мідь в атмосферних умовах швидко окиснюється, утворюючи на поверхні оксиди та основні солі.

За електрохімічними властивостями мідь відносно заліза є катодним покриттям, тому не може захищати залізо від корозії. Унаслідок цього мідні покриття рекомендується використовувати як прошарок під час нікелювання та хромування, що важливо для економії дорогого та дефіцитного нікелю.

Гальванічно осаджена мідь характеризується кристалічною структурою і пористістю, причому мідь, осаджена з ціаністих електролітів, більш дрібнокристалічна і менш пориста, ніж мідь, осаджена з кислих і особливо з сірчано-кислих електролітів. Твердість мідних покриттів також залежить від

характеру електроліту. Так, мідь, одержана з ціаністих електролітів, має твердість 150 – 250 кгс/см², а з кислих – 80 – 100 кгс/см², що, очевидно, пов'язано з умовами її кристалізації.

Атомна маса міді 63,57. У хімічних сполуках і електролітах для її осадження використовується мідь одновалентна або двовалентна. Стандартний потенціал міді + 0,34 В. Гальванічно осаджена мідь має красивий рожевий колір, але в атмосферних умовах легко реагує з вологою і вуглекислою повітря, із сірковими промисловими газами, покривається оксидами та темніє.

Завдяки своїй пластичності й властивості легко поліруватися мідь широко застосовується в багатошарових захисно-декоративних покриттях типу мідь-нікель-хром як проміжний прошарок.

Для електролітичного осадження міді на цей час розроблено велику кількість електролітів. Усі вони за своїм складом і особливостями поділяються на дві основні групи: лужні та кислі.

До кислих електролітів належать сірчаноокислі, фторборатні, кремнефторидні й сульфамінові. У кислих електролітах мідь міститься в розчині у формі іонів двовалентної міді, і розряд їх на катоді виглядає таким чином: $\text{Cu}_2 + 2\text{Cu}$. Завдяки тому, що стандартний потенціал міді електропозитивний ($\text{Cu}_2 = 0,34$ В), водень на катоді не виділяється і вихід струму близький до 100%.

До лужних електролітів належать ціанідні, пірофосфатні й залізосинеродні. Але більш широко використовуються в промисловості сірчаноокислі електроліти, які є дешевими, простими за складом, стійкими в роботі й допускають високу густину струму. Недоліком кислих електролітів є неможливість безпосереднього покриття ними заліза, цинку і їх сплавів через контактне виділення міді.

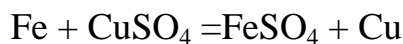
Із кислих електролітів найбільш поширеним у наш час є сірчаноокислий. У простому вигляді він складається з двох компонентів. Для нього прийнято такий склад (г/л) і режим осадження:

Мідний купорос $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	200–250
Сірчана кислота H_2SO_4	50–70
Робоча температура, °С	15–25
Густина струму D_k , А/дм ²	1–2
Вихід струму η_k , %	95–98

Підвищений вміст міді в електроліті є небажаним, оскільки за вищої концентрації мідного купоросу він може випадати в осад у вигляді кристалів, виділяючись у першу чергу на анодах, які перестають розчинятися.

Наявність сірчаної кислоти в цьому електроліті має важливе значення для нормального перебігу електролізу: запобігає гідролізу мідних закислих солей, значно знижує опір електроліту, зменшує активну концентрацію іонів міді, що сприяє дрібнозернистості покриття і дає можливість застосовувати високу густину струму.

Під час занурення сталевих деталей в електроліт залізо витісняє мідь із розчину:



Контактна мідь, яка виділяється на поверхні сталі не міцно пов'язана з основою, тому під час подальшого електролізу утворюється мідне покриття, яке легко відшаровується від основи.

Із домішок в електролітах найбільше міститься заліза, що накопичується за рахунок сталевих деталей, які впали на дно ванни. Допустима концентрація заліза в електроліті становить не більше 20 г/л. Вміст в електроліті нікелю і цинку не має шкідливого впливу на перебіг міднення та якість покриття. Важливе значення для якості покриттів має хімічний склад мідних анодів. Так, підвищений вміст арсену або закису міді у складі часто призводить до серйозних неполадок під час міднення. Тому аноди для міднення виготовляють із чистої рафінованої міді (99,9%), яка містить не більше 0,1% домішок.

Застосування реверсування струму з катодним періодом 8 і анодним 2 дозволяє збільшити катодну густину струму без перемішування до 3 – 5 А/дм². При цьому покриття більш гладким, безпористим, а в разі нарощування шару великої товщини (1 – 2 мм) дендрити відсутні.

Міднення в ультразвуковому полі також підвищує швидкість осадження, але режим осадження в кожному випадку слід підбирати окремо.

3. ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛИ ТА ІНСТРУМЕНТИ

Реактиви й устаткування: розчин мідного купоросу (25 г/л), сірчана кислота концентрована, хлорид натрію кристалічний; електролізер, вольтметр, хімічний посуд (мірна колба ємністю (500 мл), фольга з алюмінію.

Електролізер для лабораторної роботи є місткістю прямокутного перерізу, усередині якої міститься постійний об'єм електроліту.

Відстань між електродами становить 58 мм. Самі ж електроди виготовляються з алюмінієвої фольги розмірами 45×45×1 мм. Принципова схема лабораторної установки наведена на рис. 16.1.

4. ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

У ході лабораторної роботи проводиться дослід із трьома варіантами поєднань компонентів електроліту:

1 варіант

$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (15 – 25 г/л)

2 варіант

$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (15 – 25 г/л)

H_2SO_4 (5 – 7 г/л)

3 варіант

$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (15 – 25 г/л)

H_2SO_4 (5 – 7 г/л)

NaCl (0,003 – 0,010 г/л)

За завданням викладача робота проводиться з певними концентраціями речовин. Електроліт готують у кількості 350 мл.

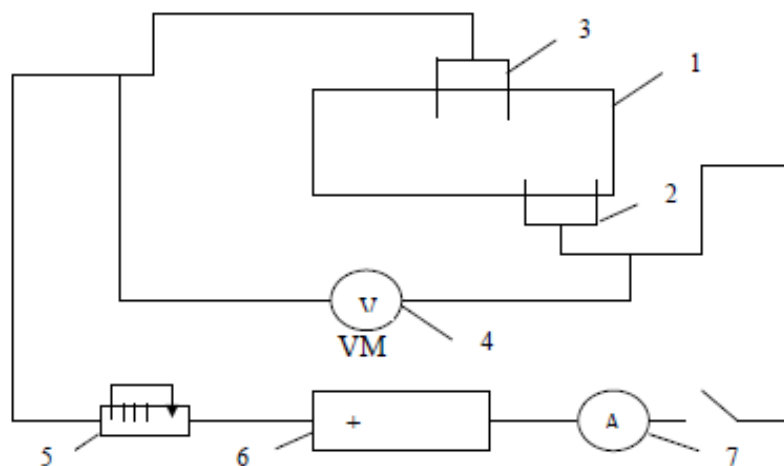


Рисунок 16.1 – Принципова схема лабораторної установки для електрохімічного нанесення покриття: 1 – електролізер; 2 – катод; 3 – анод; 4 – вольтметр; 5 – реостат; 6 – джерело постійного струму; 7 – амперметр

4.1. Перед експериментом зважити електрод, на якому відбуватиметься осадження міді (катод у принциповій схемі), на аналітичних вагах.

4.2. Приготований електроліт залити в електролізер, установити електроди та ввімкнути установку.

4.3. Записати показники амперметра і вольтметра. Експеримент проводити протягом 20 хвилин. Візуально спостерігати за ходом нанесення міді на поверхню алюмінієвого електрода.

4.4. Після закінчення заданого часу вимкнути установку, акуратно дістати катод. Цей електрод акуратно помістити в сушильну шафу і при $T = 110^\circ\text{C}$ висушити до повного видалення вологи (тобто до постійної маси).

4.5. Катод зважити на аналітичних вагах. Одержані дані занести в табл. 1.

Таблиця 16.1 – Результати проведення міднення

№ з/п	Сила струму I , А	Напруга U , В	Час, с	Маса катода, г		Маса металу на катоді, г	Окрас катода
				до експерименту	після експерименту		

4.6. Розрахувати показники електрохімічного нанесення покриття міді.

Кількість речовини (q), яка має виділятися під час електролізу за законами Фарадея

$$q = \lambda \cdot I \cdot t, \quad (16.1)$$

де λ – електрохімічний еквівалент цієї речовини, мг/А·с ($\lambda = 0,828$ мг/А·с);

I – сила струму, А;

t – час проходження струму, с.

Вихід струму η , $\eta = [\text{кількість практично виділеної речовини}] / [\text{кількість речовини, яка має виділитися за законами Фарадея}]$, %:

$$\eta = [m \cdot 96500 \cdot 100] / [I \cdot t \cdot \epsilon], \quad (16.2)$$

де m – кількість виділеної речовини, г;

I – сила струму, А;

t – час проходження струму, с;

ϵ – грам-еквівалент (для цієї лабораторної роботи приймається $\epsilon(\text{CuSO}_4) = 80$).

Вихід енергії (витрата енергії) w: $w = [\text{кількість витраченої електроенергії}] / [\text{кількість виділеної речовини}]$, Вт·год/г:

$$w = I \cdot t \cdot U / m, \quad (16.3)$$

де t – час проходження струму, год;

U – робоча напруга, В;

m – кількість виділеної речовини, г.

Опір електроліту R:

$$R = K / \alpha, \quad (16.4)$$

$$K = L / S, \quad (16.5)$$

де α – питома електропровідність електроліту, Ом·см ($\alpha = 0,021$ Ом·см);

K – величина опору посудини, см³: L – відстань між електродами, см;

S – поперечний переріз посудини, в якій знаходиться електроліт, см²;

Густина і концентрація струму

а) густина струму (анодна або катодна) = [сила струму] / [поверхня електрода], А/см²;

б) концентрація струму = [сила струму] / [об'єм електроліту], А/л.

Час покриття (T), хв:

$$T = [\delta \cdot d \cdot 1000 \cdot 60] / [Dk \cdot \eta \cdot \lambda]. \quad (16.6)$$

Середня товщина покриття (δ), мм:

$$\delta = [I \cdot \lambda \cdot \eta \cdot t] / [S \cdot 60 \cdot 1000 \cdot d] = [D_k \cdot \eta \cdot \lambda \cdot t] / [60 \cdot 1000 \cdot d], \quad (16.7)$$

де I – сила струму, А;

λ – електрохімічний еквівалент електроліту, г/А^{год},

η – вихід струму %;

S – поверхня покриття, дм²;

d – густина осажденного металу, г/см³;

D_k – катодна густина струму, А/дм²;

t – час проходження струму, год.

5. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Яке призначення гальванічних покриттів?
2. У чому полягає суть електрохімічного способу нанесення покриттів?
3. З якою метою застосовуються катоди й аноди в гальванічному виробництві?
4. Перерахуйте і охарактеризуйте основні операції технології нанесення гальванічних покриттів.
5. Чому покриття з міді застосовуються тільки як захисно-декоративні?
6. Якими властивостями характеризується осаждена мідь?
7. Які електроліти найчастіше застосовуються під час міднення?
8. Як впливає вміст сірчаної кислоти на перебіг міднення?
9. Яке устаткування і пристрої застосовуються для нанесення гальванічних і хімічних покриттів?

Практична робота № 17

МЕТАЛЕВІ ТА ПОЛІМЕРНІ ПАКУВАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ

1. МЕТА РОБОТИ

1. Ознайомитися з основними видами пакувальних матеріалів, їх фізико-хімічними властивостями та застосуванням.
2. Набути практичних навичок визначення виду пакувального матеріалу.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

2.1. Упаковка і її функції

Упаковка – це засіб або комплекс засобів для збереження якості продукції під час її зберігання, захисту від пошкоджень, забруднення ззовні, зокрема і інфікування мікроорганізмами.

Тип упаковки визначається матеріалом. Вид тари визначається формою і конструкцією. До транспортної тари належать такі види: ящики, бочки, мішки, барабани, фляги, каністри, балони. До споживчої тари належать: пляшки, банки, стакани, пакети, коробки, пачки, пробірки, туби. Розрізняють такі типи тари: дерев'яна, паперова, скляна, металева, із полімерних матеріалів, тканинна, сітчаста, комбінована.

Світовий ринок упаковки у відсотковому вираженні є таким: папір і картон – 34%, пластмаса – 30%, метал – 25%, скло – 6%, інші види – 5%.

За ступенем механічної міцності тара поділяється на жорстку, м'яку та крихку. Прикладом м'якої споживчої тари є пакети з різних матеріалів; жорсткої – скляні, металеві, пластикові банки, коробки з картону. Прикладом м'якої транспортної тари є мішки тканинні з полімерних ниток і стрічок, сітчасті, паперові. Жорстка транспортна тара – це ящики, бочки, барабани, фляги, каністри, балони.

На упаковку (споживча тара) завжди наноситься маркування, зокрема на етикетку, контретикетку (етикетка на зворотному боці пляшки, банки), ярлику або листі-вкладиші.

Інформація про харчові продукти повинна містити: найменування продукту; найменування та місцезнаходження (адреса) виробника, пакувальника, експортера й імпортера продукту. Найменування виробника й експортера харчових продуктів може бути написано буквами латинського алфавіту. Мають бути зазначені також найменування країни і місця походження; товарний знак виробника (за наявності); маса нетто, об'єм або кількість продукції; склад продукту; харчова цінність (окрім алкогольної продукції, кави, чаю, прянощів, харчових добавок); умови зберігання; термін придатності для більшості продуктів, а також термін зберігання або термін реалізації для харчових продуктів з урахуванням їх специфіки; позначення нормативного документа, відповідно до якого виготовлений і може бути ідентифікований продукт (окрім харчових продуктів, що імпортуються); інформація про сертифікацію харчових продуктів.

2.3. Умовні знаки маркування

Піктограми наносяться на тару або на пакувальний лист (рис. 17.1, 17.2, табл. 17.1).

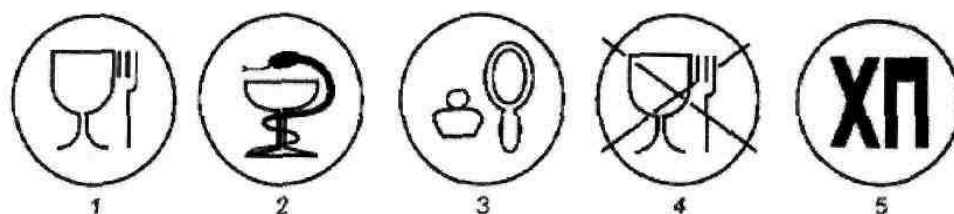


Рисунок 17.1 – Піктограми, що характеризують упаковку: 1 — для харчових продуктів; 2 — для лікарських речовин, 3 — для парфюмерно-косметичної продукції; 4 — для нехарчових продуктів; 5 — для хімічної продукції

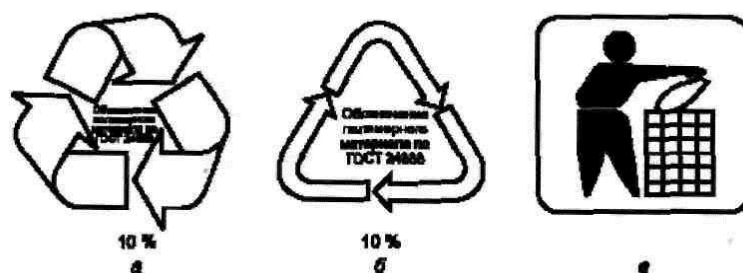


Рисунок 17.2 — Екологічне маркування: а, б — відновлювана (вторинна переробка) упаковка; в — знак, що закликає до охорони навколишнього середовища

Таблиця 17.1 – Маніпуляційні знаки

Номер і найменування знака	Зображення знака	Номер і найменування знака	Зображення знака
1. Крихке. Обережно		12. Штабелювання обмежене	
2. Берегти від сонячних променів		13. Межа за кількістю ярусів у штабелі	
3. Берегти від вологи		14. Знак про відновлюваний вміст в упаковці	
4. Берегти від випромінювання		15. Масова частка відновлюваного вмісту	
5. Обмеження температури		16. Заклик здавати тару для повторної переробки	
6. Вантаж, що швидко псується		14. Знак «Не містить хлору»	
7. Верх		15. Європейський знак «Блакитний ангел»	
8. Тропічна упаковка		16. Скандинавський знак «Білий лебідь»	
9. Штабелювати заборонено		17. Японський екознак	
10. Захищати від радіоактивних джерел		18. Канадський екознак	

2.3. Пакувальні матеріали для споживчої тари з металу

Перевагами металеві тари є висока механічна міцність, технологічність. На відміну від скляних банок, жерстяні в три рази легші, нечутливі до перепадів температури, крім того, немає небезпеки потрапляння скла в продукт. Недоліки: жерстяні банки схильні до корозії, потребують витрат дефіцитного олова і дорогих лаків.

Основними матеріалами для виробництва металеві споживчої тари є жерсть і алюміній.

Жерсть – тонколистова сталь товщиною від 0,2 до 0,5 мм. Для виробництва споживчої тари застосовують жерсть із низьковуглецевої сталі, що має високу пластичність. Для підвищення корозійної стійкості жерсть покривають із двох боків шаром олова (біла або луджена жерсть).

Біла жерсть з'явилася на початку XIX століття в Англії. Спочатку (до 30-х рр. XX ст.) олово наносилося на металеву основу в розплавленому стані (жерсть гарячого лудіння). Сьогодні набуло поширення електролітичне лудіння, що значно дешевше, зважаючи на економію олова, підвищену продуктивність і рівномірніше покриття.

Луджена жерсть має блискучу чисту поверхню, стійка до корозії завдяки хімічній стійкості олова відносно впливу повітря, води, розведених кислот. Проте в разі щонайменшого порушення цілісності олов'яного шару за наявності вологи утворюється гальванічна пара «олово – залізо», і луджена жерсть починає швидко іржавіти.

Від кількості олова залежить термін придатності банки. Як правило, у жерсті електролітичного лудіння використовуються три основних класи покриття: I – 2,8 г/м²; II – 5,6 г/м²; III – 11,2 г/м² із кожного боку. Товщина покриття у третьому класі досягає 1,5 мкм.

Олов'яне покриття для білої жерсті завжди пористе. Чим тонший шар олова, тим більше за інших однакових умов пористість покриття. Констатуємо із харчовим середовищем або вологою атмосферою, кожна пора породжує гальванічний елемент (олово – залізо), який є основною причиною руйнування покриття.

З метою підвищення стійкості до будь-якого виду корозії білу жерсть покривають спеціальними лаками. Лакове покриття разом із навіть тонким шаром олова має добрі захисні властивості, що дозволяє економити дефіцитне олово. Головна його перевага – це можливість консервувати продукти, які є вираженими розчинниками олова.

Для отримання лаків використовують різні синтетичні смоли. Найкращі властивості мають епоксидно-фенольні смоли; використовуються також вінілові, акрилові та ін.

У разі утворення дуже тонких плівок висушених лаків велика кількість речовин не переходить у консервованій продукт. Як правило, гранично

встановлена норма переходу синтетичних матеріалів у продукт (60 мг/кг) ніколи не досягається, якщо сушіння лаку від розчинника проведене правильно.

Біла жерсть є найкращим матеріалом для консервації сильно агресивних харчових продуктів. Проте з метою зниження витрат дефіцитного олова обмежено використовуються й інші матеріали: чорна лакована жерсть, хромована жерсть, алюміній та ін.

Хромована жерсть з'явилася в Японії нещодавно, близько 45 років тому, проте її вироблено у світі вже близько 1 млн т. Перевагою хромованої жерсті є відсутність дефіциту хрому, відносна дешевизна покриття, яке тонше за олов'яне в 30 разів. Проте використання хромованої жерсті без якого-небудь додаткового захисного шару є неможливим через дві причини: 1) хромове покриття має абразивні властивості й призводить до швидкого спрацьовування устаткування для виготовлення банок; 2) захисні властивості хрому відносно заліза поступаються олову, і залізо швидко розчиняється в кислих середовищах із лаковим покриттям на обох боках.

У СНД хромована жерсть застосовується для виготовлення кронен-пробок, кришок для пакування скляних банок, упаковки для сипких продуктів (кава), а також для консервування деяких продуктів.

Алюмінієва тара широко використовується для пакування консервів. Алюміній не впливає на смакові якості, колір і запах продукту. Іншими його перевагами є легкість, добра теплопровідність, технологічність; він легко піддається декоративній обробці. Вартість алюмінію в 3 – 4 рази вища, ніж жерсті, але оскільки алюміній легше, то ціни майже однакові.

Алюміній має недостатню корозійну стійкість до впливу більшості консервованих харчових продуктів, тому його лакують, а перед нанесенням лаку проводять спеціальну обробку.

Алюміній швидко кородує в розбавлених оцтовій і щавлевій кислотах

Металеві банки для консервів. Металеві банки для консервів виготовляють двох типів: I – збірні й II – цілісні. Збірні банки складаються з трьох частин: корпусів з поздовжнім швом і двох кінців (кришки і денця). Цілісні банки складаються з двох частин: корпусів із денцем, штампованих із цілого листа жерсті, і кришки.

Збірні банки одержують таким чином: із листа заготівки одержують циліндр. Шов може бути зварним, паяним, клеєним, клепаним. Кінці кришки і денця штампують і привальцьовують до корпусу подвійним закатним швом.

Закатний шов складається з п'яти шарів жерсті, два з яких дає відбортований корпус, а три – кришка. Денце привальцьовується до заповнення банок продуктом, кришка – після заповнення.

Бічні поздовжні шви збірних банок раніше герметизувалися внаслідок паяння, яке має високий вміст свинцю. При цьому незначна його кількість потрапляє на внутрішню поверхню банки. Як показує досвід багатьох країн, це є безпечним. Разом з тим вживають суворих заходів, щоб технічно усунути будь-

яку форму проникнення свинцю всередину банки. Сьогодні більша частина збірних банок виготовляється за допомогою зварювання або склеювання шва.

Вирізняють нелітографовані банки, що мають умовні позначення на дні та кришці у вигляді цифр, букв і паперову етикетку. На літографованих банках усі відомості на металеву поверхню банок нанесено фарбою.

Збірні банки (I тип) випускають круглими і прямокутними. Цілісні (II тип) – круглими і фігурними (прямокутні, овальні й еліптичні).

Існують понад 60 різновидів металевих банок різної місткості в діапазоні від 50 до 9590 см³.

Металеві банки для м'ясних і рибних консервів зазвичай використовуються таких номерів: № 3 і № 4 масою нетто 250 г, № 8 – 325 г, № 9 – 350 г, № 12 – 550 г.

Металеві банки більшої місткості використовуються для таких продуктів: яєчні заморожені (меланж та ін.) – масою нетто 2,8 кг (№ 14), 4,5 кг (№ 47), 8 кг (№ 15), прямокутні масою нетто до 10 кг; плодоовочева консервована продукція для громадського харчування і промислової переробки (концентровані томатні продукти, зелений горошок, плоди і ягоди протерті та ін.) – масою нетто до 10 кг; рибні пресерви (солоні оселедці) – масою нетто до 5 кг.

Металеві банки для сипких харчових продуктів. Для зберігання сипких харчових продуктів випускають металеві банки 10 номерів (різної місткості) і комбіновані банки 5 номерів із картонним корпусом, кришкою і денцем із жерсті.

У них можна зберігати такі продукти, як кава мелена, кавові напої, харчові концентрати напоїв із сухим молоком або вершками, сухі молочні продукти, карамель, мармелад, кава розчинна, халва, драже.

Металеві банки виготовляють зі збірними кришками. Мембрани під знімні пробки виготовляють із алюмінієвої фольги, кашированої полімерами. Банки можуть бути герметичними і негерметичними.

Внутрішня поверхня комбінованих банок під сухі молочні суміші й інші гігроскопічні продукти обклеюється фольгою або іншим паронепроникним матеріалом.

Місткість металевих банок для сипких продуктів: від 235 см³ – № 1, до 820 см³ – № 10. У комбінованих банок місткість становить від 200 см³ (№ 11) до 930 см³ (№ 15).

Алюмінієві банки з кришками, що легко відкриваються. Лаковані алюмінієві банки глибокого витягування з кришками, що легко відкриваються, призначені для розливу пива, соків, газованих і негазованих безалкогольних і слабоалкогольних напоїв. Кришка, що легко відкривається, має спеціальну конструкцію, яка передбачає розкриття закупореної банки без використання окремого пристрою. Обсяг світового виробництва банок становить 240 млрд штук, із них 44% виробляє США, інше – Японія, Бразилія, Китай. Європейські країни виробляють приблизно 47 млрд банок. У США 60% пива і 50%

прохолодних напоїв випускають в алюмінієвих банках. У Європі – 25% пива і 19% напоїв.

2.4. Полімерні пакувальні матеріали для споживчої тари

Виготовляють такі три основні види споживчої тари з полімерних матеріалів:

- м'яку (пакети);
- напівжорстку (комбіновані матеріали на основі паперу і картону);
- Жорстку або напівжорстку тару з полімерних матеріалів методом формування (стакани, банки, коробки, лотки-коробки, лотки-підкладки).

Найпоширеніший пакувальний матеріал – це плівки на основі відповідного полімеру. Використання певного плівкового матеріалу залежить від комплексу фізико-механічних властивостей вихідного полімеру, його собівартості та інших чинників.

Плівки на основі поліолефінів. Поліолефінові плівки легкі, економічні, мають високу еластичність, низьку паропроникність і широко використовуються для пакування продуктів – окремо і як компоненти при виготовленні багатошарових ламінатів (комбінованих плівкових матеріалів). У харчовій промисловості широко застосовуються плівки на основі поліетилену низької та високої щільності, поліпропілену та співполімерів етилену з пропіленом.

Поліетиленова (ПЕ) плівка характеризується стійкістю до впливу вологи, морозостійкістю (зберігає еластичність до температури – 60... – 70°C), високою газопроникністю, невисокою міцністю та підвищеною еластичністю. Однак цей матеріал є нестійким до дії масел та жирів.

Із поліетиленової плівки виготовляють пакети для розфасовки компотів, пастеризованих соків, варення, томатної пасти та ін. Крім того, поліетилен використовують як покриття паперу, картону, тканини, металевій фольги, для захисту металевих виробів від корозії. Такі покриття знижують волого- і газопроникність пакувальних матеріалів, підвищують їх міцність, жиростійкість, забезпечують термозварюваність.

Поліпропіленова (ПП) плівка має більшу механічну міцність, жиро- та теплостійкість (140...160°C) порівняно з поліетиленом високої щільності. Застосовують поліпропіленову плівку для пакування молочних продуктів, свіжих і заморожених овочів і фруктів, свіжого м'яса, птиці й рибних продуктів, хліба, хлібобулочних і кондитерських виробів. Доцільно її використовувати для пакування гігроскопічних продуктів (сухе молоко, локшина, макарони, борошно, цукрова пудра, рис). Із поліпропілену виготовляють тару для стерилізації, пакування горіхів, смаженої картоплі, чипсів.

Плівки на основі целюлози.

Ацетицелюлозна плівка – жиронепроникна, добре піддається вакуумному формуванню і глибокому витягуванню, що дозволяє отримувати з неї різну жорстку полімерну тару. Використовується для пакування фруктів, овочів та

інших продуктів, що вимагають газообміну з навколишнім середовищем, завдяки високій паро- і газопроникності. Зона робочих температур 18...105°C. Така плівка добре зварюється при 190°C. Ацетилцелюлозна плівка не пліснявіє, проте малостійка до кислот та лугів, не має запаху, нетоксична, прозора, має блискучу поверхню.

Целофан – це регенований природний полімер (гідрат целюлози). Його застосовують для пакування різних кондитерських виробів, порошкоподібних і сухих продуктів, цукру через низьку паро- та водонепроникність. Завдяки жиростійкості й газонепроникності в нього упаковують рибу, рибне філе, заморожене м'ясо, свіжі й перероблені фрукти та овочі. Випускається декілька марок целофану, що позначаються такими номерами (титрами): 25, 35, 45, 55, 65, 75, 85 та 100 (ГОСТ 7730-74). Номер целофану відповідає масі 1 м² у грамах. Для пакування харчових продуктів зазвичай використовують плівку нижчих титрів (до 45).

Плівка з целофану характеризується низькою газопроникністю та високою гігієнічністю, міцністю, стійкістю до дії жирів. Однак цей матеріал є гігроскопічним та низькотехнологічним.

Використання целофану:

- Оболонка для сосисок і варених ковбас.
- Упаковка жировмісних кондитерських виробів: кексів, печива, вафель.

Сьогодні замінений ПП через подорожчання целофану.

- Хліб в європейських країнах пакують у целофан спеціальних марок для тривалого зберігання.

Полієфіри (поліетилентерефталат – ПЕТФ).

Пляшки з поліетилентерефталату для харчових рідин. Залежно від методу виготовлення пляшки з ПЕТФ поділяють на такі групи:

- а) пляшки, виготовлені з гранульованого поліетилентерефталату;
- б) пляшки, виготовлені методом видувного формування з прес-форм.

Залежно від конструкції пляшки поділяють на такі види: циліндричні, прямокутні, фігурні.

Пляшки з ПЕТФ за нормальних умов зберігання є, нетоксичними, нешкідливими для організму людини. За температури понад 300°C відбувається деструкція ПЕТФ із виділенням шкідливих речовин.

Серед показників якості – стійкість до гарячої води. З метою перевірки цієї характеристики заливають воду температурою 70°C і витримують протягом 10 – 15 хв. – деформації не повинно бути.

ПЕТФ – пляшки широко застосовуються для пакування харчових рідин (газовані напої, мінеральна вода, пиво, соки), косметики, мийних засобів, тортів, тістечок, печива, виробництва контейнерів для газонаповнених упаковок із м'ясними й рибними напівфабрикатами, кулінарними виробами, лотків для швидкозаморожених готових страв, оскільки матеріал витримує як низькі температури (– 30°C), так і температуру розігрівання 177°C.

ПЕТФ – пляшки мають високу морозостійкість і теплостійкість, жиростійкість, стійкість до дії води та органічних кислот, прозорість. Вони піддаються стерилізації та легко забарвлюються. Крім того, вони в 13 разів легші за скло, удароміцні, у 10 разів їх міцність вища за міцність з ПЕ, а після спалювання такої тари не утворюється великої кількості шкідливих речовин.

Проте існують і пвні недоліки: плівковий матеріал не зварюється, використовується лише в поєднанні з ПЕ і ПВДХ, є нестійким до впливу сірчаної кислоти, фенолів і деяких інших реактивів, до тривалої дії лугів, які руйнують поліефіри. Таку тару не рекомендується використовувати для розливу пива з тривалим терміном зберігання а та горілки.

Плівки з полівінілхлориду (ПВХ) застосовують для пакування різноманітних харчових продуктів: м'ясних, молочних, рибних виробів, вина, соків, жиру, майонезу та ін. Для пакування ковбаси, гірчиці, приправ, рибних і овочевих консервів, кондитерських виробів застосовують прозорі та напівпрозорі білі плівки з ПВХ. У кондитерській промисловості для упакування цукерок, шоколаду, печива, для внутрішньої обробки коробок шоколаду використовують металізовану плівку різних кольорів із жорсткого ПВХ.

Жорсткий ПВХ не має запаху і смаку, є фізіологічно нешкідливим, легко формується і зварюється. Характеризується стійкістю до кислот, лугів, різних видів масла, жиру, і деяких розчинників, низькою паро-, водо-, газо-, ароматопроникністю. Непластифікований ПВХ застосовують як матеріал для виготовлення жорсткої тари та вистилання харчових міскостей.

Пластифікований ПВХ використовують здебільшого у вигляді мішків для упакування оселедця, кільки, салаки та ін.

Поліамідні плівки. Поліамідні плівки (анід, капрон, силон, рильсан, амілан) мають здатність до витягування, що дозволяє виготовляти з них суцільнотягнуті легкі тарні вироби. Вони теплостійкі (145...160°C), морозостійкі (– 90 ... – 70°C), міцні, еластичні, мають високу стійкість до дії жирів і масел, плісняви та грибків. Недоліками таких плівок є досить висока паропроникність і складність термічного зварювання.

Завдяки високій теплостійкості ці плівки витримують будь-які режими розігрівання харчових продуктів в упаковці та термічну стерилізацію до 125...130°C.

У пакети з рильсану під вакуумом упаковують варені овочі, стерилізують їх гарячою водяною парою, потім охолоджують. Також під вакуумом без подальшої теплової обробки упаковують ковбасні вироби, бекон, морожену та копчену рибу, сир, оселедця, тріску; із подальшою пастеризацією шинку; із подальшою стерилізацією – курку, сосиски з гарніром. Він застосовується також для упакування в середовищі інертного газу рідких, пастоподібних і гарячих продуктів.

Спінені плівки. Як спінені (газонаповнені) плівки найчастіше використовують пінополістирол, пінополіуретан, пінополівінілхлорид, пінополіолефіни. Вони застосовуються, головним чином, як елементи транспортної тари, а в окремих випадках – для виготовлення споживчої тари (для харчових продуктів, чутливих до механічного або теплового впливу). Повітряно – пухирчаста плівка має у своєму складі

не менше 50% від об'єму газової фази (повітря) і може застосовуватися для термоізоляції. Вона має амортизуючі властивості, поєднує в собі властивості поролону (запобігає ударам, поштовхам) і поліетилену (обереігає вироби від атмосферного впливу). У харчовій промисловості останнім часом широко використовуються пакувальні плівки й тара на основі фторопластів (характеризуються термостійкістю), полікарбонату (відзначаються прозорістю, термостійкістю) та гідрохлориду каучуку (еластичність, міцність, газо- та паронепроникність).

3. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Ознайомитися з видами металевих і полімерних пакувальних матеріалів, що найчастіше застосовуються в харчовій промисловості.
2. Отримати у викладача зразки двох видів споживчої тари: скляної та полімерної.
3. Розшифрувати маркування на упаковці.
4. Визначити вид матеріалу споживчої тари згідно зі своїм варіантом.
5. Коротко описати властивості та застосування отриманих матеріалів споживчої тари.

4. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Для пакування яких продуктів застосовують тару з білої жерсті?
2. Чим відрізняється біла жерсть від хромованої?
3. Яким чином додатково хахищають тару із жерсті?
4. Для яких цілей застосовується алюмінієва тара?
5. Які основні властивості полівінілхлоридної тари?
6. Наведіть приклад застосування тари з поліамідів?
7. Для пакування яких продуктів застосовують поліетилен?
8. У чому переваги поліетилентерефталатної тари?

КОМБІНОВАНІ ТА СКЛЯНІ ПАКУВАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ

1. МЕТА РОБОТИ

1. Ознайомитися з основними видами комбінованих пакувальних матеріалів, їх фізико-хімічними властивостями та застосуванням.
2. Набути практичних навичок визначення виду пакувального матеріалу, маркування.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

2.1. Комбіновані пакувальні матеріали

Разом із позитивними властивостями полімерні одинарні плівки, що застосовуються для пакування харчових продуктів, мають і низку недоліків. З метою усунення цих недоліків та отримання матеріалу з певним комплексом фізико-механічних властивостей застосовують комбінування матеріалів.

У харчовій промисловості найбільшого поширення набули такі типи багатошарових комбінованих пакувальних матеріалів:

- матеріали на основі паперу або картону та полімерів;
- багатошарові полімерні плівки;
- матеріали з алюмінієвої фольги та полімерів;
- матеріали з алюмінієвої фольги, паперу та полімерів;
- металізовані та спеціальні багатошарові плівки.

Для пакування окремого виду харчового продукту з певним терміном та умовами зберігання створюються комбіновані пакувальні матеріали, в яких вміст окремих складових визначається конкретним призначенням пакування, споживчими, економічними, екологічними та технологічними властивостями окремих складових шарів. Зокрема, у прозорі плівки з високими бар'єрними властивостями упаковують продукти, що потребують захисту від пилу, вологи та механічних пошкоджень. Використання спінених матеріалів як середнього шару дозволяє покращити термоізоляційні властивості пакування. Такі матеріали придатні для упакування морозива та заморожених овочів і фруктів. З метою посилення міцності й твердості пакування, покращення захисних властивостей до складу багатошарових пакувальних матеріалів вводиться алюмінієва фольга.

Під час створення багатошарового комбінованого покриття для розв'язання одного завдання може бути прийнято декілька варіантів, залежно від властивостей, яких надають упаковці основні компоненти багатошарового матеріалу (табл. 18.1).

Таблиця 18.1 – Основні властивості компонентів багат шарових пакувальних матеріалів

Матеріал	Газонепроникність	Непрозорість	Міцність, жорсткість	Вологонепроникність	Термостійкість	Морозостійкість	Жиростійкість
Целофан	+	-	+	-	-	-	+
Полівінілхлорид	+	-	-	+	-	-	+
Поліаміди	+	-	+	-	+	+	+
Поліетилен низької щільності	-	-	-	+	-	+	-
Поліетилен високої щільності	+	-	+	+	+	+	+
Поліпропілен	-	-	+	+	+	-	-
Співполімер вінілденхлориду з вінілхлоридом	+	-	-	+	-	+	+
Поліетилентерефталат	+	-	+	+	+	+	+
Алюмінієва фольга	+	+	+	+	+	+	+
Папір	-	+	+	-	-	+	-

Матеріали на основі паперу або картону та полімерів. Розманітні комбінації полімерних плівок із картоном широко використовуються для пакування харчових матеріалів. Із полімерів найчастіше використовують поліетилен і співполімери типу ВХВД. Полімерне покриття залежно від типу плівки надає їй газо- та жиронепроникності, паро- та вологостійкості, зварюваності, а паперова основа – непрозорості, здатності сприймати друк, твердості. Найбільш широко застосовуються для пакування харчових продуктів такі матеріали цієї групи:

- папір з однією стороною ВХВД – покриттям.
- Папір, покритий із двох боків ПЕ та з одного боку печаттю;
- папір, покритий зсередини парафіном, а ззовні – ПЕ та печаттю (для пакування молока і молочних продуктів).

Багат шарові полімерні плівки. У таких матеріалах кількість шарів полімерних плівок може бути два та більше. Найчастіше для пакування харчових продуктів застосовуються: целофан–поліетилен, поліетилен–поліпропілен–поліетилен, поліамід–поліетилен, поліетилентерефталат–поліетилен та ін.

Відмінним матеріалом, що поєднує в собі газонепроникність, міцність целофану з паронепроникністю, водостійкістю та здатністю до термічного зварювання поліетилену, є комбінація целофан–поліетилен ПЦ-2 та ПЦ-4. Плівка

має високу технологічність, гігієнічна й економічна, тому широко застосовується для пакування різних харчових продуктів.

Плівки типу полієфір–поліетилен мають низку переваг порівняно з комбінацією целофан–поліетилен. Вони мають широкий діапазон робочих температур (– 70...+100°C), не розшаровуються, є більш міцними, вологостійкими, їх адгезійна міцність вища. Основний недолік – вища вартість, ніж у плівок типу целофан – поліетилен, тому застосовуються тільки в умовах, де целофан – поліетилен непридатний. Найбільш популярними марками плівок є ЛП-1, ПНЛ, СП-1.

Інколи, для одержання пакувального матеріалу з мінімальною проникністю і високою прозорістю, до складу комбінованих пакувальних матеріалів вводять чотири та більше компоненти. Наприклад, комбіновані матеріали ПЕЛАК-4 та ПОЛАК-4 складаються з чотирьох шарів полімерних матеріалів і відзначаються майже повною герметичністю та прозорістю.

У таблиці 18.2 наведено основні властивості багатошарових комбінованих матеріалів, що широко використовуються для пакування харчових продуктів.

Матеріали на основі алюмінієвої фольги і полімерів. Матеріали на основі алюмінієвої фольги забезпечують надійну герметичність і успішно конкурують із металевою та скляною тарою завдяки своїй жиро- та газонепроникності. Для цих матеріалів характерна висока корозійна стійкість, здатність відбивати світлові промені та зберігати задану форму, непроникність для бактерій, тепло- і вологостійкість, стійкість до ударних навантажень, опір старінню.

Для виготовлення пакувальної тари широко використовується лак – фольга – поліпропілен на основі фольги товщиною 100 мкм. Для упакування молока використовують ... целофан-поліетилен-фольга-поліетилен, що має високі захисні властивості. Для виготовлення пакетів застосовується папір-фольга-поліетилен, а для напівтвердої тари – матеріал парафін-папір-фольга-поліетилен.

Металізовані багатошарові полімерні плівки. Останнім часом при конструюванні багатошарових пакувальних матеріалів застосовують металізацію полімерних плівок. Процес металізації не забезпечує настільки високого захисту, як алюмінієва фольга, але знижує повітро- та паропроникність деяких плівок у декілька разів. Застосування металізації знижує витрати алюмінію порівняно з використанням алюмінієвої фольги в 10 і більше разів. Крім того, металізована плівка має деякі технологічні переваги завдяки зменшенню маси плівкового матеріалу та виключенню пошкодження металевого шару під час вигинання.

Із пакувальних матеріалів цієї групи найчастіше застосовують металізований двоосновоорієнтований поліпропілен.

Таблиця 18.2 – Основні властивості багатошарових полімерних матеріалів

Комбіновані матеріали	Товщина шару, мкм	Стійкість до проколу, Па·10 ⁵	Газопроникність (за CO ₂), (м ² /Па·с)·10 ¹⁶	Ароматопроникність, гол	Температурний діапазон застосування
<i>Комбіновані матеріали на основі паперу</i>					
Папір-ВДВХ	70/20	80	200	48	-20...90
Папір-ПП	90/40	130	300	24	0...100
<i>Папір-ПЕ</i>	<i>88/40</i>	<i>75</i>	<i>400</i>	<i>0,1</i>	<i>-30...80</i>
<i>Комбіновані матеріали на основі алюмінієвої фольги</i>					
Ц-Ф-ПЕНП	30-9-60	135	<1	>500	-60...100
Лавсан-Ф-ПЕВП	20-9-40	140	<1	>500	-60...120
Лавсан-Ф-ПП	20-9-40	145	<1	>500	-40...130
<i>Комбіновані матеріали на основі фольги, паперу та полімерів</i>					
Папір-ПЕ	80-14-50	130	10	<1	-30...100
Парафін-папір-Ф-ПЕ	10-150-9-60	180	5	<1	-60...60
ПЕ-папір-ПЕ-Ф-ПЕ	20-180-25-9-75	190	1	<1	-60...100
<i>Металізовані багатошарові полімерні плівки</i>					
ПЕТФ	12	–	112	–	-20...60
ПЕТФ-ПЕ	12/60	–	2,4	–	-60...60
ПА	30	–	0,8	–	-60...100
ПА-ПЕ	25/75	–	8,2	–	-60...60
ПВХ	35	–	0,9	–	-40...95

2.2. Скляна тара

Частка скляної тари у світі і в нашій країні становить 15% від усіх пакувальних матеріалів. Випуск скляних пляшок, незважаючи на конкуренцію із пластмасовими й металевими банками, поступово збільшується внаслідок розвитку індустрії напоїв. У країнах ЄС частка скляних молочних пляшок становить 12% в результаті адміністративних заходів по боротьбі зі сміттям (скляна тара є оборотною: оборот становить 30 і більше разів). Покупці ж часто віддають перевагу легкій пластиковій тарі.

Переваги скляної тари:

- Відмінні санітарно-гігієнічні властивості (зі скла в харчові продукти не потрапляють токсичні речовини).

- Невисока собівартість унаслідок великого запасу сировини: основна сировина – це пісок (SiO_2). Тонна скла в 6 разів дешевша за метал, за іншими даними – у 12 разів.
- Екологічний аспект. У країнах Західної Європи утилізують 70% скляної тари. Там її застосовують на бій, а потім використовують повторно. У країнах ЄС 25 – 50% скляної тари одержують із бою. Скло легко ідентифікується у відходах.
- Легко миється і дезінфікується.
- Високі бар'єрні властивості й міцність до стиснення.
- Прозорість.

Недоліки скляної тари:

- Велика маса.
- Крихкість. Втрати продукції під час транспортування і зберігання в 4 – 5 разів більші, ніж у металевих банках.
- Прозорість для пива, вина і деяких інших продуктів – недолік.

Сировина і схеми виробництва. Сировиною є білий пісок (SiO_2), сода (Na_2CO_3), вапняк або крейда (CaCO_3). Унаслідок сплаву цих речовин утворюються силікати – солі кремнієвої кислоти і CO_2 .

Для білого та безбарвного скла використовують знебарвлювачі та освітлювачі: для тари під харчові продукти – селен і монооксид кобальту COO , під інші товари – триоксид арсену з селітрою.

Освітлювач: сульфат натрію Na_2SO_4 .

Барвники – сполуки кобальту – синій колір (не для харчових продуктів); оксид заліза – темно-зелений колір, сірка – відтінки жовтого кольору. Для отримання зеленого скла використовують добавки хрому (Cr) і міді (Cu). Для отримання коричневого скла – марганець (Mn) і бор (B).

У разі заміни соди на поташ (K_2CO_3) і використання оксиду свинцю (PbO) одержують кристаль для непродовольчих товарів. Під час вироблення кольорового стекла додають окиснювачі й відновники.

Схема виробництва

• Складання шихти. Складають суміш подрібнених компонентів, додаючи бій скла, видаляючи металеві домішки, очищають від сполук заліза (надає піску жовтого або червоного кольору).

• Варіння скла. При температурі $1300\text{...}1460^\circ\text{C}$ одержують рідку скломасу; CO_2 і H_2O вступають в реакцію, що сприяє перемішуванню скломаси.

• Формування виробів. Тару з вузькою шийкою формують із циліндричних заготовок (прес-форми). Видування проводять на вакуумних апаратах автоматично або методом відцентрового лиття у форми, для флаконів застосовується ручне видування.

• Відпалювання. Нагрівання виробів до пластичного стану при 500...580°C і витримування для зняття внутрішніх напружень, що підвищує міцність і стійкість до перепадів температур.

Групи і марки скла

Розрізняють чотири групи скла: безбарвне, напівбіле, зелене та коричневе.

Для отримання безбарвного скла застосовують знебарвлення (селен і монооксид кобальту). Як освітлювач використовується Na_2SO_4 , який в під час виробництва перетворюється в Na_2SO_3 . Таке скло містить найменшу кількість оксиду заліза Fe_2O_3 , його випускають двох марок: БТ-1 і БТ-2 (безбарвне тарне). Марка БТ-2 має високу хімічну стійкість.

Напівбіле скло має блакитнувато-зеленуватий відтінок, містить Fe_2O_3 у п'ять разів більше, ніж у безбарвному, і менше освітлювачів.

Зелене скло використовується для тари з вузькою шийкою. У його складі є також хром, мідь, бор, Fe_2O_3 у ньому в три рази більше, ніж у напівбілому.

Коричневе скло використовується для (застосовується в медицині) тари з вузькою і широкою шийкою. У його складі є марганець і бор.

Тара з коричневого скла рекомендується для пива, лікерів, медичних препаратів; зеленого – для вина; безбарвного – для горілки, безалкогольних напоїв. Для, соків, напоїв рекомендується безбарвне скло на вимогу покупців.

3. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Ознайомитися з видами комбінованих і скляних пакувальних матеріалів, що найбільш широко застосовуються в харчовій промисловості.
2. Отримати у викладача два види споживчої тари: скляну та комбіновану.
3. Розшифрувати маркування на упаковці.
4. Визначити види матеріалу споживчої тари згідно зі своїм варіантом.
5. Коротко описати властивості й застосування отриманих матеріалів споживчої тари.

4. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Яких властивостей набуває упаковка в разі комбінування декількох полімерних плівок?
2. Для пакування яких продуктів застосовується скляна тара?
3. Які групи та марки скла використовуються для пляшок?
4. Які властивості має скляна тара?
5. З якими полімерами комбінують папір у складі упаковки?
6. Для пакування яких продуктів використовується металізована тара?
7. Які властивості має упаковка на основі металевої фольги та полімерів?

ВИВЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА

1. МЕТА РОБОТИ

1. Ознайомитися з методикою виготовлення деталей литтям.
2. Набути навичок підбирання методів лиття для виготовлення фасонних деталей.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

2.1. Основи технології ливарного виробництва

Ливарне виробництво являє собою технологічний процес виготовлення виробів шляхом заливання розплавленого металу в ливарну форму, порожнина якої за своїми розмірами та конфігурацією відтворює форму та розміри заготовки.

Лиття є найбільш простим і дешевим способом отримання деталей машин. Після зварних конструкцій воно займає друге місце у світі серед деталей, які використовуються в машинобудуванні.

Технологічний процес отримання відливка розділяють на такі стадії:

- Виготовлення ливарної форми, стрижня та їх складання.
- Розплавлення металу та наповнення ним порожнини форми.
- Охолодження, вибивання, очищення відливка та контроль якості.

Плавлення металів перед заливкою здійснюють на різноманітному обладнанні: вуглецеві та леговані сталі – у мартенівських та електропечах, мідні сплави – у дугових, полумєневих та індукційних електропечах і тиглях, алюмінієві сплави – в електричних і полумєневих печах.

2.2. Лиття в піщано-глиняні форми

Цей вид лиття застосовують для виготовлення великогабаритних виливків складної форми невисокої точності та шорсткості (корпуси, основи). Більшість чавунних і сталевих виливків отримують методом лиття в піщано-глиняні форми (до 60% загального об'єму).

Технологія виготовлення виливка в разовій піщаній формі складається з таких послідовних операцій: виготовлення модельних комплектів; приготування формових і стрижневих сумішей; формування ливарних форм і стрижнів; сушіння стрижнів, а іноді й форм; складання форм; приготування рідкого металу; заливання форм металом; вибивання виливка з форм і стрижнів з виливка; обрубкування ливникової системи й очищення виливка; механічна і термічна обробка виливка; контроль і виправлення дефектів готового виливка.

Попередньо виготовляють форму в рамках 6, які називають *опоками*. Нижня і верхня опоки з'єднуються між собою центрувальними штирями 9. Модель деталі, яка складається з верхньої 1 і нижньої 2 напівмоделей, під час формування піщано-глиняною сумішшю 7 утворює порожнини 5. Форма складається зі стрижня 3, що застосовується для утворення отвору в готовій деталі, газовідвідних каналів 8 та ливникової системи. *Ливникова система* – це система каналів, якими рідкий метал надходить у ливарну форму. Вона має забезпечити швидке заповнення форми рідким металом, правильне його твердіння у формі, мати якомога меншу масу і легко відокремлюватися від виливка. Складається ливникова система зі стояка 10, випору 11, ливникової чаші 12, живильника 13 та шлакоуловлювача 14.

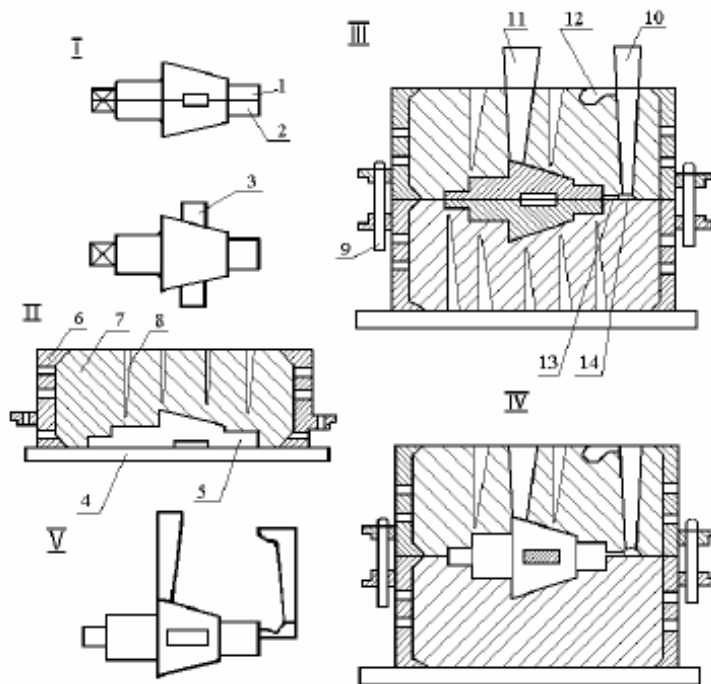


Рисунок 19.1 – Формування у двох опоках за рознімною моделлю: I – модель деталі; II – напівформа з напівмоделлю; III – форма; IV – форма перед заливкою металом; V – готовий відливок; 1 – верхня напівмодель; 2 – нижня напівмодель; 3 – стрижень; 4 – модельна плита; 5 – порожнина, утворена напівмоделлю; 6 – нижня опока; 7 – піщано-глиняна суміш; 8 – газовідвідний канал; 9 – центрувальні стрижні; 10 – стояк; 11 – випор; 12 – ливникова чаша, 13 – живильник; 14 – шлакоуловлювач

2.3.Лиття в кокіль

Лиття в кокіль – це виготовлення деталей шляхом заливання металу в ливарні форми багаторазового використання (5000 разів при заливанні чавуну, 700 разів для сталі). Застосовують для отримання відливків із кольорових сплавів, чавуну й інколи зі сталі. Характерна особливість кокільного лиття – швидке застигання металу, що призводить до щільної дрібнозернистої структури виливка.

Кокілі виготовляють із чавуну та сталі, нерознімними (рис. 19.2, а) або рознімними з горизонтальним (рис. 19.2, б) або вертикальним (рис. 19.2, в) розняттям, що використовуються найчастіше.

Кокіль рознімний виготовляють із двох половин 6 із напрямними штирями 10. Щоб уникнути жолоблення, кокіль має ребра жорсткості 5 або йому надають коробчастої форми (рис. 19.2, в). Для прискорення охолодження іноді на зовнішній поверхні стінки відливають пальці 8. Отвір (або внутрішню

порожнину) у виливку утворює піщаний 1 або металевий 9 стрижень. Метал заливають у ливникову чашу 3, стікаючи по стояку 4 та живильниках, він заповнює порожнину форми 2. Оскільки металеві стрижні невіддатливі, їх видаляють із форми до початку усадки металу. Якщо внутрішня конфігурація виливка складна, то металеві стрижні роблять із кількох частин (рознімними) або заміняють піщаними. Ливникову систему розміщують у площині розняття кокілю. Для виходу повітря з форми в момент заливання, крім випорів 11, у площині розняття по всій висоті кокілю прорізають щілини завглибшки 0,3...0,5 мм. Розкривають кокіль і виштовхують готовий виливок уручну або механізованим способом.

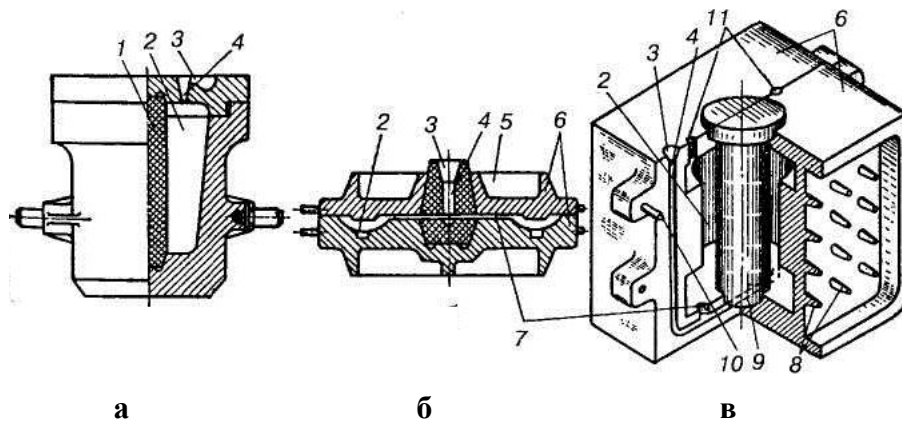


Рисунок 19.2 – Кокілі: а – не рознімний; б – рознімний із горизонтальним розняттям; в – рознімний із вертикальним розняттям

Лиття в кокіль включає такі операції: очищення кокілю, нанесення на внутрішню поверхню вогнетривкого мастила для запобігання розіданню та відбілюванню чавуну, нагрівання кокілю до 200...300°C, складання напівформ і заливання металу.

2.4. Відцентрове лиття

За цього методу лиття метал заливають у кокіль, який обертається з певною швидкістю. Заповнення кокілю і кристалізація металу відбуваються під дією відцентрових сил, що забезпечує значну щільність металу, оскільки гази і неметалеві домішки важкий метал витискує до внутрішньої порожнини виливка, а потім їх видаляють під час механічної обробки. Відцентрове виливання характеризується високим виходом якісних виливків (до 90%) завдяки майже повній відсутності витрати металу на ливникову систему.

У виробництві застосовують кокілі з горизонтальною (рис. 19.3, а) і вертикальною (рис. 19.3, б) віссю обертання. При цьому вісь обертання збігається з віссю виливка, тому його внутрішня порожнина утворюється без застосування стрижнів. Цей спосіб поширений у разі виготовлення виливків, що мають форму тіла обертання.

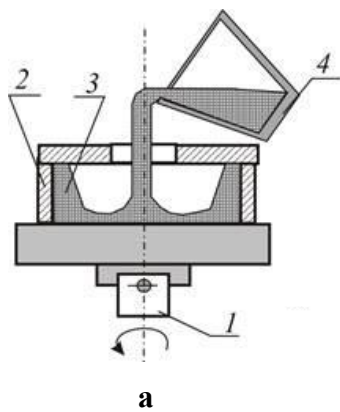


Рисунок 19.3 – Відцентрове лиття: а – схема процесу; б – заготовки, отримані цим способом: 1 – двигун обертання; 2 – форма; 3 – розплавлений метал; 4 – ківш.

Відцентрове лиття широко застосовують для виготовлення чавунних труб діаметром 80...150, 200...300 мм в охолоджувальному кокілі 3 (рис. 19.4), який обертається електродвигуном 1. Рідкий чавун 5 із ковша нерухомих жолобом 4 надходить у кокіль. Залежно від заповнення металом кокіль переміщується по рейках ліворуч. Після заливання кокіль перебуває в крайньому лівому положенні та ще деякий час (до повної кристалізації металу) обертається. Після затвердіння металу електродвигун вимикають, трубу разом зі стрижнем 2 (він утворює розтруб) видаляють із форми ліворуч. Зовнішня поверхня одержаних чавунних труб вибілюється, тому їх треба відпалювати при температурі 850...920°C.

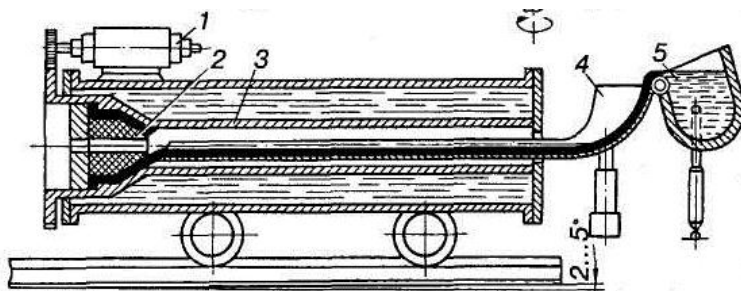


Рисунок 19.4 – Схема перебігу горизонтального відцентрового лиття: 1 – двигун обертання; 2 – стрижень; 3 – кокіль; 4 – жолоб; 5 – розплавлений метал

2.5. Лиття під тиском

За цього способу лиття метал під тиском примусово заповнює металеву прес-форму, що усуває можливість утворення усадочних раковин і додаткових включень. Завдяки тиску розчинені в металі гази залишаються в розчині, що знижує газову пористість, підвищує щільність і міцність виливків. За цього способу виливки не потребують механічної обробки. Виливанням під тиском можна виготовити виливки з глибокими порожнинами, отворами малого діаметра (до 2 мм), готовою різьбою, тонкостінні (близько 0,5 мм). Перевагою цього способу є також висока продуктивність праці та взаємозамінність виготовлених деталей.

Лиття під тиском застосовують лише в масовому виробництві тонкостінних невеликих виливків із кольорових сплавів, які мають невисоку температуру плавлення, унаслідок того, що металеві прес-форми дуже складні та дорого коштують.

Для виготовлення виливків зі сплавів із низькою температурою плавлення (на основі цинку, свинцю й олова) застосовують *поршневі гідравлічні машини* для

виливання під тиском із гарячою камерою стискування; для виготовлення виливків з усіх інших кольорових сплавів – із холодною камерою стискування.

У разі застосування *холодної камери стискування* 5 (рис. 19.5, а – в), метал 4 заливають у камеру мірною ложкою. Верхній поршень 1, опускаючись, тисне на метал; водночас нижній поршень, також опускаючись, відкриває ливниковий канал 3. Метал заповнює порожнину прес-форми 2, яка складається з рухомої половини 6 (пуансон) і нерухомої половини 7 (матриця).

Після затвердіння металу пуансон відводять убік (рис. 19.5, в), вилівок 9 разом із ливником 12 виштовхується виштовхувачами 8. Надлишок металу 11 видаляється назовні нижнім поршнем 10.

Гаряча камера стискування 15 (рис. 19.5, г) працює в дуже складних умовах, оскільки розміщена безпосередньо у ванні 13 із рідким металом 14. Крізь ливник 17 метал надходить у порожнину прес-форми 18. Конструкція камери не дає можливості виготовляти виливки зі сплавів із температурою плавлення понад 500°C, оскільки швидко спрацьовується поршень 16.

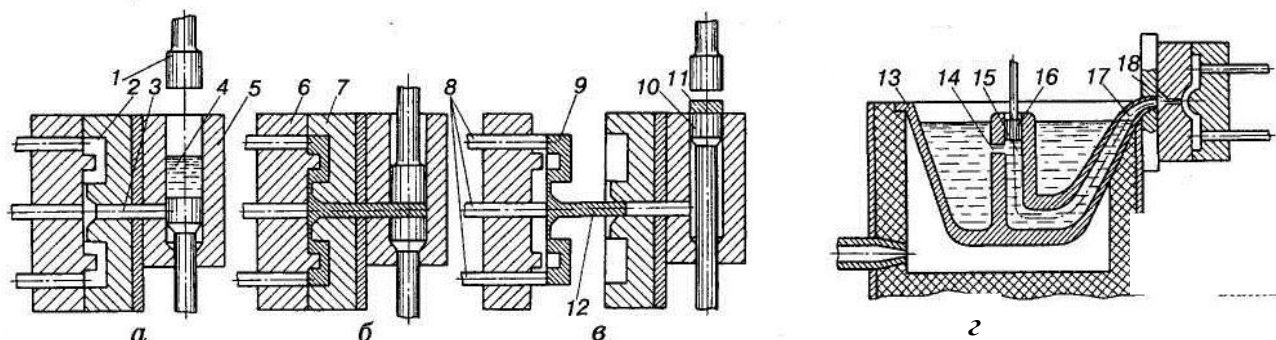


Рисунок 19.5 – Схема роботи холодної та гарячої камери стискування: а – заливання розплавленого металу в холодну камеру; б – виливання під тиском; в – виштовхування готового виливка; г – гаряча камера стискування

2.6. Лиття в оболонкові форми

Лиття в оболонкові форми застосовують у серійному і масовому виробництві дрібних і середніх виливків з будь-яких сплавів. Воно вирізняється точністю розмірів, чистотою поверхні виливків, та значно перевищує за цими показниками виливки, виготовлені в піщано-глинистих формах.

Як формову суміш за цього способу лиття використовують суміш термореактивної смоли з технічним уротропіном, яка в разі незначного нагрівання плавиться, а під час подальшого нагрівання полімеризується і незворотно твердіє.

Разові оболонкові форми виготовляють таким чином. Попередньо нагрівають модельні металеві плити 1 в електричній печі до температури 220...280°C (рис. 19.6, а) та закріплюють моделлю вниз у бункері 2 із формовою сумішшю 3, яка складається з піску і домішок 4...6% смоли, у вигляді порошку (рис. 19.6, б).

У разі повертання бункера разом із модельною плитою на 180° (рис. 19.6, в) формова суміш падає на плиту. При цьому смола суміші плавиться і зв'язує

зерна піску в напівтверду кірку. Надалі бункер повертається у вихідне положення, формова суміш, що не прореагувала, падає на дно бункера, а на модельній плиті залишається напівтверда оболонка 4 завтовшки 6...8 мм (рис. 19.6, г).

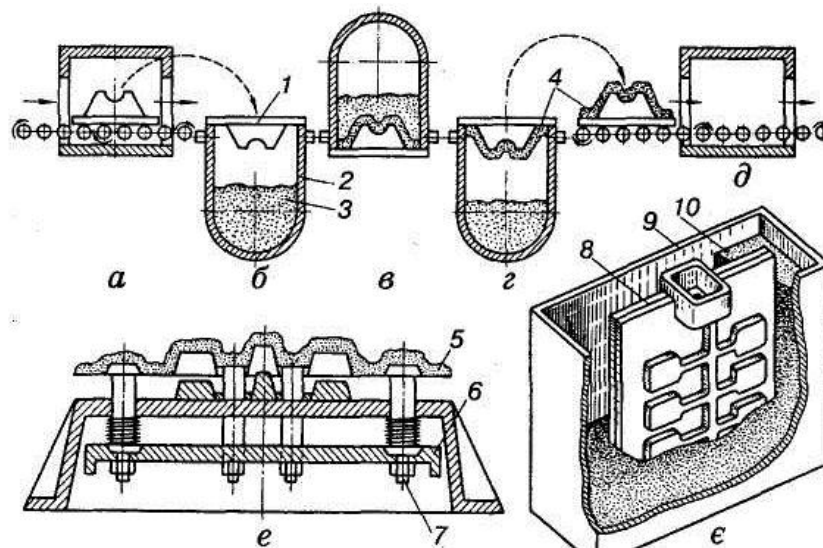


Рисунок 19.6 – Схема виготовлення оболонкової форми

Для остаточного затвердіння оболонки модельну плиту подають у піч при температурі близько 350...500°C (рис. 19.6, д). Готову тверду оболонку 5 знімають із модельної плити 6 за допомогою виштовхувачів 7 (рис. 4, е). Таким чином виготовляють обидві половинки оболонкової форми.

За такою самою технологією виготовляють також стрижні з цієї суміші в металевих стрижневих ящиках. Заключною операцією є складання оболонкової форми з півформ, під час якої півформи 8 (рис. 4, є) скріплюють скобами, струбцинами або склеюють по площині роз'язтя. Готову форму поміщають у металевий ящик 9, засипають крупним піском 10 (або дробом) і заливають металом. Смола з формової і стрижневої сумішшю поступово вигорє під дією високої температури, оболонка втрачає міцність і легко руйнується під час вибивання виливка.

2.7.Лиття за витоплюваними моделями

Таким способом виготовляють виливки зі сплавів із будь-якою температурою плавлення, а також деталі, що важко обробляються різанням і тиском (жароміцні, жаростійкі, різальний інструмент із швидкорізальної сталі тощо). Цей спосіб відрізняється високою точністю форми та розмірів, обсяг механічної обробки виливків зменшується на 80...100% і в 1,5...2,0 рази скорочуються витрати металу на ливникову систему внаслідок того, що в одній формі можна виготовляти десятки виливків.

Технологічний процес полягає в тому, що за нерознімною легкоплавкою моделлю виготовляють нерознімну разову ливарну форму, модель із якої потім витоплюють, а в утворену порожнину заливають метал. Для формування використовують кварцову пудру (маршаліт).

Попередньо виготовляють *легкоплавкі моделі* з модельної маси, до складу якої входять легкоплавкі матеріали (парафін, стеарин, віск, церезин, каніфоль). При цьому доведено до тістоподібного стану модельну масу шприцом запресовують у металеву рознімну форму, яка дає точний відбиток майбутнього виливка з усіма внутрішніми порожнинами. Моделі стояка і живильників також виготовляють із модельної маси. Потім легкоплавкі моделі (кілька штук або десятків) припаюють до загального стояка, утворюючи блок моделей (рис. 19.7, а).

Нанесенням вогнетривкого покриття, занурюючи блок легкоплавких моделей у суміш із 60...70% маршаліту і 30...40% гідролізованого етилсилікату виготовляють *оболонкову ливарну форму* (рис. 19.7, б). На моделях утворюється тонкий шар вогнетривкої суміші. Цей блок посипають кварцовим піском і дають покриттю висохнути; занурення у вогнетривку суміш, повторюють ще 3 – 5 разів щоразу із наступним сушінням. Під час наступної операції – витоплювання легкоплавких моделей із вогнетривкої оболонки (форми) – блок моделей з оболонкою занурюють у гарячу воду або поміщають у сушильну камеру. Модель та елементи ливникової системи витоплюються і витікають із форми.

Надалі оболонку заформовують у металеві ящики сухим піском і поміщають у термічну піч, де випалюють при температурі 800...900°C для підвищення її міцності.

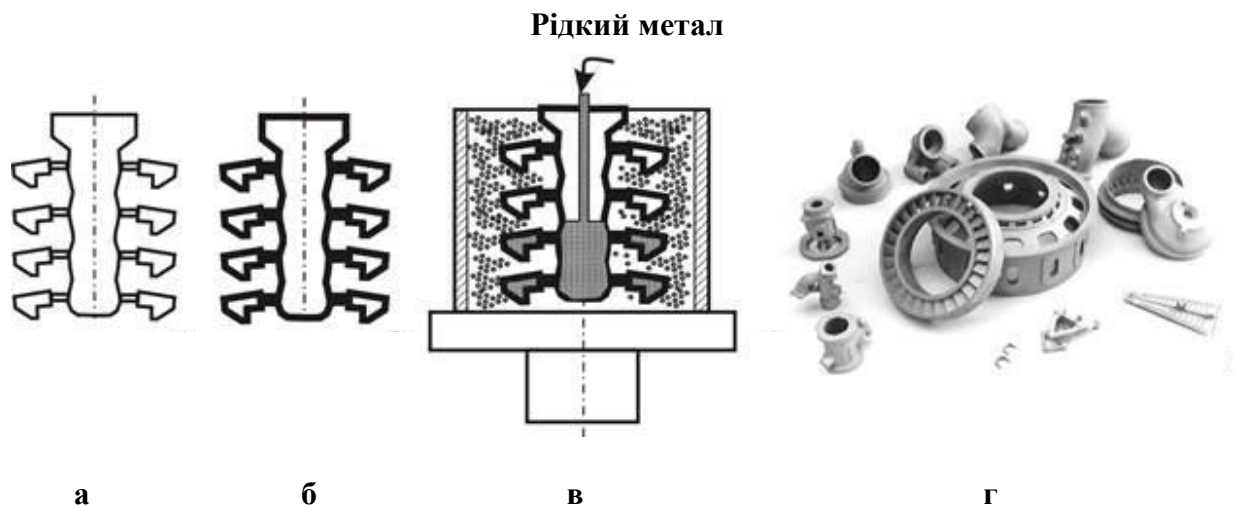


Рисунок 19.7 – Схема виливання за виплавлюваними моделями: а – блок воскових моделей; б – оболонкова ливарна форма; в – процес заливання металу; г – заготовки, отримані цим способом

Після випалення оболонки відразу заливають рідкий метал у гарячу форму, що дає можливість виготовляти тонкостінне литво (рис. 19.7, в). За допомогою вібраційних машин виливки вибивають з форм із відокремлюють від ливникової системи.

Заключною операцією є вилуговування залишків оболонки при температурі близько 120°C у ванні з лужним розчином і наступним промиванням виливків у воді.

2.8. Лиття за витоплюваними моделями

Для виробництва основних виливків масою до 3,5 т із чавуну, сталі та кольорових сплавів в індивідуальному виробництві досить рідко використовують випалювані моделі. Для виготовлення випалюваних моделей застосовують пінополістирол, який легким, легко розрізається і склеюється. Випалювані моделі найбільш складної конфігурації отримують склеюванням полістиролу. Цей метод відзначається великою точністю та економією металу, оскільки модель не має формувальних уклонів.

Пінополістиролову модель 2 із ливниковою системою розміщують в опоці 4 з формовою сумішшю 3 (рис. 19.6, в). Рідкий метал випалює їх і водночас заповнює порожнину форми.

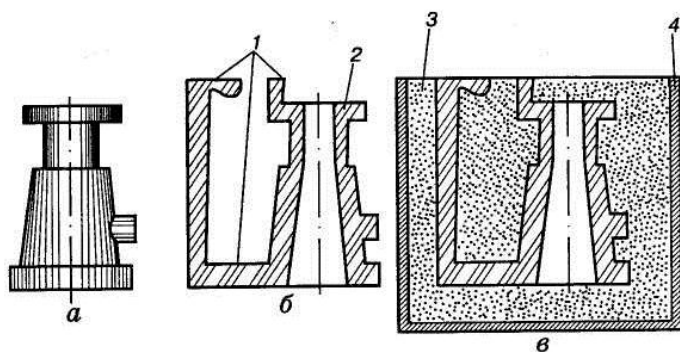


Рисунок 19.6 – Схема виготовлення виливків за випалюваними моделями: а – модель деталі; б – модель деталі з ливниковою системою; в – опока з моделлю та ливниковою системою

3. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ

1. Ознайомитися з технологією ливарного виробництва.
2. Отримати свій варіант за таб. 19.1.
3. Підібрати та описати технологічний процес виготовлення фасонної деталі згідно зі своїм варіантом.

4. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Із яких етапів складається технологія виготовлення відливків у піщано-глиняні формі?
2. Залежно від чого вибирають склад формової та стрижневої сумішей?
3. У якій послідовності конструюють модель відливка?
4. Які агрегати застосовують для розплавлення чавуну, сталі, алюмінієвих і мідних сплавів?

5. У чому відмінність лиття в кокіль від інших способів лиття?
6. Що таке лиття за витоплюваними моделями?
7. У яких випадках використовується електрошлакове лиття?
8. Описати технологію виготовлення відливків за випалюваними моделями.

Таблиця 19.1 – Індивідуальні завдання

№ з/п	Вид матеріалу	Найбільший габаритний розмір, мм	№ з/п	Вид матеріалу	Найбільший габаритний розмір, мм
1	МЛЗ	До 100	13	БрОЦС3-12-5	До 100
2	АЛ2	> 100	14	БрАЖН10-4-4Л	> 100
3	БрОЦСН3-7-5-1	До 100	15	КЧ 370-12	До 100
4	ЛА67-2Д	> 100	16	МЛ2	> 100 до 630
5	КЧ 330-8	До 100	17	ЛАЖ60-1-1	> 630
6	ЛАЖ60-1-1Л	> 100 до 630	18	ВЧ 450-5	До 630
7	ВЧ 1200-4	> 630	19	БрОЦС3-12-5	630...4000
8	КЧ 370-12	До 630	20	ВЧ 600-2	> 4000
9	БрАМц10-2	> 630 до 4000	21	АЛ4	До 100
10	ВЧ 450-5	> 4000	22	ВЧ 600-2	> 100
11	КЧ 630-2	До 100	23	ВЧ 1200-4	До 100
12	БрАЖ9-4Л	> 100	24	Г13Л	> 100

Практична робота № 20

ВИВЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

1. МЕТА РОБОТИ

1. Вивчити теоретичні відомості про зварювальне виробництво.
2. Набути практичних навичок підбирання способів зварювання.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

2.1. Способи зварювання

Фізична суть зварювання. Зварюванням називають виготовлення нерознімних з'єднань твердих матеріалів, що здійснюється з використанням міжмолекулярних і міжатомних сил зчеплення. Щоб привести ці сили в дію, слід зблизити атоми з'єднуваних матеріалів на відстані близько $4 \cdot 10^{-8}$ см, тобто на такі, що приблизно дорівнюють параметрам кристалічних ґрат цих матеріалів. Зазначеному процесу зближення сприяє нагрівання зварюваних поверхонь до розплавленого або пластичного стану і прикладання механічного зусилля

стискання. Зварювання часто використовують для виготовлення нерознімних з'єднань металевих виробів і конструкцій, для з'єднання деяких неметалевих матеріалів (пластмас, скла, деяких гірських порід, смол), а також металів із неметалевими матеріалами – керамікою, графітом, склом та ін.

Класифікація способів зварювання. Способи зварювання класифікують за формою введеної енергії, яка визначає клас зварювання. Усі процеси зварювання здійснюються з використанням двох форм енергії – термічної і механічної. З огляду на це зварювання поділяють на три класи: термічне, термомеханічне і механічне.

Термічне зварювання ґрунтується на частковому плавленні елементів з'єднання. При цьому кромки цих елементів (основний метал) і в більшості випадків додатковий (присаджений) метал нагрівають до рідкого стану, утворюючи загальну зварювальну ванну. Після віддалення джерела теплоти метал ванни затвердіває, утворюючи зварний шов, який з'єднує зварювані елементи. До термічного класу належать такі види зварювання: дугове, електрошлакове, плазмово-променеве, індукційне, електронно-променеве, газове, термітне та ін.

За умови *термомеханічного зварювання* зварне з'єднання утворюється нагріванням зварюваних деталей до пластичного стану або до початку плавлення і додатковим прикладанням механічних зусиль стискання. До цього класу належать дугопресове, газопресове, контактне, дифузійне, індукційно-пресове зварювання.

Механічне зварювання ґрунтується на використанні різних видів механічної енергії. Це холодне зварювання, зварювання тиском, тертям, вибухом, ультразвукове.

За ступенем механізації зварювання поділяють на ручне, напівавтоматичне й автоматичне.

Крім того, кожен вид зварювання може бути розгорнутий за технічними і технологічними ознаками. Наприклад, дугове зварювання можна виконувати дугою прямої або опосередкованої дії, плавким або неплавким електродом, із захистом металу газом, флюсом або іншим способом.

Найважливішими видами зварювання є дугове, контактне і газове.

2.2.Електричне дугове зварювання

Залежно від способу включення до зварювального кола основного й присадного металу і характеру впливу на них зварювальної дуги розрізняють такі основні способи дугового зварювання: неплавким вугільним електродом (спосіб Бенардоса), плавким металевим електродом (спосіб Слав'янова) і плавкими металевими електродами з використанням трифазної дуги.

За способом Бенардоса (рис. 20.1, а) дуга постійного струму при прямій полярності (мінус на електроді, плюс на виробі) горить між вугільним або графітовим електродом 3 і зварюваним виробом 1. Присадний метал 2 у зварювальне коло не включено, тому дуга діє прямо тільки на основний метал, а

на присадний – побічно. За зворотної полярності, тобто коли електрод стає анодом (плюс на електроді), а виріб – катодом (мінус на виробі), вугільна дуга стає нестійкою і відбувається науглецьовування металу.

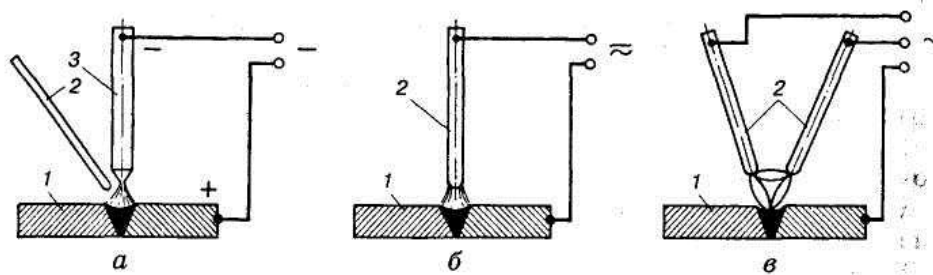


Рисунок 20.1 – Схеми електричного дугового зварювання: а – способом Бенардоса; б – способом Славянова; в – із використанням трифазної дуги

Зварювання способом Бенардоса застосовують переважно для наплавлювання порошкоподібними твердими сплавами деталей, які швидко спрацьовуються, і виправлення дефектів у чавунних і бронзових виливках.

За способом Славянова (рис. 20.1, б) дуга постійного (при прямій чи зворотній полярності) або змінного струму горить між плавким металевим електродом 2 і зварюваним виробом 1, які включені у зварювальне коло і на які вона діє прямо. Електрод, включений у зварювальне коло, значно інтенсивніше нагрівається і швидко плавиться, оскільки поверхню його торця безпосередньо бомбардують електрично заряджені частинки. Розплавляючись дугою, електрод водночас є присадним металом, який постійно поповнює зварювальну ванну. За обсягом промислового застосування дугове зварювання способом Славянова займає одне з перших місць серед інших способів зварювання.

У разі зварювання трифазною дугою (рис. 20.1, в) до різних фаз трифазного струму у зварювальне коло ввімкнені два ізольованих один від одного електроди 2 і зварюваний виріб 1. Дуга збуджується між електродами та виробом і електродами, отже, одночасно виникають три дуги. При цьому на кожен з електродів і на основний метал дві дуги діють прямо, а одна дуга – побічно.

Зварювання трифазною дугою за продуктивністю в 2 – 3 рази перевищує дугове зварювання способом Славянова. Цей спосіб здебільшого використовують у разі автоматичного зварювання металу великої товщини.

Фізична суть дуги. Зварювальна дуга – це потужний електричний розряд у газах, який супроводжується виділенням значної кількості теплоти і світла. Із фізичної точки зору – це складний іонний і електронний процес перенесення електричних зарядів крізь іонізований повітряний проміжок. Іонізація газового проміжку за умов дугового зварювання в основному зумовлена електронною емісією з гарячого катода. Основний метал та електрод у місці стискання зі стовбом дуги (температура 6000°C) швидко розплавляються та утворюють ванну рідкого металу.

2.3. Автоматичне і напівавтоматичне зварювання під флюсом

Галуззю раціонального застосування цього способу є зварювання вуглецевих низьколегованих і деяких марок високолегованих сталей. Інколи цей спосіб використовується для зварювання деяких кольорових металів і сплавів на їх основі.

Під час зварювання дуга горить у пузирі з розплавленого флюсу, який товстим шаром (40 – 60 мм) насипається на стик зварюваних металів (рис. 20.2, г).

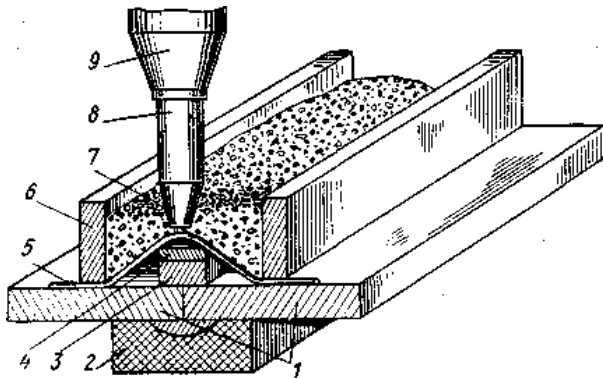


Рисунок 20.2 – Схема автоматичного зварювання міді вугільним електродом під шаром флюсу: 1 – деталі, що зварюються; 2 – графітова підкладка; 3 – присадний метал; 4 – латунна смуга; 5 – мідні дроти; 6 – захисні планки; 7 – флюс; 8 – вугільний електрод; 9 – зажимний та струмопровідний пристрій автоматичної головки

Оскільки дуга закрита розплавленим і нерозплавленим порошкоподібним флюсом, то густина струму порівнянно зі зварюванням відкритою дугою без небезпеки розбризкування металу може бути збільшена в декілька разів, що зумовлює значне (у декілька разів) збільшення продуктивності процесу.

Живлення дуги може здійснюватися як змінним, так і постійним струмом.

2.4. Дугове зварювання в захисних газах

Суть способу *зварювання в захисних газах* полягає в тому, що для захисту розплавленого металу від шкідливої дії кисню й азоту повітря в зону дуги, яка горить між зварюваним виробом і плавким або неплавким електродом, крізь сопло пальника безперервно подається струмінь захисного газу, що відтискає повітря від місця зварювання. У деяких випадках зварювання відбувається в герметичних камерах, заповнених захисним (інертним) газом.

Як захисні використовують одноатомні, або інертні, гази (аргон і гелій), які не взаємодіють із розплавленим металом, і активні гази (вуглекислий газ, водень, азот, пари води їхні суміші – аргон із киснем, аргон з азотом або вуглекислим газом, вуглекислий газ із киснем тощо), які частково взаємодіють із розплавленим металом.

Інертні гази використовують для зварювання хімічно активних металів, а також тоді, коли потрібно отримати зварні шви, однорідні зі складом основного і присадного металів.

Активні гази використовують, коли задані властивості металу можна забезпечити металургійною обробкою, наприклад відновленням, окисненням.

Аргонодугове зварювання. Для цього виду зварювання використовують аргон, який добувають із повітря, де його міститься близько 1%. Транспортують і зберігають аргон у балонах місткістю 40 л під тиском 15 МПа.

Постійним струмом на прямій полярності зварюють корозієстійкі й жароміцні сталі, мідь і її сплави, нікель і його сплави, титан, цирконій, молібден та деякі інші метали завтовшки 0,1...6,0 мм.

Змінним струмом зварюють алюміній, магній і їхні сплави. При цьому в ті напівперіоди, коли катодом є виріб, його поверхня бомбардується важкими позитивними іонами аргону і відбувається так зване катодне розпилення тугоплавких оксидних плівок алюмінію або магнію. Тому немає потреби в застосуванні флюсів для їх видалення.

Зварювання у вуглекислому газі характеризується високою продуктивністю і низькою вартістю, унаслідок чого цей спосіб дедалі частіше застосовується для зварювання маловуглецевих, низьколегованих і деяких високолегованих сталей. Вуглекислий газ для зварювання добувають із відхідних газів хімічного виробництва. Поставляють його в зрідженому стані в сталевих балонах місткістю 40 л, в яких під тиском 7,5 МПа міститься 25 л рідкої вуглекислоти. У разі її випаровування утворюється 12 750 л вуглекислого газу.

Зварювання у вуглекислому газі здійснюють плавким електродом переважно напівавтоматичним способом. Живлення зварювальної дуги йде від джерела постійного струму із жорсткою або зростальною зовнішньою характеристикою при зворотній полярності.

Плазмове зварювання є різновидом аргонно-дугового зварювання. На відміну від аргонно-дугового, де дуга між електродом і виробом горить у потоці аргону за плазмового зварювання дуга обстискається потоком газу, що проходить крізь вузький отвір у пальнику, що називається плазмотроном.

Обтискання дуги приводить до підвищення температури її стовпа: для дуги, що вільно горить, ця температура становить близько 5730°C, у разі горіння стислої дуги температура підвищується до 14730...24730°C. Унаслідок цього зростає і ступінь іонізації газу, що у свою чергу створює вищу ефективність локального нагрівання зварюваного металу.

Разом із плазмоутворювальним крізь пальник подається також захисний газ, що забезпечує надійну ізоляцію зони зварювання від контакту з повітрям. Плазмове зварювання застосовується для з'єднання тих самих матеріалів, що й аргонно-дугове.

2.5. Електрошлакове зварювання

Суть електрошлакового зварювання полягає в тому, що розплавлений флюс утворює так звану шлакову ванну, яка є провідником електричного струму. Під час проходження струму крізь розплавлений флюс - шлак виділяється теплова енергія, яка підтримує температуру шлаку близько 1730°C, тобто вище за температуру плавлення основного (зварюваного) й електродного металу. У

результаті електродний дріт, що подається з певною швидкістю в зону зварювання, і кромки основного (зварюваного) металу розплавляються, унаслідок чого утворюється металева ванна, після затвердіння якої виникає шов.

Розплавлений основний метал, шлакова і металева ванна утримуються від витікання спеціальними формувальними пристроями – рухомими (мідними водоохолоджувальними повзунами) та нерухомими (мідними водоохолоджувальними шинами).

За будь-якої товщини металу зварювання здійснюється за один прохід, що в разі виготовлення конструкцій із товстого металу в багато разів підвищує продуктивність порівняно з будь-яким іншим способом зварювання, тому галуззю раціонального застосування є отримання зварних з'єднань на металі великої товщини.

2.6. Електронно-променеве зварювання

У разі зварювання електронним променем метал нагрівають сфокусованим пучком електронів, які прискорюються електричним полем високої напруги. У разі потрапляння цього пучка на виріб близько 99% кінетичної енергії електронів перетворюється на теплову.

Температура металу в місці нагрівання фокусною точкою перевищує 6000°C . Зварювання проводять у герметичних камерах 1 (рис. 20.3), в яких підтримують високий вакуум близько $133 \cdot 10^{-6}$ Па або здійснюють у середовищі проточного інертного газу.

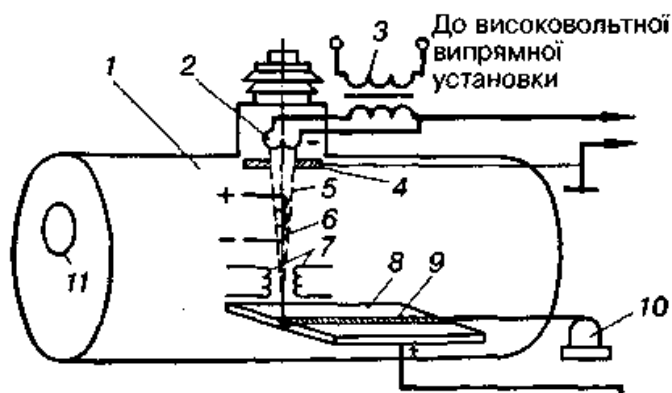


Рисунок 20.3 – Схема електронно – променевого зварювання: 1 – камера; 2 – катод; 3 – трансформатор; 4 – анод; 5 – потік електронів; 6 –фокусувальна лінза; 7 – електромагнітна котушка; 8 – деталь; 9 – металевий шов; 10 – електропривід

Джерелом випромінювання електронів є розжарений катод у вигляді вольфрамової спіралі 2, що живиться від низьковольтного трансформатора 3. Для прискорення руху електронів від розжареного катода на деякій відстані від нього є прискорювальний анод 4 із центральним отвором. Напруга, яку одержують у спеціальних трансформаторах із випрямним устаткуванням, між катодом і анодом становить від 10...35 до 150 кВ. У разі нагрівання катода до температури 2400°C і під дією прискорювального електричного поля високої напруги з його поверхні випромінюється потужний потік електронів 5. На шляху до виробу 8 він проходить крізь фокусувальну лінзу, яка є електромагнітною котушкою 6. Фокусуванням і зміною сили струму електронний промінь може бути

сфокусований на площі 0,1...20,0 мм² відхильною системою, яка також складається з кількох електромагнітних котушок 7. Фокусну точку можна переміщувати по поверхні в різних напрямках, усередині камери пересувають зварювальні деталі за допомогою електроприводу 10, розміщеного поза камерою.

Спостерігають за процесом зварювання крізь спеціальне оглядове вікно 11. Електронним променем зварюють низько- та високолеговані сталі, тугоплавкі (вольфрам, молібден, тантал), активні (уран, цирконій, берилій) і різномірні (алюміній із міддю) метали та їхні сплави. За один прохід можна зварювати метал завтовшки 0,01... 100,00 мм і більше. Зварні з'єднання мають високу якість і дзеркально гладку поверхню металу шва 9.

Зварювання електронним променем у вакуумі використовують здебільшого в приладобудівній промисловості.

2.7.Лазерне зварювання

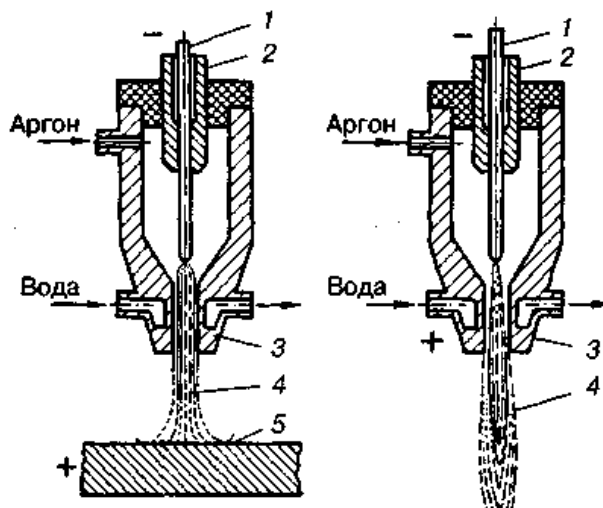


Рисунок 20.4 – Схема лазерного зварювання: 1 – рубіновий стрижень; 2 – ксенонова лампа; 3 – холоджувальна система; 4 – світловий потік; 5 – деталь

Для лазерного зварювання джерелом теплової енергії є потужний сконцентрований світловий промінь, який утворюють спеціальні установки, що називаються лазерами. Сьогодні здебільшого використовуються рубінові лазери зі штучним рубіном, до складу якого входить оксид алюмінію Al_2O_3 і невелика домішка оксиду хрому Cr_2O_3 . Такий лазер складається з циліндричного рубінового стрижня 1 (рис. 20.4), ксенонової лампи 2, лінзи 3 та охолоджувальної системи. Торці стрижня відполіровані й посріблені. Під час спалаху ксенонової лампи, яка живиться розрядним струмом конденсаторів, атоми хрому рубінового кристала переходять із

нормального в збуджений стан. Однак через кілька мілісекунд вони знову повертаються в попередній стан, хаотично випромінюючи фотони червоного світла. Потік їх уздовж осі стрижня спричиняє випромінювання нових фотонів, які поперемінно відбиваються від дзеркальних торцевих граней, збільшуючи тим самим інтенсивність загального випромінювання. У разі накопичення певного об'єму фотонів вони у вигляді потоку червоного світла прориваються крізь напівпрозорий торець стрижня назовні.

Пройшовши крізь лінзу 3, сфокусований потік 4 потрапляє на виріб 5. Тривалість імпульсу випромінювання лазерного променя дорівнює тисячним і мільйонним часткам секунди. Лазерним променем в окремих точках можна зварювати різні метали завтовшки до 0,5 мм. Його використовують для

виготовлення отворів у твердих сплавах, тугоплавких металах, алмазах, рубінах, для термообробки різального інструменту.

Великою перевагою лазерного зварювання є можливість проведення процесу як у вакуумі, так і в захисних газах, що дозволяє одержати високоякісні зварні з'єднання не тільки на звичайних вуглецевих і низьколегованих, але й на високолегованих сталях, а також кольорових металах і спеціальних сплавах.

2.8. Газове (газо-кисневе) зварювання

У разі газового зварювання кромки металу, що підлягають зварюванню, нагріваються до розплавлення теплом екзотермічної реакції, що відбувається в полум'ї газового пальника між горючим газом (як правило, ацетиленом) і киснем (рис. 20.5). Ацетилен (C_2H_2) одержують із карбіду кальцію внаслідок його взаємодії з водою:

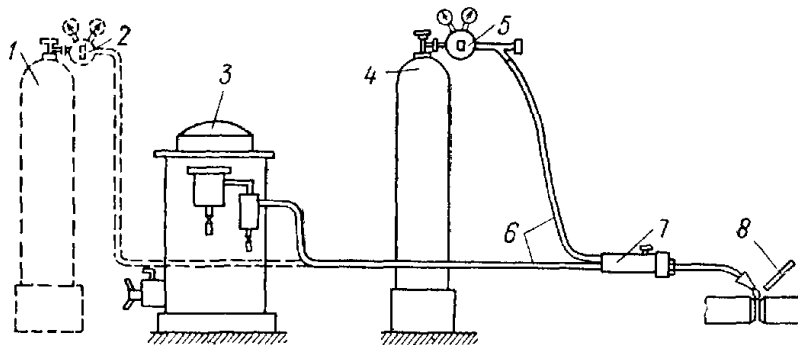
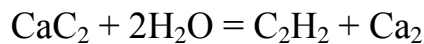
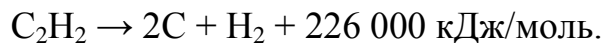


Рисунок 20.5 – Схема газового зварювання: 1 – балон з ацетиленом (за газобаллоного варіанта); 2 – ацетиленовий редуктор; 3 – газогенератор (за газогенераторного варіанта); 4 - балон із киснем; 5 – кисневий редуктор; 6 – гумотканинні рукави; 7 – пальник або різак; 8 – присадочний дріт

Ацетилен спалюється разом із киснем за допомогою спеціального пальника. Процес підготовки ацетилено кисневої суміші до горіння і власне горіння можна розділити на три стадії:

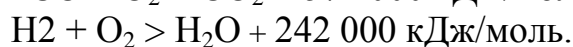
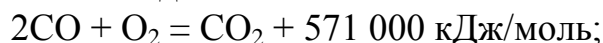
1 – ша стадія: підготовка пального до згорання (розпад вуглеводню):



2 – га стадія: окиснення вуглецю:



3 – тя стадія: остаточне окислення оксиду вуглецю і водню:



Структура полум'я під час горіння ацетилену разом із киснем характеризується наявністю трьох зон: ядра, середньої зони і факела. Найвища температура ($2730...3230^\circ C$) спостерігається в середній зоні, тому під час

зварювання пальник розташовують таким чином, щоб ядро полум'я торкалося поверхні зварювальної ванни.

Газове зварювання застосовується як для виготовлення виробів з тонколистової сталі, так і при зварюванні чавуну (під час ремонтних робіт) і деяких кольорових металів і сплавів на їх основі.

2.9. Термітне зварювання

Термітне зварювання здійснюється завдяки тепловій енергії, що виділяється під час обмінної реакції компонентів терміту – суміші оксидів заліза (~80%) і подрібненого алюмінію (~20%):



де $Q_1 = 3344$ кДж/кг; $Q_2 = 3553$ кДж/кг. Терміт завантажується в спеціальний тигель, що сполучається з формою, яка облягає зварюваний стик (рейок, сталевих приводів, гребних валів човнів та інших виробів), і підпалюється магнієвими або електричним запалом. У результаті горіння перегрітий метал затікає у стик, а шлак, що утворився, випускають у спеціальну посудину — приставку.

Окрім термітного зварювання плавленням, у деяких випадках застосовують зварювання тиском, яке відрізняється тим, що розігріті й оплавлені шлаком кромки з'єднаних деталей, здавлюють спеціальним пристроєм.

Алюмінієвий терміт широко застосовується для зварювання рейок трамвайних і залізничних шляхів, магнієвий терміт – для зварювання сталевих дротів зв'язку.

2.10. Технологія зварювання чорних металів

Зварювання вуглецевих сталей. Низьковуглецеві сталі, що містять до 0,25% вуглецю, добре зварюються будь – якими способами. Зварні з'єднання при цьому легко обробляються різальним інструментом. Зварювання слід проводити з попереднім підігріванням за максимально допустимих режимів.

У раз зварювання середньовуглецевих сталей (0,3 – 0,5%) для отримання якісних з'єднань перед зварюванням необхідне підігрівання виробу до 200...350°C.

Високовуглецеві сталі, використовують для виготовлення різального, бурильного й іншого інструменту. Технологія зварювання цих сталей передбачає обов'язкове попереднє підігрівання до 350...400°C, іноді супутнє підігрівання і подальшу термічну обробку. Зварювання проводять вузькими валиками невеликими ділянками.

Зварювання легованих сталей. Леговані сталі вирізняються підвищеними значеннями коефіцієнтів теплового розширення та меншою теплопровідністю, що під час зварювання може призводити до перегрівання та утворення деформацій.

Для запобігання появі тріщин необхідне попереднє підігрівання виробу перед зварюванням до 100...350 °С.

Хромисті сталі зварюють за допомогою газового зварювання нормальним полум'ям зниженої потужності з попереднім підігріванням і застосуванням присадного дроту того самого складу, що й основний метал. Зварювання проводять швидко, без повторного нагрівання, із застосуванням флюсів.

Дугове зварювання хромистих сталей здійснюють спеціальними електродами за зниженої сили струму та зворотної полярності. Після зварювання проводять термообробку.

Хромонікелеві сталі з'єднують газовим, дуговим, контактним і аргонно-дуговим зварюванням. Застосовують зварювальний дріт того самого складу, що й основний метал, флюси та якісні електроди. Додатково проводиться термічна обробка.

Марганцеву сталь із вмістом 11...14% марганцю та до 1,3% вуглецю в основному зварюють дуговим зварюванням низьковуглецевими або легованими електродами зі спеціальним покриттям.

Зварювання чавуну. Чавун зварюють як правило тільки під час ремонтно-відновних робіт і виправлення дефектів у чавунних відливках. Чавун можна зварювати дуговим зварюванням металевим або вугільним електродами, газовим або термітним зварюванням і заливанням рідким чавуном.

Залежно від структури зварюваної деталі застосовують три способи зварювання чавуну: холодне, напівгаряче і гаряче.

Холодне зварювання проводять без підігрівання зварюваних деталей, напівгаряче – із повним або місцевим підігріванням до температури 300...400 °С, гаряче – із повним нагріванням до 600...800 °С. Холодне зварювання застосовують найчастіше.

Зварювання сталевими електродами застосовують під час ремонту неосновних чавунних виробів невеликих розмірів із малим об'ємом наплавлення, що не вимагають механічної обробки після зварювання. Зварне з'єднання є неоднорідним за структурою, часто не має достатньої щільності й має низьку міцність.

Сталевими електродами зі спеціальним покриттям зварюють вироби нескладної форми, середніх розмірів і маси, із товщиною стінок до 15 мм, що працюють за незначних статичних і ударних навантажень. Зварне з'єднання є неоднорідним за структурою, проте метал зварного шва за складом і властивостями подібний до сірого чавуну. Цей метод зварювання придатний для заварки ливарних дефектів із невеликим об'ємом наплавлення.

Зварювання електродом з монель-металу (мідно-нікелеві стрижні) застосовують для заварювання дефектів лиття, розташованих у невідповідальних місцях відливання. Зварний шов добре обробляється різальним інструментом.

Зварювання електродами з нікелевого аустенітного чавуну застосовують для виправлення дефектів у відливках.

У разі ремонту чавунних деталей у холодному стані в більшості випадків застосовують газове паяння. Воно характеризується тим, що присадка або припій розплавляються, а метал деталі залишається нерозплавленим.

3. ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ

1. Вивчити теоретичні положення про технологію зварювального виробництва.

2. Ознайомитися з колекцією зварних швів та електродів для різних видів зварювання.

3. Підібрати відповідно до індивідуального завдання (табл. 20.1) спосіб зварювання.

4. Детально описати вибрану технологію, устаткування і режими зварювання з обґрунтуванням свого вибору.

Таблиця 20.1 – Індивідуальні завдання

№ варіанту	Вид матеріалу	Товщина матеріалу, мм	Тип зварного з'єднання
1	30ХГС	4	Кутовий
2	14Г2АФ	5	Прорізний
3	ВЧ 1200-4	7	Накладний
4	08Х13	9	Кутовий
5	ВЧ 450-5	10	Стиковий
6	25Н25М4Г1	2	Таврове
7	12Х1МФ	4	Прорізний
8	КЧ 370-12	5	Кутовий
9	12Х18Н10Т	7	Кутовий
10	30ХГСН2А	8	Стиковий
11	ВЧ 600-2	10	Таврове
12	60С2Н2А	2	Прорізний
13	40Х13	4	Стиковий

4. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. У чому перевага зварювання в захисних газах порівнянно з іншими способами зварювання?

2. У чому суть електронно-променевого зварювання?

3. Поясніть принцип газового зварювання.

4. Для яких металів застосовують плазмове зварювання?

5. Які прилади застосовують для лазерного зварювання?

6. Опишіть процес імпульсно-дугового зварювання.

7. Які переваги відрізняють зварювання під флюсом від інших способів?
8. У чому суть електричного контактного зварювання?
9. Назвіть основні способи контактного зварювання?
10. Які види зварювання застосовують для легованих сталей?
11. Якими способами зварюють машинобудівні чавуни?

Практична робота № 21

СПЕЦІАЛЬНІ ВИДИ ЗВАРЮВАННЯ

1. МЕТА РОБОТИ

1. Вивчити теоретичні відомості про зварювальне виробництво.
2. Набути практичних навичок підбору способів зварювання.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

2.1. Холодне зварювання пластичних металів

Для отримання у зварному з'єднанні таких самих енергетичних зв'язків, як і у зварюваному матеріалі, необхідно граничні шари вузлів кристалічних ґрат однієї зварюваної деталі наблизити до граничних шарів ґрат іншої деталі на такі відстані, за яких між ними виникає єдине енергетичне поле. Проте навіть на очищених поверхнях металу завжди є оксиди, товщина шару яких більша за необхідні для зварювання відстані, тому для зближення поверхонь треба зруйнувати ці плівки. Це можна зробити, локалізуючи пластичну деформацію так, щоб витіснити із зони контакту ці плівки. Такий тип зварювання застосовується для з'єднання пластичних металів: свинцю, алюмінію, міді.

На практиці використовують два різновиди холодного зварювання: точкове і стикове. За точкового холодного зварювання листи металу з ретельно зачищеними поверхнями місць зварювання поміщають між пуансонами 2 (рис. 21.1) із робочою частиною – виступами 3.

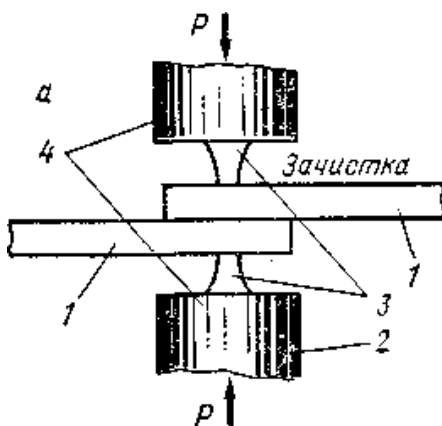


Рисунок 21.1 – Схема точкового холодного зварювання: 1 — зварювані деталі; 2 – пуанسونи, 3 – виступи на пуансонах; 4 – опорні поверхні пуансонів

Пресом, що стискає пуансони зусиллям P , виступи 3 втискаються в метал на всю їх висоту, поки опорні поверхні 4 не стиснуть метал. Цим забезпечується потрібна пластична деформація й утворюється зварна точка.

У місцях втискання залишкова товщина має становити лише частину сумарної товщини листів. Для отримання якісного зварного з'єднання необхідно, щоб залишкова товщина мала певну величину: для алюмінію, наприклад, вона мусить становити 30...40%, для міді – 14%.

На рис. 21.2 наведено схему процесу стикового холодного зварювання. Стрижні 1, які підлягають зварюванню, затискають у губках машини 2. Під час осадження в результаті стискання правий і лівий затискачі зближують до зіткнення, а гострий край затискача, як ніж, зрізає зайвий витиснутий метал – грати. Осідаючи, затискачі, що зближуються, ускладнюють рух металу і збільшують тиск осідання. Метал стрижнів, що деформується, заповнює насічки 3, які відіграють роль ущільнювача і заважають прослизанню металу в губках. Величина питомого тиску для перебігу пластичної деформації має бути достатньо великою: для алюмінію, наприклад, 500...700 МПа, для міді ще більше.

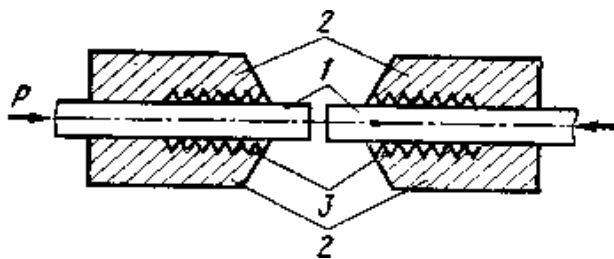


Рисунок 21.2 – Схема стикового холодного зварювання: 1 – деталі, що з'єднуються; 2 – затискачі (губки машини); 3 – насічки на губках

Холодним зварюванням можна з'єднувати різні метали. Широко практикується, наприклад, облицювання алюмінієвих шин у місцях контакту в розподільних пристроях електростанцій листовою міддю для поліпшення якості з'єднань.

2.2. Електричне контактне зварювання

За формою з'єднань розрізняють три основні види контактного зварювання: стикове, точкове і шовне або роликкове (рис. 21.3).

За стикового зварювання (рис. 21.3, а) через стик деталей, що з'єднуються, пропускають електричний струм. Після розігрівання зони зварювання проводиться осадження.

За точкового зварювання (рис. 21.3, б) деталі, що з'єднуються, найчастіше листи, збирають внапуск і затискають між двома мідними електродами у формі усіченого конуса, які охолоджуються зсередини проточною водою та через які підводять струм до місця зварювання. Електричний струм проходить від одного електрода до іншого крізь товщу металів, що з'єднуються, відбувається їх місцеве нагрівання (аж до температури розплавлення). Тиском P , прикладеним до

електродів, проводять осадження. Одержане зварне з'єднання в плані має форму плями діаметром у декілька міліметрів.

У разі шовного зварювання електроди, які підводять струм до виробу та здійснюють стискання, мають форму роликів, що котяться по виробу. У зв'язку з цим зазначений різновид контактного зварювання називають також роликівим (рис. 21.3, в). Унаслідок шовного зварювання листи з'єднуються безперервним щільним швом.

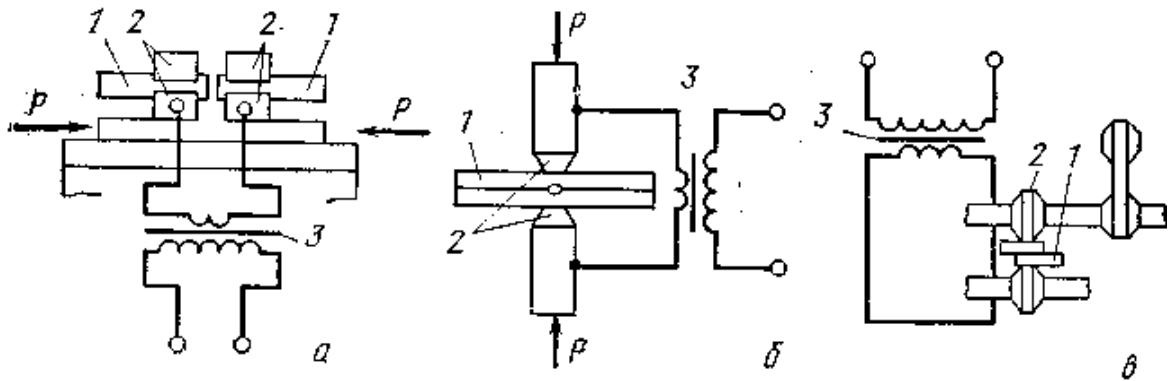


Рисунок 21.3 – Види контактної зварювання: а – стикове; б – точкове; в – шовне; 1 – деталі, що з'єднуються, 2 – електроди, 3 – зварювальний трансформатор

Усі різновиди електричного контактної зварювання широко використовують у промисловості, а в деяких галузях (наприклад, в автомобілебудуванні та ін.) застосовують найчастіше порівняно з іншими способами зварювання.

2.3. Ультразвукове зварювання.

Для зварювання ультразвуком використовують ультразвукові механічні коливання і невеликі стискальні зусилля. Ці коливання створюють за допомогою магнітострикційного ефекту, який полягає в здатності деяких металів і їхніх сплавів перетворювати електромагнітні коливання ультразвукової частоти (15...100 кГц) на механічні коливання тієї самої частоти. Магнітострикційний ефект мають сплави нікелю із залізом (пермалой), кобальту із залізом (пермендюр) та ін. Із них виготовляють магнітострикційні перетворювачі.

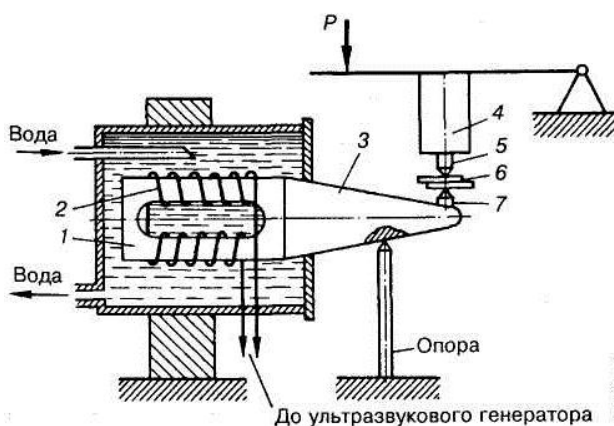
Високочастотні механічні коливання і статичні зусилля стискання спричиняють руйнування оксидних плівок у місці контакту двох виробів і великі пластичні деформації. У результаті цього між зварювальними поверхнями утворюється міцне з'єднання. Цей процес супроводжується підвищенням температури в місці з'єднання. Залежно від металу і режиму зварювання температура нагрівання становить 200...1200°C.

На ультразвукових зварювальних установках роблять внапуск точкові й шовні з'єднання з різних однорідних і різнорідних металів та їхніх сплавів завтовшки 0,01...1,00 мм. Добре зварювати цим методом мідь, алюміній і його

сплави, титан, цирконій, тантал, нікель і багато інших високопластичних металів та їхніх сплавів; гірше – маловуглецеві, жароміцні та інструментальні сталі, магнієві сплави.

Ультразвуком міцно зварюють не тільки метали, а й різні неметалеві матеріали, наприклад: хлорвініл, поліетилен, капрон, нейлон, органічне скло тощо.

Схему установки, що використовується для точкового зварювання ультразвуком, показано на рис. 21.4. У момент підключення обмотки 2 до джерела струму високої частоти в магнітострикційному перетворювачі 1 утворюються пружні механічні коливання, які хвилеводом 3 передаються через нижній



електрод 7 на зварювані вироби 6. Зусилля, яке стискає деталі, передається на верхній електрод 5 механізмом стиснення 4. Обмотка 2, що нагрівається струмами високої частоти, охолоджується проточною водою, яка подається в кожух перетворювача.

Під час точкового зварювання ультразвуком споживається приблизно в 10 – 15 разів менше енергії порівняно з точковим контактним зварюванням.

Рисунок 21.4 – Схема електрозвукового зварювання: 1 – магнітострикційний перетворювач; 2 – обмотка; 3 – хвилевід; 4 – механізм стиснення; 5 – верхній електрод; 6 – зварювані деталі; 7 – нижній електрод

2.4.Зварювання тертям

Зварювання тертям засноване на використанні для нагрівання деталей перетворення механічної енергії тертя в теплову. Цей спосіб застосовується для з'єднання стрижневих деталей, труб невеликого діаметра та інших подібних виробів. Зварювання роблять на спеціальних машинах, у затискачах яких закріплюють зварювані деталі. Одна з деталей залишається нерухомою, інша приводиться в обертання і торцем із певним зусиллям притискається до торця нерухомої деталі (рис. 21.5). Частота обертання деталі становить $500 \dots 1500 \text{ хв}^{-1}$. Унаслідок тертя торці деталей швидко розігріваються і через відносно нетривалий час оплавляються, автоматично вимикається фрикційна муфта, припиняючи обертання шпинделя; потім проводиться осадження деталей.

Спосіб є економічним і має високий ККД. Споживана потужність становить $15 \dots 20 \text{ Вт/мм}^2$, а витрати електроенергії в 7 – 10 разів менші, ніж за контактного стикового зварювання.

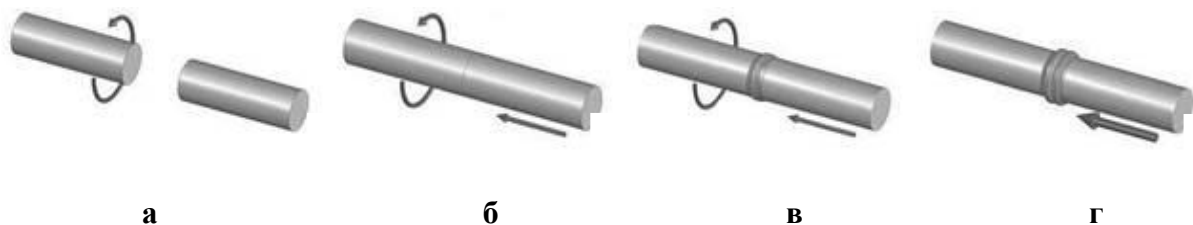


Рисунок 21.5 – Технологічний процес зварювання тертям: а – обертання заготовки; б – утворення зони контакту; в – розігрівання зони контакту внаслідок дії сил тертя; г – прикладання осьового зусилля

Спосіб дозволяє зварювати не тільки однорідні, але й різнорідні метали (наприклад: алюміній із міддю, алюміній зі сталлю мідь зі сталлю та ін.). Особливо ефективним є зварювання заготовок металорізального інструменту: свердел, мітчиків, різців та іншого інструменту з вуглецевої і швидкорізальної сталі.

2.5.Зварювання вибухом

Схему процесу наведено на рис. 21.6. На поверхню зварюваної деталі 3 рівномірним шаром розподіляється вибухова речовина 4 (тол, гексаген та ін.); маса вибухової речовини становить 10...20% від маси деталі; на нижньому краю ударної деталі розташовують детонатор 5. Нерухома деталь 2 для збільшення маси укладається на опорний фундамент 1. Деталь, що ударяє, розташовується під кутом 3...10° до поверхні деталі 2.

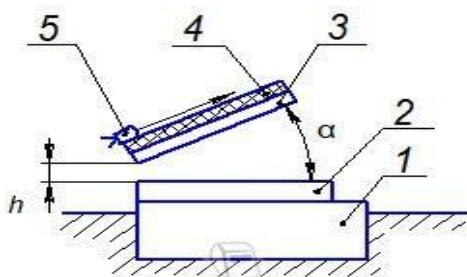


Рисунок 21.6 – Схема процесу зварювання вибухом: 1 – опорний фундамент; 2, 3 – зварювані деталі; 4 – шар вибухової речовини; 5 – детонатор; h – зазор між деталями; α – кут установлення деталей

Швидкість руху ударної деталі до моменту зіткнення досягає декількох сотень метрів на секунду. За таких швидкостей у зоні зіткнення метал деталей, що сполучаються, перетворюється на рідину і зливається в одне ціле, утворюючи монолітне з'єднання. Таким чином, вибух розповсюджується в напрямі стрілки (рис. 16) і відбувається як постріл листом 3 у плиту 1. Спочатку ударяється і приварюється до деталі 2 нижній край листа 3, потім зона зіткнення і зварювання переміщується вправо і лист повністю приварюється до деталі 2. Процес триває тисячні частки секунди.

Межа між деталями, що сполучаються, на макрошліфах має характерний вигляд хвилястої лінії. У такий спосіб можуть бути зварені різнорідні метали. Наприклад, до плити з вуглецевої сталі може бути приєднаний лист корозійностійкої сталі, нікелю, титану, міді, алюмінію.

Одержану внаслідок вибуху заготовку потім прокатують у листовий біметал. Зварювання вибухом може застосовуватися і для виготовлення інших виробів. Наприклад, можуть зварюватися стики труб або вварюватися мідні стрижні в пази роторів спеціальних швидкохідних електродвигунів, що працюють із частотою обертання десятки тисяч обертів за хвилину. За такої швидкості обертання будь-який інший спосіб закріплення обмотки не може забезпечити необхідну міцність.

2.8. Індукційне високочастотне зварювання

За цього способу кромки виробів, що підлягають зварюванню, нагріваються до необхідної температури внаслідок пропускання струму високої частоти і здавлюються. Використання струму високої частоти забезпечує концентрацію нагрівання біля поверхні зварюваних кромок унаслідок високого індуктивного опору. Схема зварювання труб з індукційним підведенням струму наведена на рис. 21.7. Струм високочастотного генератора підводиться до індуктора 2, який індуктує струм у заготовці труби 1. Для зменшення шунтування зварювального струму всередину заготовки вводиться феритне осердя 3, унаслідок чого опір шунтувальних шляхів для струму високої частоти стає дуже великим і майже весь струм проходить через зварюваний стик. Зварювальні кромки обтискаються рухомими роликми 4.

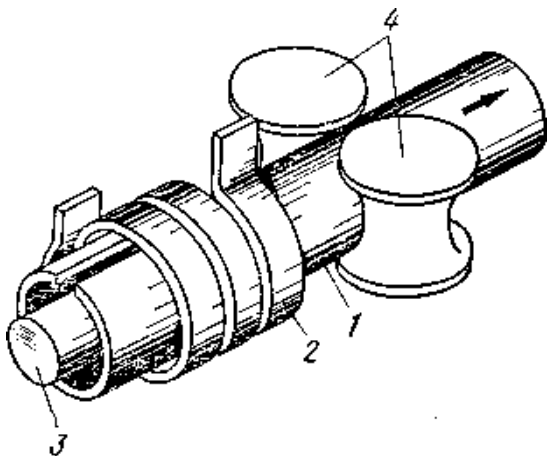


Рисунок 21.7 – Схема процесу індукційного зварювання труб: 1 – труба; 2 – індуктор, 3 – осердя; 4 – обтискові ролики

Такий трубозварювальний стан є досить продуктивним: труби діаметром 12...60 мм зварюються зі швидкістю до 50 м/хв. Живлення струмом здійснюється від високочастотних генераторів потужністю 160 кВт при частоті 440 і 880 кГц.

Виготовляються труби і великих діаметрів, наприклад 325 і 426 мм із товщиною стику 7...8 мм, зі швидкістю до 30...40 м/хв.

Виготовляються труби і великих діаметрів, наприклад 325 і 426 мм із товщиною стику 7...8 мм, зі швидкістю до 30...40 м/хв.

2.9. Технологія зварювання кольорових металів

Зварювання алюмінію і його сплавів. Основними ускладненнями під час зварювання алюмінію і його сплавів є утворення на поверхні розплавленого металу тугоплавкої плівки окислу алюмінію Al_2O_3 , що перешкоджає сплавленню між собою частинок металу; висока температура плавлення окислу алюмінію ($2050^{\circ}C$) і низька температура плавлення алюмінію ($658^{\circ}C$).

Висока теплопровідність алюмінію і його сплавів потребує застосування спеціальних технологічних прийомів, а за наявності масивних деталей – попереднього підігрівання.

Алюміній і його сплави зварюють за допомогою електродуги, аргонодугового та газового зварювання. Незалежно від способу зварювання, алюмінієві вироби попередньо проходять спеціальну підготовку, що полягає в знежиренні металу і видаленні з його поверхні плівки окислу алюмінію.

Зварні шви, зроблені дуговим і газовим зварюванням електродами з покриттями або із застосуванням флюсів, піддають подальшому промиванню у воді, оскільки шлак після зварювання на поверхні швів здатен інтенсивно розідати метал.

Для зварних з'єднань із дюралюмінію і силуміну після зварювання застосовують відпалювання при температурі 300...370°C із витриманням протягом 1,5...2,0 год. і подальшим повільним охолодженням. Вироби із загартованого дюралюмінію після зварювання рекомендується піддавати гартувати у воді після нагрівання до 500...510°C із подальшим старінням.

Зварювання міді. Зварювання міді є складним процесом унаслідок її високої теплопровідності, рідкоплинності, здатності сильно окиснюватися в нагрітому й особливо в розплавленому стані. Теплопровідність міді майже в шість разів більша за теплопровідність сталі та заліза.

Мідь зварюють ручним і автоматичним дуговим зварюванням, у середовищі захисних газів і газовим зварюванням.

Дугове зварювання. Ручне дугове зварювання міді виконують металевим або вугільним електродом. Як стрижні для електродів застосовують дріт із міді М1, дріт із кремнемарганцевої бронзи Бр. КМц3-1, литі стрижні з латуні Л90 або олов'яно-фосфористої бронзи Бр. ОФ4-0.25. Для виготовлення електродів використовують також мідь М2 і М3. На електродні стрижні наносять спеціальне покриття. Зварювання проводять за постійного струму зворотної полярності.

Зварювання в середовищі захисних газів. Мідь можна зварювати неплавким вольфрамовим або плавкими електродами в середовищі аргону або азоту. Як присадний метал застосовують прутки з міді М1, М2 та М3.

Зварювання міді плавким електродом також ведуть за постійного струму зворотної полярності. Як електродний матеріал застосовують дріт марок М1, Бр. КМц-3-1 і Бр. ОЦ 4-3.

Газове зварювання. Цей вид зварювання міді є найпоширенішим. Як присадний матеріал за умови зварювання металу завтовшки до 5 мм застосовують прутки з міді М1, М2, М3. У разі зварювання металів більшої товщини рекомендується застосовувати мідний дріт, що містить 0,2% Р і 0,15–0,30% Si або тільки 0,2 – 0,7% Р.

Зварювання латуні. Основним ускладненням під час зварювання латуні є випаровування цинку, що приводить до пористості зварного шва. Латунь можна зварювати ручним і автоматичним дуговим зварюванням, у середовищі захисних газів і газовим зварюванням.

Дугове зварювання проводять вугільним або металевим електродом. У разі зварювання вугільним електродом застосовують такі самі режими і флюси, що і під час зварювання міді. Як присадний метал використовують прутки з латуні ЛК 62 і ЛМЦ 40-4,5. Крім того, можна застосовувати прутки з латуні марок ЛК 80-3. Лмц 58-2, Лмцж 55-3-1 або бронзи Бр. Омца 8-0,7-0,7.

Ручне дугове зварювання металевим електродом застосовують здебільшого для металу завтовшки понад 5 мм за постійного струму прямої полярності. Електродні стрижні беруть такого самого хімічного складу, що і присадні прутки при зварюванні вугільною дугою.

Автоматичне дугове зварювання латуні металевим плавким електродом виконують на звичайних зварювальних автоматах за постійного струму прямої полярності. Можна застосовувати електродний дріт із латуні марок ЛК 62-0,5; ЛК 80-3, із бронзи марок Бр. ОЦ 4-3, Бр. КМц-3-1 або міді марок М1 М2, М3 діаметром 1,5...3,0 мм. Для зварювання застосовують флюси ОСЦ-45 або АН-34SA.

Латунь можна зварювати в середовищі аргону або гелію вольфрамовим електродом діаметром 1,4...4,8 мм за постійного струму прямої полярності. Режими зварювання аналогічні до режимів аргонодугового зварювання міді. В якості присадного металу застосовують прутки з латуні того самого хімічного складу, що і зварюваний метал, прутки з латуні ЛК 62-0,5 або бронзи Бр. ОЦ 4-3 і Бр. КМЦ 3-1.

Газове зварювання латуні є найпоширенішим. Режими зварювання і флюси використовуються ті самі, що і для міді. Найкращі результати отримано в разі застосування дроту ЛК 62-0,5.

Вироби з латуні завтовшки більше 10 мм перед зварюванням слід підігрівати до 300...500°C. Після зварювання шви проковують. Для поліпшення механічних властивостей додатково застосовують відпалювання при 600...700°C із подальшим повільним охолодженням.

Зварювання бронзи. Бронзу зварюють здебільшого під час виправлення дефектів у литих виробах. Можна проводити зварювання вугільним або металевим електродом, газовим полум'ям.

У разі зварювання вугільним електродом як присадний метал застосовують литі бронзові стрижні діаметром 5...12 мм того самого хімічного складу, що і зварюваний метал. За умови зварювання металевим електродом на електродні стрижні наносять спеціальні покриття. Зварювання металевим електродом виконують за постійного струму зворотної полярності, а вугільним – за постійного струму прямої полярності. Масивні деталі перед зварюванням рекомендується підігрівати до 350...450°C.

За умови газового зварювання полум'я має бути нормальним, присадні прутки – близькими за хімічним складом до зварюваного металу; рекомендується проводити попереднє підігрівання до 350...450°C.

Після дугового або газового зварювання бронзові деталі рекомендовано піддавати відпалюванню при 450...500°С. Проковування швів можна робити тільки в разі зварювання катаної бронзи, шви на литій бронзі не проковують.

3. ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ

1. Вивчити теоретичні відомості про технологію способів зварювання.
2. Ознайомитися з колекцією зварних швів та електродів для різноманітних видів зварювання
3. Підібрати відповідно до завдання спосіб зварювання.
4. Детально описати вибрану технологію, устаткування і режими зварювання з обґрунтуванням свого вибору.

Таблиця 21.1 – Індивідуальні завдання

№ варіанта	Вид матеріалу	Товщина матеріалу, мм	Тип зварного з'єднання
1	МЛЗ	1	Стиковий
2	АЛ2	2	Накидний
3	БрОЦСНЗ-7-5-1	3	Тавровий
4	ЛК 80-3Л	6	Тавровий
5	Д18	8	Прорізний
6	ЛА67-2,5	1	Прорізний
7	БрОЦСЗ-12-5	3	Накидний
8	МЛ2	6	Стиковий
9	Д1	9	Прорізний
10	АЛ4	1	Накидний
11	Д16	3	Кутовий
12	БрОФ6,5-0,15	5	Накидний

4. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які існують види електричного контактного зварювання?
2. У яких випадках застосовується зварювання вибухом?
3. Поясніть принцип дії індукційного контактного зварювання.
4. У яких випадках використовується зварювання тертям?
5. Яким чином зварюються бронзи?
6. Опишіть процес імпульсно-дугового зварювання.
7. Назвіть переваги ультразвукового зварювання?
8. Яким чином зварюють мідь і латунь?
9. Який вид зварювання застосовують для алюмінієвих сплавів?
10. Поясніть принцип дії холодного зварювання.

ВИВЧЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТА ГЕОМЕТРІЇ ТОКАРНОГО РІЗЦЯ ТА ФРЕЗИ

1. МЕТА РОБОТИ

1. Ознайомитися з основними видами токарних різців і фрез.
2. Вивчити конструкцію і геометричні параметри різців, фрез.
3. Набути навичок вимірювання основних геометричних параметрів токарного різця та фрези.

2. ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

2.1. Конструкція токарних різців

Різці, які застосовуються в машинобудуванні, можна класифікувати за такими ознаками:

– вид верстатів: токарні, стругальні, довбальні, автоматно-револьверні, розточувальні для горизонтально-розточувальних верстатів, спеціальні;

– напрям подачі: праві та ліві (рис. 22.1, 1, 2);

– вид обробки: прохідні (рис. 22.1, 4, 7, 8, 9, 11) для обробки зовнішніх циліндричних поверхонь, підрізні, відрізні (рис. 22.1, 3) для обробки площин та відрізання, розточувальні (рис. 22.1, 12, 13) для обробки внутрішніх циліндричних поверхонь, різенарізні (рис. 22.1, 10, 14) для нарізання різі, фасонні (рис. 22.1, 15), канавкові (рис. 22.1, 5, 6);

– за розташуванням осі головки різця в плані розрізняють різці прямі (рис. 22.1, 1 – 8, 10, 11, 15) і відігнуті (рис. 22.1, 9, 12, 14);

– за способом виготовлення: із робочою частиною, що становить одне ціле з кріпильною; із робочою частиною, привареною до стику; із наплавленою напайною, клеєною пластинкою; із механічним кріпленням пластинок або вставок;

– за видом інструментального матеріалу: із надтвердих сплавів, із пластинками з твердого сплаву, із швидкорізальної сталі та ін.

Різець (рис. 22.2) складається з державки I, що служить для закріплення в різцетримачі верстата, і головки (робочої частини) II. Головка, одержана заточуванням, має такі елементи: передню поверхню 3, по якій сходить стружка; головну задню поверхню 5, звернену до поверхні різання; допоміжну задню поверхню різання 6, головну різальну кромку 4, утворену перетином передньої і головної задньої поверхонь; допоміжна різальна кромка 1, утворена перетином передньої і допоміжної задньої поверхонь; вершину різця 2 – місце з'єднання різальних лез.

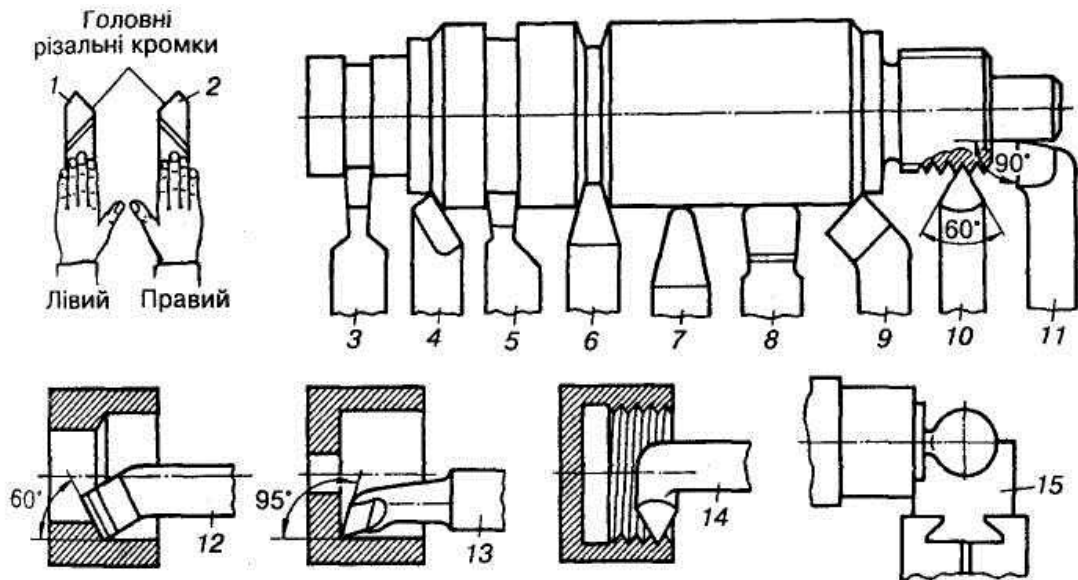


Рисунок 22.1 – Види токарних різців

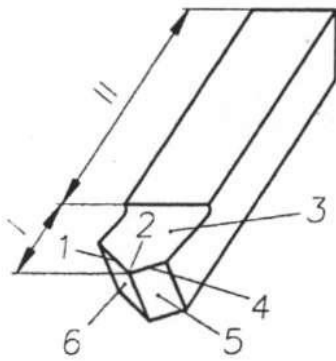


Рисунок 22.2 – Елементи токарного різця: I – робоча частина; II – державка; 1 – допоміжна різальна кромка; 2 – вершина різця; 3 – передня поверхня; 4 – головна різальна кромка; 5 – головна задня поверхня; 6 – допоміжна задня поверхня

Форма різальної частини різця визначається конфігурацією і розташуванням у просторі його поверхонь і кромки, тобто за допомогою кутів, названих геометричними параметрами. Для визначення геометрії різця беруть такі координатні площини: основна площина, площина різання, головна січна площина (рис. 22.3).

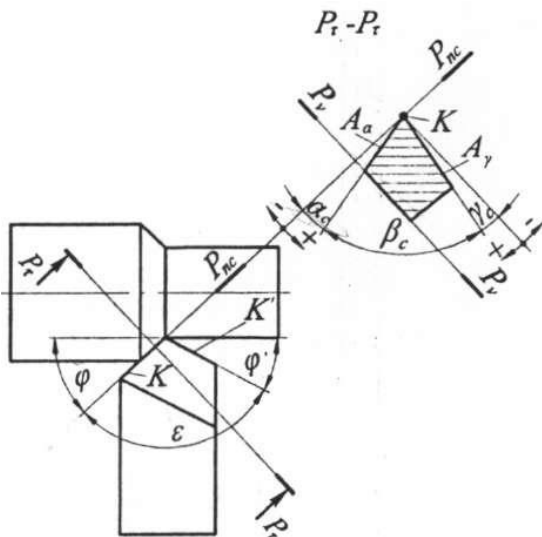


Рисунок 22.3 – Геометричні параметри токарного різця: P_v – основна площина; P_r – головна січна площина; P_{sc} – статична площина різання; K – головне і K' – допоміжне різальні ребра; A_γ – передня поверхня; A_α – головна поверхня; α_c – головний задній кут; β_c – головний кут загострення; γ_c – головний передній кут; φ – головний кут у плані; ε – кут при вершині; φ' – допоміжний кут у плані

Основною площиною називається площина, паралельна напрямку поздовжньої та поперечної подач різця.

Площиною різання називають площину, що дотична до поверхні різання і проходить через головну різальну кромку.

Головна січна – площина, перпендикулярна проекції головної різальної кромки на основну площину.

Допоміжна січна – це площина, перпендикулярна проекції допоміжної різальної кромки на загальну площину.

Геометричні параметри різців розглядаються в головній і допоміжній січних площинах, у поперечному і поздовжньому розрізах, проекції на основну площину і фронтальному вигляді з боку головної та допоміжної різальних кромки.

Кути, вимірювані в головній січній площині:

Головний передній кут γ – це кут між передньою поверхнею різця і площиною, перпендикулярною площині різання, проведеною через головну різальну кромку. Він може бути позитивним, негативним або дорівнювати нулю.

Головний задній кут α – це кут між головною задньою поверхнею різця і площиною різання.

Кут загострення β – це кут між передньою і головною задньою поверхнею різця.

Кут різання δ – це кут між передньою поверхнею різця і площиною різання.

В основній площині вимірюються такі кути в плані:

Головний кут у плані ϕ – це кут між проекцією головної різальної кромки і напрямом подачі.

Кут у плані при вершині різця ϵ – це кут між проекціями різальних кромки на основну площину.

Між головними кутами різця існує таке співвідношення:

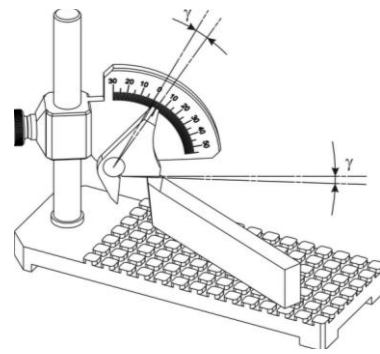
$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ, \quad (22.1)$$

Із формули (21.1) маємо:

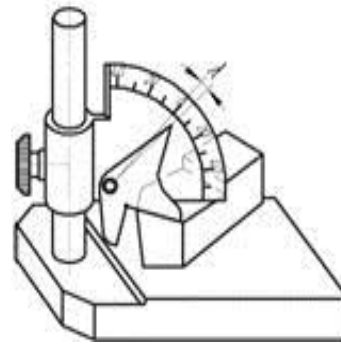
$$\beta = 90^\circ - (\alpha + \gamma), \quad (22.2)$$

Кути заточування інструменту вимірюють за допомогою настільного кутоміра (рис. 22.4, 22.5).

Якщо значення λ відрізняється від нуля, то слід звернути увагу, в який бік від нульової поділки шкали (у правий чи лівий) відхилена стрілка пластини. У разі відхилення стрілки вліво кут λ є додатним.

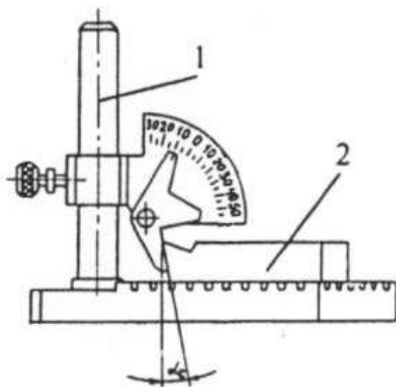


а

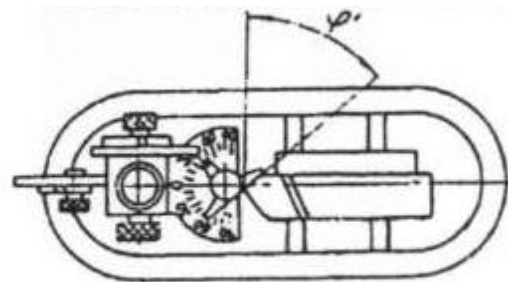


б

Рисунок 22.4 – Схема вимірювання: а – кута нахилу переднього кута γ ; б – головного різального ребра λ



а



б

Рисунок 22.5 – Схема вимірювання: а – головного заднього кута α , де 1 - настільний кутомір, 2 – різець; б – головного φ та допоміжного φ' кутів

22.2. Фрези

Фрезерування – це процес обробки різанням, під час якого різальний інструмент (фреза) виконує обертальний (головний) рух, а заготовка, що обробляється, – поступальний чи обертальний рух подачі.

Фреза – багатолезовий різальний інструмент, що складається з корпусу і зубців. Зубець фрези, що є простим різцем, має такі елементи: передню поверхню 6, по якій сходить стружка; задню поверхню 7, стрічку 9, яка забезпечує правильне

заточування зубця; різальну кромку 3, утворену перетином передньої і задньої поверхонь (рис. 22.6).

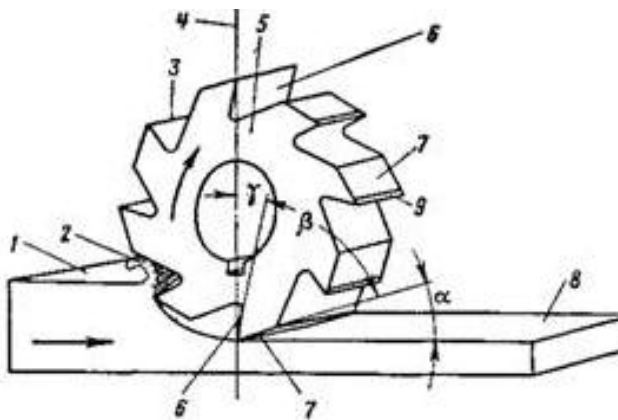


Рисунок 22.6 – Геометричні параметри циліндричної фрези: 1 – заготовка; 2 – стружка; 3 – різальна кромка; 4 – вісь фрези; 5 – корпус; 6 – передня поверхня; 7 – задня поверхня; 8 – оброблена поверхня заготовки; 9 – стрічка; кути фрези: γ – передній, α – задній, β – кут нахилу зубця фрези

Головними типами фрез є циліндричні й торцеві для обробки плоских поверхонь; дискові, кінцеві й кутові для обробки пазів, канавок і шліців; фасонні для обробки фасонних поверхонь; модульні (пальцьові й дискові) для нарізання зубців зубчатих коліс; черв'ячні для нарізання зубців циліндричних і черв'ячних коліс (22.7).

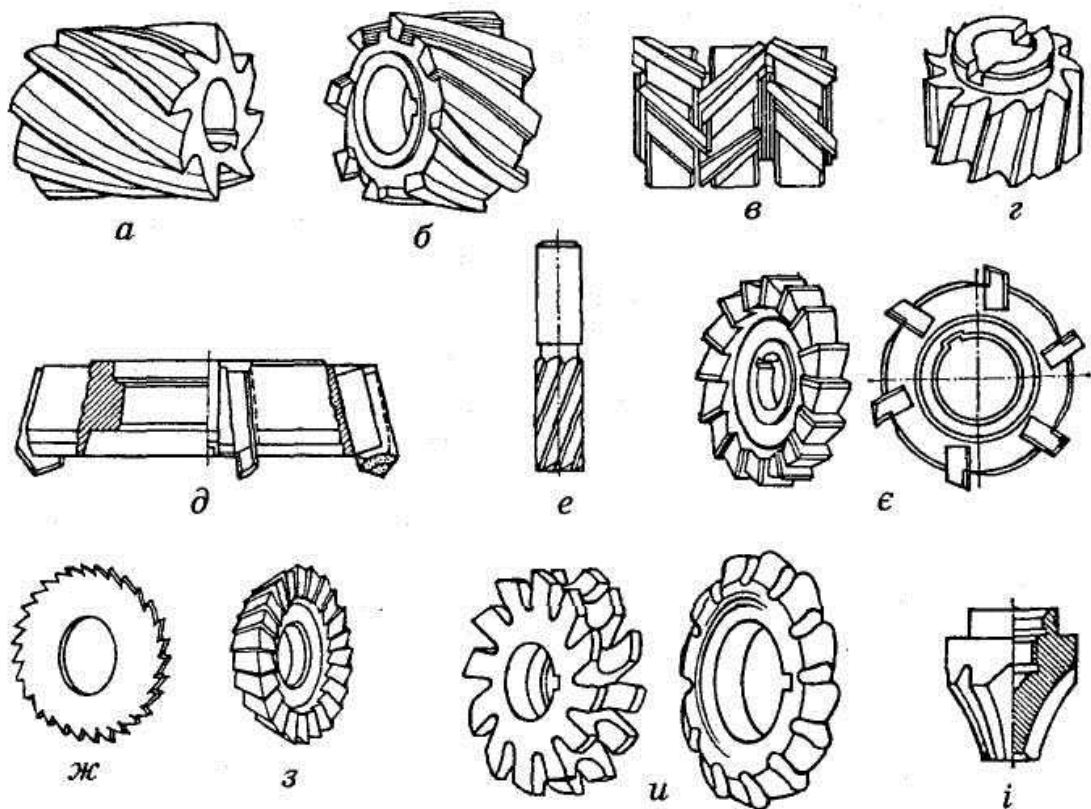


Рисунок 22.7 – Основні типи фрез

Класифікація фрез. Залежно від форми і призначення фрези поділяють на циліндричні, торцеві, дискові, кінцеві, кутові, фасонні, різенарізні, черв'ячні та ін. За формою задньої поверхні розрізняють фрези з гострозаточеними і затилованими зубцями.

Фрези з *гострозаточеними зубцями* мають плоску або криволінійну задню поверхню зубців. Заточують ці фрези по задній поверхні.

Фрези із *затилованими зубцями* мають задню поверхню зубців, окреслену по архімедовій або логарифмічній спіралі, виготовленій на спеціальних токарно-затиловочних верстатах.

Фрези з гострозаточеними зубцями простіші у виготовленні, мають більшу стійкість, забезпечують одержання більш чистої оброблюваної поверхні. Зате фрези із затилованими зубцями після переточування зберігають незмінним свій профіль, тому фасонні фрези виготовляють із затилованими зубцями.

За конструктивними ознаками фрези поділяють на суцільні (рис. 22.7, а, г, є, ж, з, и, і) і зі вставними зубцями – ножами (рис. 7.9, б, в, є). Суцільні фрези виготовляють переважно зі швидкорізальної сталі. У фрез із вставними зубцями (ножами) зубці виготовляють із швидкорізальної сталі або оснащують пластинками з твердих сплавів.

Залежно від способу кріплення фрез на верстаті розрізняють фрези насадні, які мають отвір і закріплюються на оправці, і кінцеві з конічним або циліндричним хвостовиком.

Циліндричні фрези мають зубці тільки на циліндричній поверхні й застосовуються для обробки горизонтальних площин (рис. 7.9, а – в).

Торцеві фрези, що мають зубці як на торці, так і на бічній поверхні, можуть бути як суцільними (рис. 7.9, г), так і зі вставними ножами (рис. 7.9, д). Вони використовуються для обробки вертикальних площин.

Кінцеві фрези (рис. 7.9, є) застосовують для обробки пазів, площин і фасонних поверхонь. Їх виготовляють зварними: різальна частина робиться зі швидкорізальної сталі, хвостовик – із вуглецевої.

Дискові фрези (рис. 7.9, є) використовують для фрезерування прямолінійних пазів, канавок і похилих площин. Виготовляють їх суцільними зі швидкорізальної сталі та зі вставними ножами, оснащеними швидкорізальною сталлю або твердими сплавами.

Відрізні та шлицьові фрези (рис. 7.9, ж) – дискові фрези малої товщини, призначені для розрізання матеріалів і прорізання вузьких канавок, наприклад у головках гвинтів.

Фасонні фрези (рис. 7.9, з, и) застосовують для обробки різних деталей зі складним, здебільшого криволінійним, профілем. До фасонних належать півкруглі опуклі та ввігнуті фрези, модульні фрези, фрези для обробки канавок мітчиків, спіральних свердел, зенкерів та іншого інструменту. Виготовляють такі фрези зі швидкорізальної сталі.

3. ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛИ ТА ІНСТРУМЕНТИ

Кутоміри настільні та універсальні, масштабна лінійка, штангенциркуль, токарні різці, фрези.

4. ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Ознайомитися з конструкцією, основними типами, призначенням і геометричними параметрами різців та фрез.

2. Виміряти за допомогою штангенциркуля та масштабної лінійки основні геометричні розміри токарного різця та занести їх у табл. 22.1.

3. Виміряти за допомогою універсального кутоміра величини основних кутів заточки різця та занести їх у табл. 22.2.

4. Виміряти основні геометричні параметри та величини основних кутів фрези та занести їх у табл. 22.3.

Таблиця 6.1 – Розміри токарного різця, мм

Загальна довжина	Робоча частина	Державка	Ширина	Висота державки	Висота робочої частини

Таблиця 6.2 – Кути токарного різця, °

Головні кути			Кути в плані			Кут нахилу головного різального ребра
α_c	V_c	γ_c	φ	ε	φ'	λ

Таблиця 6.3 – Геометричні розміри фрези, мм

Розміри та кути фрези	Позначення	Величина
Діаметр фрези		
Діаметри отвору		
Ширина фрези		
Кількість зубців		
Кут нахилу зубця фрези β		
Передній кут γ		
Задній кут α		

5. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Класифікація різців для механічної обробки.
2. Назвіть частини й елементи токарного різця та дайте їм визначення.
3. Які кути можна виміряти за допомогою настільного кутоміра?
4. Як виміряти настільним кутоміром головний задній кут різця?

5. Як виміряти головний передній кут?
6. Як виміряти кут нахилу головного різального ребра?
7. Які кути можна виміряти за допомогою універсального кутоміра?
8. Як виміряти кути різця в плані?
9. Класифікуйте фрези за призначенням.
10. Назвіть основні геометричні параметри фрези.

Лабораторна робота № 23

ВИВЧЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТА ГЕОМЕТРІЇ СВЕРДЛА, РОЗВЕРТКИ ТА ЗЕНКЕРА

1. МЕТА РОБОТИ

1. Вивчити конструкцію і геометричні параметри свердел, зенкерів, розверток.
2. Набути навичок вимірювання основних розмірів і кутів спірального свердла, зенкера та розвертки.

2. ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

2.1. Обробка заготовок на свердлильних верстатах

На свердлильних верстатах виконують такі основні операції: **свердлення** – утворення отворів у суцільному матеріалі; **розсвердлювання** – збільшення діаметра отворів; **зенкерування** (рис. 23.1, а) – процес обробки циліндричних литих, штампованих або попередньо просвердлених отворів зенкером для надання їм правильної геометричної форми, потрібних розмірів і необхідної шорсткості поверхні; **розточування отворів** (рис. 23.1, б) здійснюється різцями в тих випадках, коли осі отворів мають бути розташовані за точними координатами; **розгортання** (рис. 23.1, в) – точна обробка отворів з метою надання їм точних розмірів і малої шорсткості поверхні; **зенкування** (рис. 23.1, г) – утворення циліндричних або конічних заглиблень у попередньо просвердлених отворах під головки болтів, гвинтів та інших деталей за допомогою циліндричних і конічних зенкерів (зенківок); **цекування** – обробка торцевих поверхонь під гайки, шайби і кільця пластинками або торцевими зенкерами (рис. 23.1, д, є); **нарізання різьбі** в отворах можна здійснити на свердлильних верстатах мітчиками. Під час свердлення глибоких отворів заготовці надають обертового руху (головний рух), а свердлу поступального (рух подачі), при цьому відхилення осі отвору вбік значно зменшується. Основні інструменти, які застосовуються для обробки заготовок на свердлильних станках, наведено на рис. 23.2.

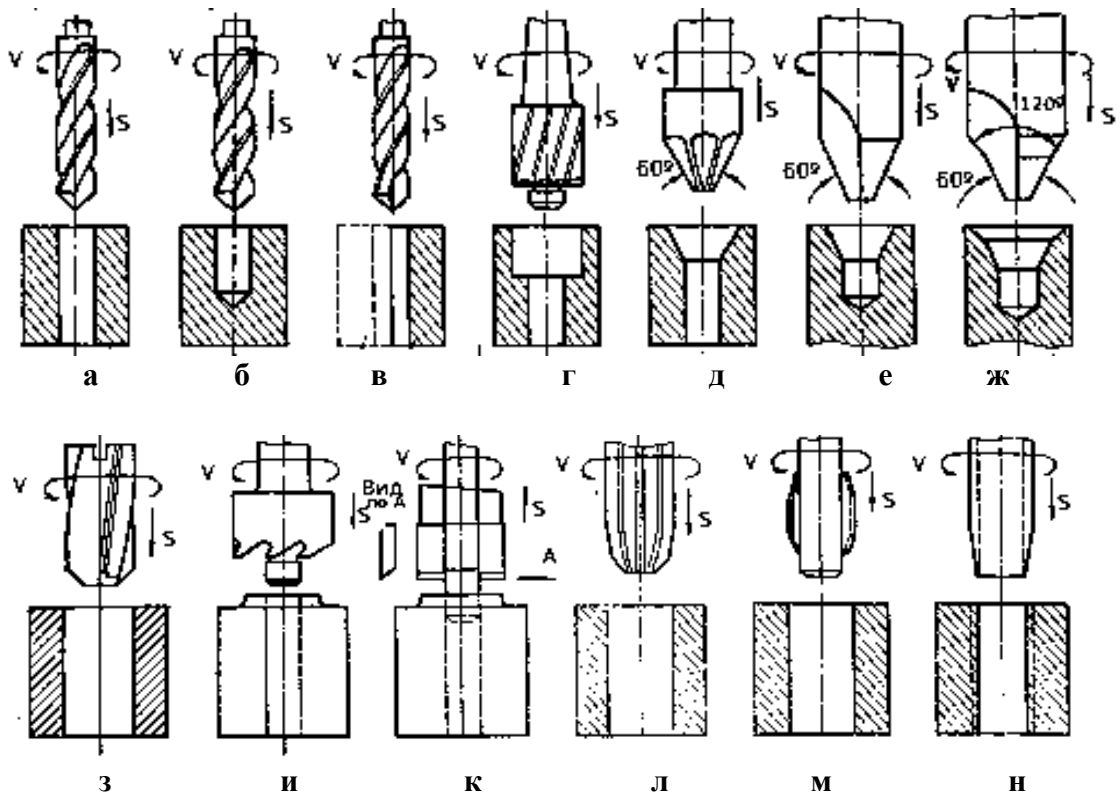


Рисунок 23.1 – Типи обробки заготовок на свердильних станках



Рисунок 23.2 – Інструменти свердильних станків: *а* – свердло спіральне; *б*– свердло центрувальне; *в* – свердло перове; *г* - свердло кільцеве; *д* – свердло інжекторне; *е* – зенкер насадний; *ж* – зенкер кінцевий; *з* – розвертка машинна; *и* – комплект конічних розверток; *к* – зенківки циліндрична та конічна; *л* – цековка насадна; *м*– цеківка кінцева

2.2. Свердла

Свердла призначено для свердлення отворів у суцільному матеріалі, розсвердлювання вже наявних отворів, надсверлювання конічних заглиблень. У промисловості застосовують такі основні типи свердел: спіральні, перові, гарматні, для кільцевого свердлення, центрувальні, спеціальні (рис. 23.3). Свердла виготовляють зі швидкорізальної сталі марок P6M5, P9K5 та ін.

Спіральне свердло є найпоширенішим типом свердел (рис. 23.3). Його використовують для свердлення та розсвердлювання отворів діаметром до 80 мм із точністю обробки по 11-12 квалітетам і шорсткістю Ra в межах 10 мкм. Спіральне свердло має робочу частину (різальну і напрямну), шийку і хвостовик. Головну роботу різання виконує різальна частина двома головними різальними поверхнями 1, двома задніми поверхнями 3 і одним поперечним ребром 2. Головні різальні кромки утворюються на кожному зубці перетином задніх і передніх поверхонь.

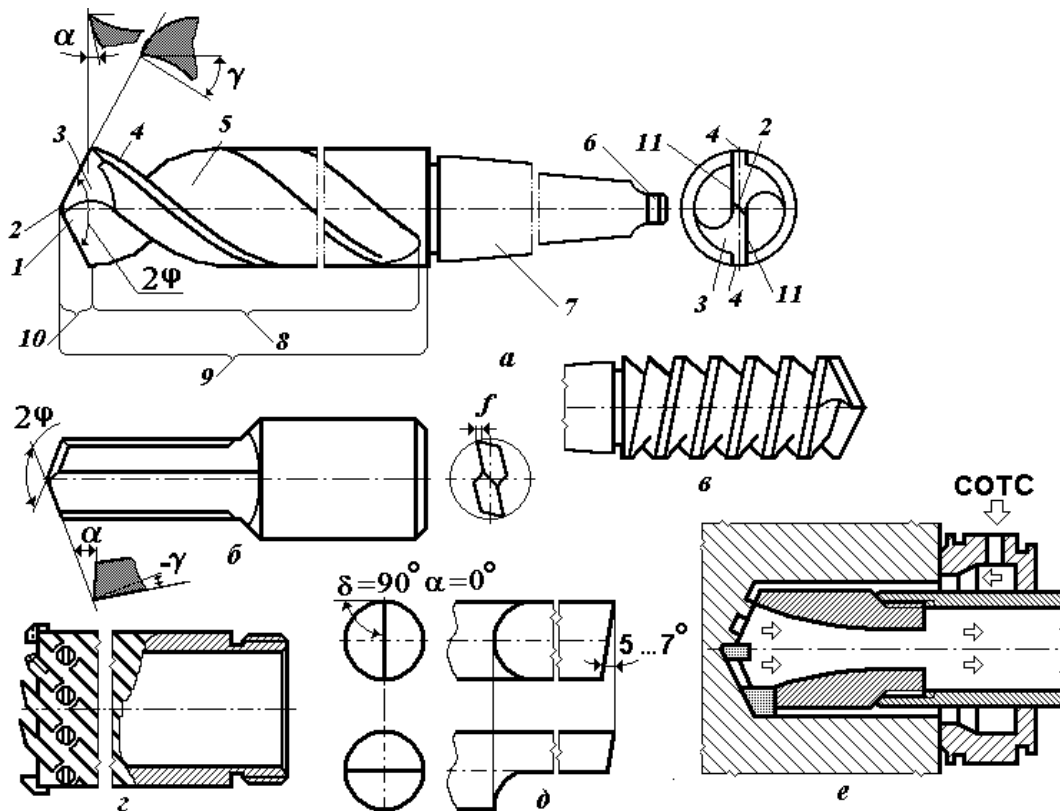


Рисунок 23.3 – Геометричні параметри свердел: а – спіральне свердло; б – перове свердло; в – шнекове свердло; г – кільцеве свердло; д – рушничне свердло; е – ежекторне свердло; 1 – головна передня поверхня; 2 – поперечне ребро; 3 – головна задня поверхня; 4 – стрічка; 5 – гвинтова канавка; 6 – лапка; 7 – хвостовик; 8 – напрямна частина; 9 – робоча частина; 10 – різальна частина; 11 – головна різальна кромка; d – діаметр свердла; α , γ , ϕ - кути різання; f – стрічка

Поперечне ребро 2 утворюється в результаті перетину двох задніх поверхонь.

З метою зменшення тертя свердла об оброблювану поверхню частина, прямої, робиться вузькою у вигляді стрічок. Окрім цього, робоча частина має зворотну конусність, тобто зменшення діаметру до хвостовика на 0,03...0,12 мм на кожні 100 мм. Для додання свердлам більшої жорсткості їх серцевина до хвостовика робиться збільшеною на 1,4...1,5 мм на кожні 100 мм довжини.

Кут при вершині ϕ розташовується між проекціями головних ріжучих кромок на основну площину. Його значення вибирається, в головному, залежно від властивостей оброблюваного матеріалу. Для стандартних свердел значення $2\phi = 116...122^\circ$.

Кутом нахилу гвинтової канавки ω називається кут між дотичною до гвинтової лінії, що утворює цю канавку, і лінією, паралельною осі свердла. У різних точках ріжучої кромки він неоднаковий. У периферійній точці головної ріжучої кромки, тобто по кромці стрічки, він максимальний. Кут $\omega = 15...60^\circ$ залежить від оброблюваного матеріалу, глибини просвердлюваного отвору і інших чинників.

Передній кут γ – кут між дотичною до передньої поверхні в даній точці головної ріжучої кромки і нормаллю в цій же точці до поверхні різання. Передній кут γ у свердла змінний: \min у вершини, \max на периферії.

Задній кут α – кут між дотичною до задньої поверхні в розгляненій точці ріжучої кромки і площиною різання. Задні кути також змінні, проте змінюються в протилежному напрямі збільшуючись від периферії, де вони рівні $8...11^\circ$ до $25...35^\circ$ до осі (великі значення відносяться до менших діаметрів свердел). Допоміжний кут α близький до 0.

Кут нахилу поперечної ріжучої кромки ϕ розташовується між проекціями головної і поперечної кромок на торцеву площину свердла. Він тісно пов'язаний із заднім кутом на периферії і є одним з показників правильності заточування стандартних свердел.

Кути свердла вимірюють за допомогою універсального кутоміру.

2.3. Зенкери, цековки, зенковки, розвертки

З метою збільшення отвору, одержаного свердлінням, штампуванням, відливанням, а також виправлення наряду отвору застосовуються зенкери. **Зенкерування** – попередній процес перед розвертанням. Зенкеруванням одержують точніший отвір, ніж при свердленні. Після зенкерування одержують отвір 11...12 квалитетів точності. Отвори 7...8 квалитета необхідно розвертати. Зенкер знімає великий припуск, а розвертка зачищає, калібрує отвір, виправляє його форму. Геометричні параметри зенкерів, цековок, зенківок та розверток представлені на рис. 23.4

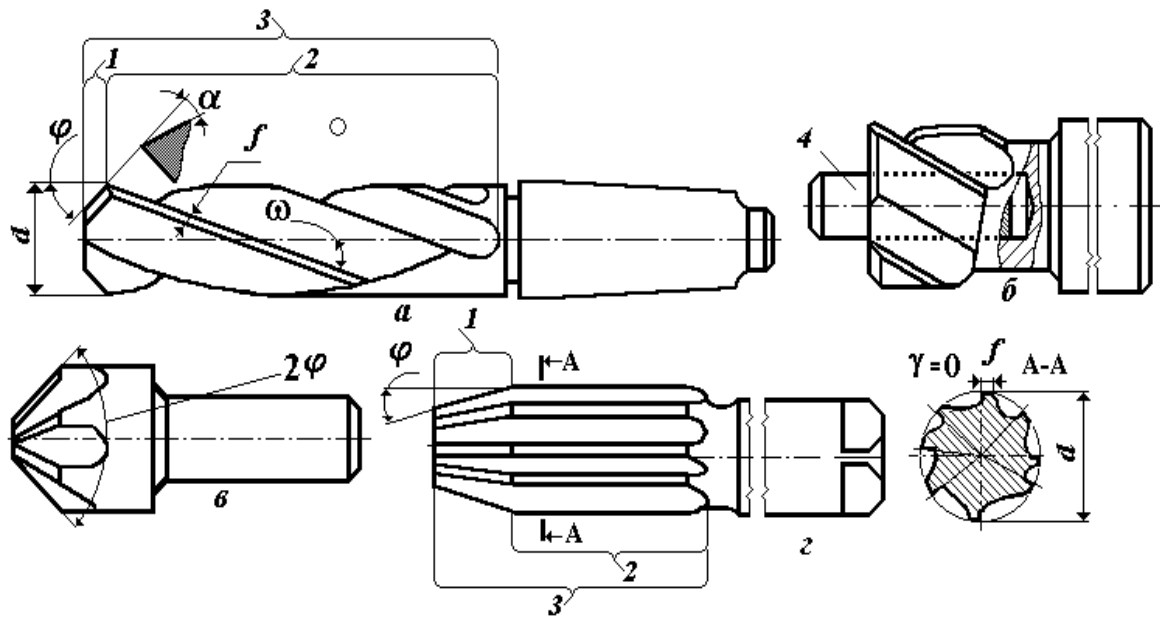


Рисунок 23.4 – Геометричні параметри різальних інструментів: *а*– зенкер; *б*– цековка; *в*- зенковка; *г*– розвертка; 1 – ріжуча частина; 2– калібрувальна частина; 3– робоча частина; 4– цапфа; *d*– істинний діаметр розвертки; *f*– ширина стрічки; α , γ , φ , ω - кути різання.

Залежно від призначення розрізняють такі основні типи зенкерів: спіральні (рис. 23.5, *а*, *б*), що застосовують для обробки наскрізних циліндричних отворів; циліндричні з напрямною цапфою (рис. 23.5, *в*), призначені для обробки торцевих площин або отворів під циліндричні головки гвинтів; конічні – зенківки (рис. 23.5, *г*), що застосовують для зенкування конічних заглиблень під головки гвинтів, центрових отворів, зняття фасок тощо.

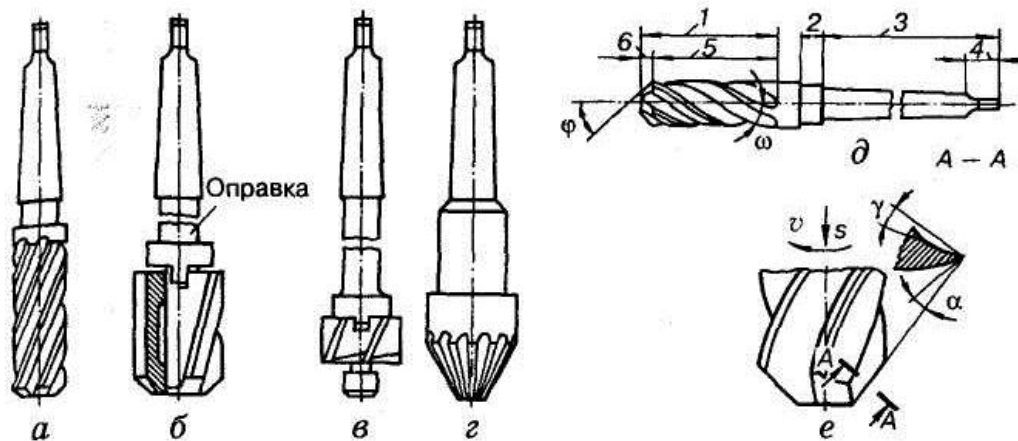


Рисунок 23.5 – Основні типи та елементи і геометрія зенкера: *а*, *б* – спіральні зенкери, *в* – зенкер циліндричний з напрямною, *г* – конічний зенкер - зенківка, *д* – розвертка, 1- робоча частина, 2 – шийка, 3 – хвостовик, 4 – кріпильна частина, 5 – калібруюча частина, 6- різальна частина, φ – кут при вершині зенкера, ω – кут нахилу гвинтового ривчака

За способом кріплення розрізняють зенкери: хвостові (рис. 23.5, а, з) і насадні (рис. 23.6, б, в). Зенкери виготовляють суцільними, з напаяними пластинками з твердих сплавів і збірними зі вставними ножами.

Зенківки призначені для утворення циліндричних або конічних заглиблень у попередньо просвердлених отворах під головки болтів, гвинтів та інших деталей. Зенківки розрізняють суцільні та рознімні зі змінною направляючою, циліндричні та конічні (рис 23.6)

Цеківки застосовують для обробка торцевих поверхонь під гайки, шайби та кільця (рис 23.6, д).

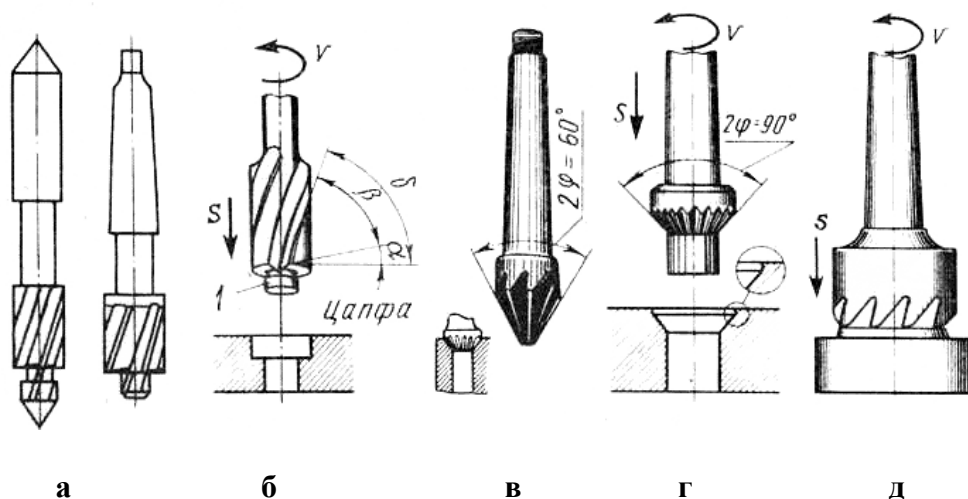


Рисунок 23.6 – Зенківки: а – з постійною направляючою та змінним хвостовиком, б — зі змінною направляючою та конічним хвостовиком, в — кути зенківки, г — конічні зенківки, д — цеківка

Розвертка - багатолезовий інструмент, призначений для обробки точних циліндричних отворів. У ріжучій частині розвертки розташовано велике число ріжучих зубів (більше шести), геометрія яких забезпечує зрізання тонкої стружки. За допомогою розверток виконується обробка отворів в межах 9...7, а іноді 6-го квалитетів з шорсткістю обробленої поверхні в межах 1,25...0,32 мкм.

Залежно від способу застосування розвертки поділяють на ручні і машинні. Машинні закріплюються в плаваючих державках, встановлених в патроні або безпосередньо в шпінделі станка. Ручна розвертка приводиться в обертання за допомогою ручного коловороту, який надівається на квадратний хвостовик розвертки.

За конструктивними особливостями розвертки, як і зенкери, бувають хвостові і насадні, суцільні і з вставними ножами. За формою оброблюваного отвору розрізняють розвертки циліндричні (рис. 23.7, а, б, в, г, д), конічні (рис. 23.7, в, ж, з) та ступінчасті. Ріжучі зуби на робочій частині розвертки виконують прямими (рис 23.7, а), або з гвинтовими канавками (рис 23.7., в)

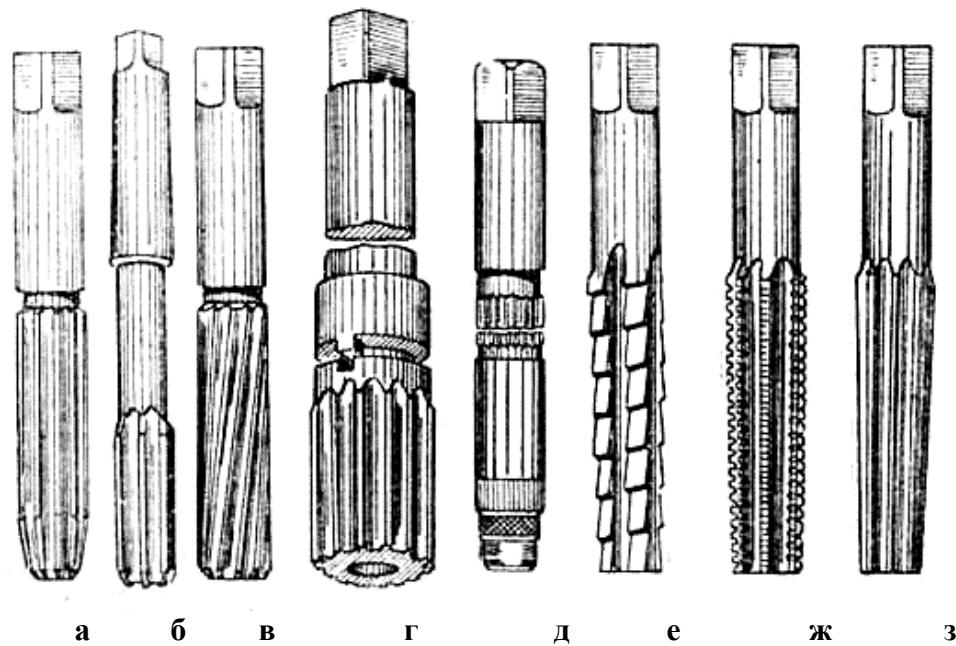


Рисунок 23.7 – Основні типи разверток: а – з прямими зубами і кінцевою прямою цапфою, б – циліндрична розвертка з прямими зубами, в – циліндрична розвертка з гвинтовими зубами, г – насадна розвертка, д – ступінчаста розвертка, е, ж, з – комплект розверток під кінчну різьбу, відповідно чорнова, проміжна та чистова розвертка

Поряд з розвертками з швидкорізальних сталей (P9, P6M5) широко застосовують розвертки, оснащені твердими сплавами (BK6, T15K6).

Розвертка складається з робочої частини 1, шийки 2 і хвостовика 3 (рис. 23.5, д). В робочу частину входять різальна 6 і калібрувальна 5 часті.

Кут в плані ріжучої частини φ приймається залежно від марки оброблюваного матеріалу і величини припуску, що зрізається. Зі збільшенням кута φ зменшується довжина ріжучої частини, але зростає осьова складова сили різання і погіршується напрям розвертки при входженні в отвір.

Передній кут γ приймається як правило рівним нулю. При розгортанні отворів у в'язких матеріалах – γ ; 5...10 град.

Задній кут α , як правило, приймається рівним 5...8 град.

Кут нахилу зубів ω використовується при обробці отворів з подовжніми або переривистими канавками. Залежно від властивостей обробленого матеріалу, величина $\omega = 15...45^\circ$. Напрямок гвинтових зубців

повинно бути протилежно обертанню розгортки. Це запобігає її від самозатягування і заїдання.

Окружний крок зубів P нерівномірний. Це дозволяє кожному з них брати участь у зрізанні певної частини припуску і виключає появу хвилястості на оброблюваній поверхні, за рахунок чого і підвищується точність виготовлення отвору. Зворотна конусність на робочій частині приймається в межах 0,04 ...0,10 на довжині 100 мм для машинних розверток і дуже мала (0,005 ...0,015) - для ручних.

Число зубів приймається парним, що дозволяє вимірювати діаметр розвертки мікрометром. Як правило їх кількість, залежно від діаметру приймається рівним 6...14 зубів.

3. ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Ознайомитися з конструкцією, основними типами, призначенням і геометричними параметрами свердел, зенкерів, розгортки.
2. Отримати у викладача зразок свердла, зенкера та розвертки.
3. Виміряти основні геометричні розміри та кути ріжучого інструменту за допомогою штангенциркуля, метричної лінійки та універсального кутоміру.
4. Занести виміряні значення геометричних параметрів ріжучих інструментів у таблиці 23.1, 23.2, 23.3.

Таблиця 23. 1 – Розміри (мм) і кути (°) спірального свердла

Виміряні частини, елементи та кути свердла	Позначення	Величина
Діаметр свердла біля різальної частини	D	
Діаметр свердла біля шийки	D ₁	
Довжина робочої частини свердла	l ₅	
Загальна довжина свердла	L	
Довжина головного різального ребра	l	
Довжина поперечного ребра	l _n	
Кут при вершині свердла	2 φ	
Кут нахилу поперечного ребра	ψ	
Кут нахилу гвинтового рівчака	ω	
Задній кут, якщо		
відстань точки A від осі свердла r _{A1}	α _{c1}	
відстань точки A від осі свердла r _{A2}	α _{c2}	
відстань точки A від осі свердла r _{A3}	α _{c3}	

Таблиця 23. 2 – Розміри (мм) і кути (°) зенкера

Виміряні частини, елементи та кути зенкера	Позначення	Величина
Діаметр зенкера біля різальної частини	D	
Діаметр зенкера біля шийки	D ₁	
Довжина різальної частини зенкера	L ₆	
Загальна довжина зенкера	L	
Довжина калібрувальної частини зенкера	L ₁	
Довжина хвостовика	L ₃	
Довжина шийки	L ₂	
Кут при вершині зенкера	2 φ	
Кут нахилу гвинтового рівчака	ω	

Таблиця 23.3 – Розміри (мм) і кути (°) розвертки

Вимірні частини, елементи та кути зенкера	Позначення	Величина
Діаметр розвертки біля різальної частини	D	
Діаметр розвертки біля шийки	D ₅	
Довжина різальної частини розвертки	L ₆	
Загальна довжина розвертки	L	
Довжина калібрувальної частини розвертки	L ₅	
Довжина хвостовика	L ₃	
Довжина шийки	L ₂	
Кут при вершині розвертки	2 φ	
Чило зубів розвертки	n	

4. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Для чого призначені різці, свердла, зенкери, розвертки?
2. Які існують різновиди свердел і їх призначення?
3. Назвати геометричні параметри різців і свердел, дати їх визначення.
4. Для чого служать стрічки?
5. Для чого призначені зенкери?
6. Для чого призначені розвертки?
7. Які види зенкерів застосовуються в машинобудуванні?

Практична робота № 24

ВИВЧЕННЯ СПОСОБІВ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ ТИСКОМ

1 МЕТА РОБОТИ

1. Ознайомитись з методами обробки металів тиском.
2. Набуття практичних навичків складання операційно-технологічної карти виготовлення поковки.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

2.1. Суть і особливості обробки металів тиском

В основі обробки металів тиском лежить одна з основних властивостей металів – пластичність, яка проявляється в незворотній зміні форми та розмірів тіла під дією зовнішніх сил без порушення його цілісності. При цьому відбувається зміна структури та механічних властивостей металу.

Обробка металів тиском відзначається раціональним використанням матеріалу і незначними відходами, а завдяки використанню об'ємних одноразових

чи послідовних методів формоутворення високою продуктивністю. Такій обробці піддається близько 90 % сталі й більше ніж 50% кольорових металів.

2.2. Основні види обробки металів тиском

До основних видів обробки металів тиском належать прокатування, пресування, волочіння, кування, об'ємне і листове штампування.

Обтискання металу обертовими валками (рис. 24.1, *а*). називається **прокатуванням**. Таким способом отримують вироби з однаковою по довжині формою поперечного перерізу (прутки, дріт, рейки, листи, труби) або з формою, що періодично змінюється по довжині.

Витискання нагрітого металу із замкненої порожнини крізь отвір у матриці (рис. 24.1, *б*) називається **пресуванням**. Форма та розміри поперечного перетину пресованих виробів відповідають конфігурації та розмірам цього отвору.

Протягування заготовки крізь отвір у волочильній матриці-волоці (рис. 24.1, *в*) називається **волочінням**. Волочінням отримують тонкі сорти дроту, калібровані прутки, тонкостінні труби.

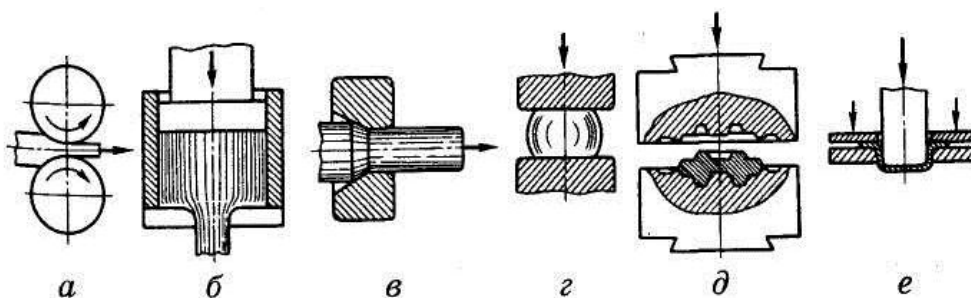


Рисунок 24.1 – Обробка металів тиском: *а* – прокатка, *б* – пресування, *в* – волочіння, *г* – кування, *д* – об'ємне штампування, *е* – листове штампування

Кування - процес отримання виробу шляхом деформування нагрітої заготовки між бойками молота або преса (рис. 24.1, *г*). Зміна форми та розмірів заготовки досягається послідовно дією бойків чи інструменту на різні ділянки заготовки.

Одночасне деформування всієї заготовки в спеціальному інструменті - штампі на молотах, пресах або горизонтально-кувальних машинах (рис. 24.1, *д*). називається **об'ємним штампуванням**. Форма та розміри внутрішньої порожнини штампа визначають конфігурацію і розміри поковок.

При виготовленні плоских та об'ємних порожнистих деталей з листа або стрічки за допомогою штампів на холодноштампувальних пресах (рис. 24.1, *е*). застосовується **листоове штампування**.

Холодне та гаряче деформування. В процесі деформування залежно від температурно-швидкісних умов відбуваються два протилежних процеси: зміцнення, спричинене деформацією, та знеміцнення, зумовлене рекристалізацією. У зв'язку з цим розрізняють холодне та гаряче деформування. При температурах, нижчих від температури рекристалізації, відбувається **холодне деформування**, яке супроводжується зміцненням металу. При температурах, вищих від температури рекристалізації протікає **гаряче деформування**. При цьому відбувається також зміцнення металу (гарячий наклеп), але воно повністю знімається в процесі рекристалізації. В процесі рекристалізації пластичність металу підвищується, а опір деформуванню приблизно в 10 разів менший, ніж при холодному деформуванні. Деформування, після якого відбувається тільки часткове знеміцнювання, називається **неповним гарячим деформуванням**.

2.3.Прокатка металів.

Розрізняють такі основні види прокатування: поздовжнє, поперечне, поперечне гвинтове.

Якщо заготовка переміщується перпендикулярно до осей валків, які обертаються в протилежних напрямках – це **поздовжнє прокатування** (рис. 24.2, *а*). До 90 % всього прокату виготовляють поздовжнім прокатуванням.

Для виготовлення виробів зі змінним по довжині перерізом застосовують поперечне та поперечне гвинтове прокатування.

Поперечне прокатування (рис. 24.2, *б*) здійснюється валками, що обертаються навколо паралельних осей в одному напрямі, та обертають заготовку, яка деформується при примусовому переміщенні вздовж валків.

Поперечне гвинтове прокатування (рис. 24.2, *в*) здійснюється при обертанні в одному напрямі валків, розміщених під кутом один до одного. Таке розташування валків забезпечує появу осьового зусилля, завдяки якому заготовка переміщується вздовж осей валків.

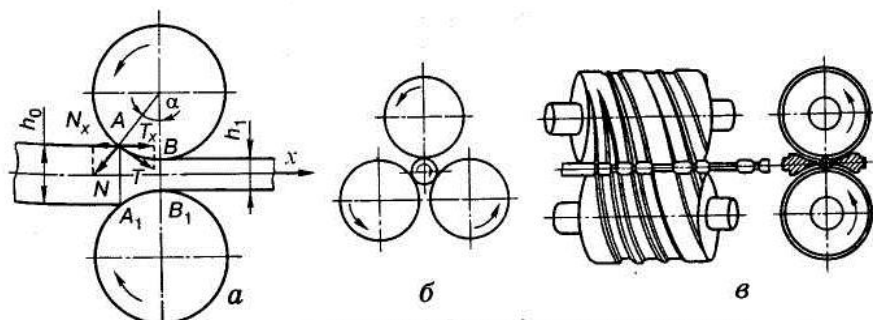


Рисунок 24.2 – Основні види прокатування: а - поздовжнє прокатування, б – поперечне прокатування, в – поперечне гвинтове прокатування

На рис. 24.3 представлено технологічну схему виготовлення трубної заготовки способом прокатування.

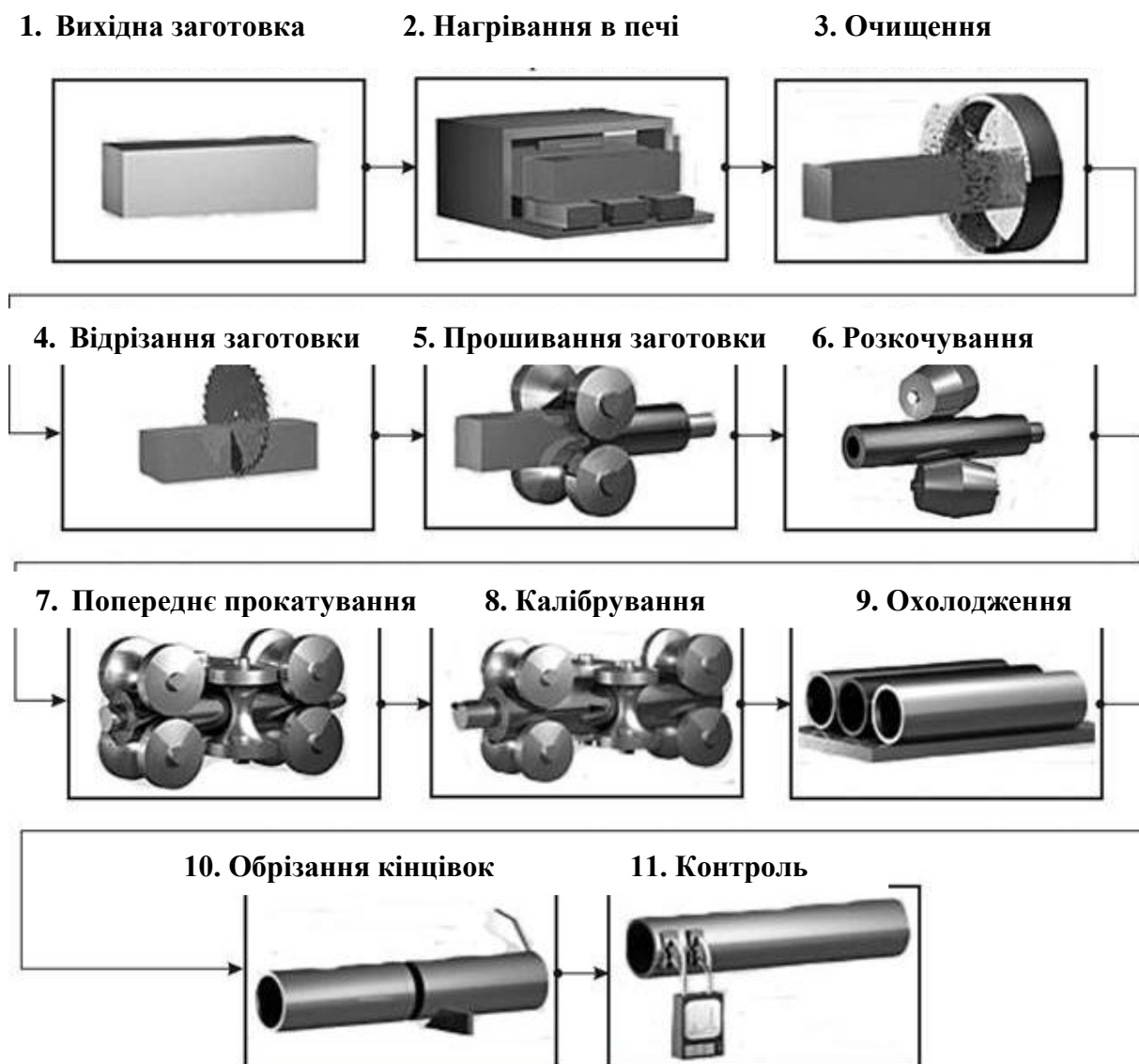


Рисунок 24.3 – Технологічний процес отримання трубної заготовки способом прокатування з попереднім нагріванням

Способом прокатування отримують наступні види деталей:

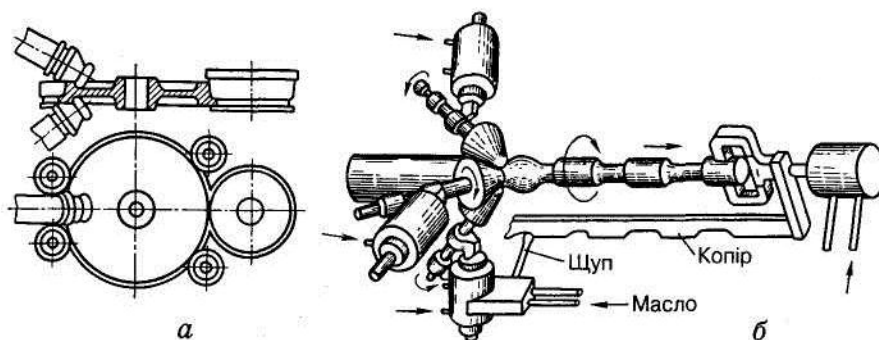
- Сортова сталь загального призначення – кругла, квадратна, кутова, стрічкова сталь, швелери, двотаврові балки;
- Сортова сталь спеціального призначення – спеціальні профілі для відповідних галузей промисловості – суднобудування, автотракторобудування;
- Листова сталь – тонколистова (менше 4 мм.) та товстолиста. Окремі види листової сталі – котлова, автотракторна, електротехнічна;
- Труби випускаються фасонного та змінного перетину, безшовні та зварні;
- Спеціальний прокат – це деталі типу залізничних колес, підшипникових кілець, гнучий профіль та інше.

Заготовки для сортового прокату - це блюми (перерізом від 150 x 150 до 450 x 450 мм), а для листового прокату - сляби (товсті плити завтовшки до 350 мм).

Виробництво спеціальних видів прокату

Технологічний процес виробництва деталей типу коліс, бандажів, кілець, складається з операцій кування та прокатування. Попередньо заготовкою для виготовлення таких деталей (зливки або круглий прокат) розрізають на шайби. Виконують осадку і прошивання заготовки за допомогою пресу, а формування маточини, диска і обода залізничних коліс - на спеціальному колісопрокатному стані (рис. 24.4, *а*). Передкінцева операція – калібрування коліс здійснюється у штампі під пресом.

Прокатування періодичних профілів і деталей проводять поперечним або поперечним гвинтовим прокатуванням (рис. 24.4, *б*). Поперечне прокатування здійснюють на дво- і тривалкових станах. При виготовленні деталей типу черв'яків, ходових гвинтів, черв'ячних фрез за допомогою поперечного гвинтового прокатування, забезпечується більша продуктивність (в 30...80 разів), ніж нарізання різьби на токарно-гвинторізному верстаті, а також економію 20...30 % металу.



**Рисунок 24.4 – Схеми виготовлення спеціальних видів прокату:
а – залізничного колеса, *б* – періодичного профілю**

2.4. Пресування.

Пресування відрізняється високою продуктивністю та економічністю, (рис. 24.5, *а*), а пресовані вироби мають більшу точність, ніж катані.

Пресуванням можна обробляти як пластичні, так і малопластичні сплави: мідні, алюмінієві, магнієві, титанові, вуглецеві і леговані сталі тощо, внаслідок того, що цей процес відбувається в умовах всебічного стискання (рис. 24.5). При цьому метал має найбільшу пластичність. Але існують і недоліки цього способу – це значні (іноді до 40 %) відходи металу та інтенсивне зношування інструменту.

За допомогою пресування виготовляють наступні деталі: прутки діаметром 5.. 250 мм, дріт діаметром 5... 10 мм, труби зовнішнім діаметром 20.. 400 мм із стінками завтовшки 1,5... 12 мм та інші вироби.

Методи пресування.

Вихідною заготовкою для пресування є зливки або круглий прокат. Розрізняють пряме і зворотнє пресування.

При способі **прямого пресування** (рис. 24.5, а) напрям виходу металу крізь отвір у матриці 2 збігається з напрямом руху пунсона 4, тиск якого на заготовку 3 передається через прес-шайбу. Частина заготовки, що залишається в контейнері 4, називається *прес-залишком*. Маса його становить 8... 12 % від маси зливка.

При **зворотньому пресуванні** (рис. 24.5, б) заготовка 3 закладається в глухий контейнер, а метал витискується крізь матрицю 2 в напрямку, зворотньому перміщенню пуансону 4. Цей метод відзначається меншими відходами (маса прес-залишка становить 6... 10 % від маси заготовки) і меншим зусиллям пресування, але внаслідок складності обладнання і процесу він застосовується обмежено.

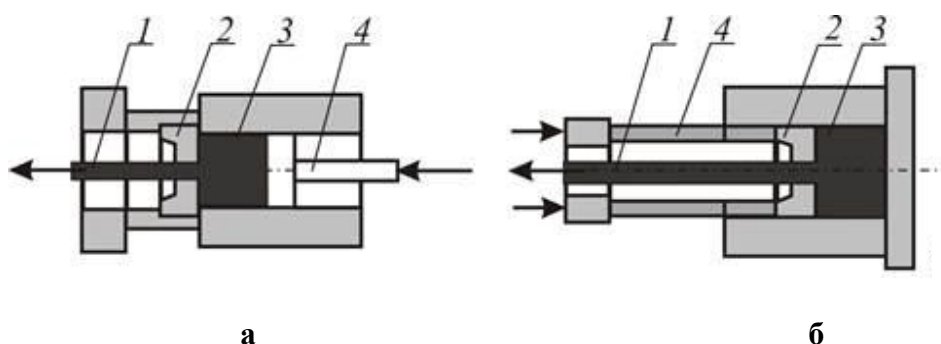


Рисунок 24.5 – Схема пресування: а – прямим пресуванням б – зворотнім пресуванням: 1 – готовий пруток, 2 – матриця, 3 – заготовка, 4 - пуансон

На рисунку 24.6. представлено поетапно технологічний процес отримання алюмінієвого процілю методом пресування.

Обладнанням для пресування – це горизонтальні чи вертикальні гідравлічні преси з зусиллям 3...250 МН, робочим тиском рідини до 40 МПа. Досить широко застосовується гідропресування-екструзія металів під безпосередньою дією тиску рідини до 2000 МПа. Особливо доцільне воно при виготовленні виробів з малопластичних сплавів.



Рисунок 24.6 – Технологічний процес отримання алюмінієвого профілю методом пресування

2.5. Волочіння

Волочінням із різних сортів сталі та кольорових металів виготовляють дріт діаметром 0,002... 10 мм, різноманітні профілі, калібровані прутки діаметром 3...150 мм, холоднотягнені труби діаметром до 500 мм із стінками завтовшки 0,1... 10 мм з високою точністю і високоякісною зовнішньою поверхнею (рис. 24.7). В процесі волочіння підвищується міцність і твердість металу завдяки наклепу.

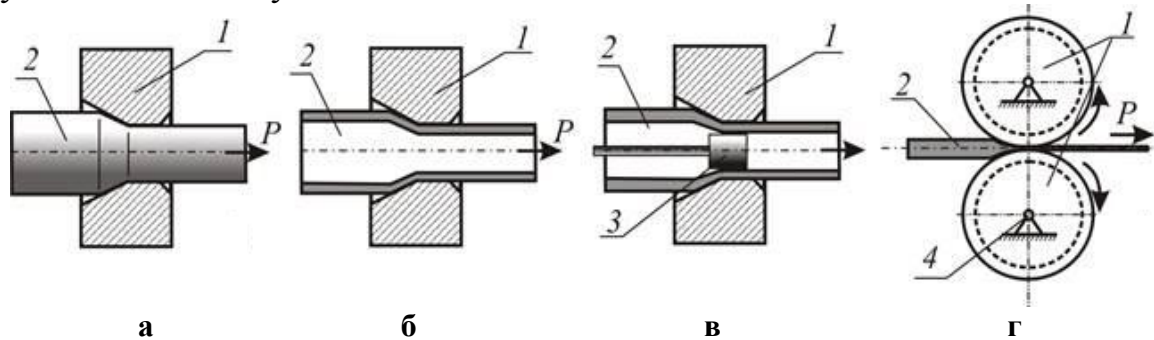


Рисунок 24.6 – Схема процесу волочіння: а – дроту та прутків круглого перетину, б – труб без утончення стінки в - труб з утонченням стінки г – волочіння через роликову волоку: 1 – волока, 2 – виріб, 3 – оправка, 4 – опори роликової волоки

Волочіння виконують за декілька проходів крізь ряд отворів, що поступово зменшуються дримання профілів потрібних розмірів. При цьому в результаті холодного пластичного деформування метал зміцнюється. Тому для усунення

наклепу і підвищення пластичності метал піддають проміжному рекристалізаційному відпалюванню.

Технологічний процес волочіння здійснюють на волочильних станах, в яких заготовки за допомогою тягового пристрою протягуються крізь отвір у волоці. Застосовуються ланцюгові волочильні стани (з прямолінійним рухом заготовки) і барабанні стани (безперервної дії).

Волочильні матриці (рис. 24.7), через які протягується заготовка можуть бути суцільними, складними і роликівими. Робоча частина матриці сприймає найбільші навантаження, для її виготовлення застосовують інструментальні сталі, тверді сплави, мінералокераміка і технічні алмази.

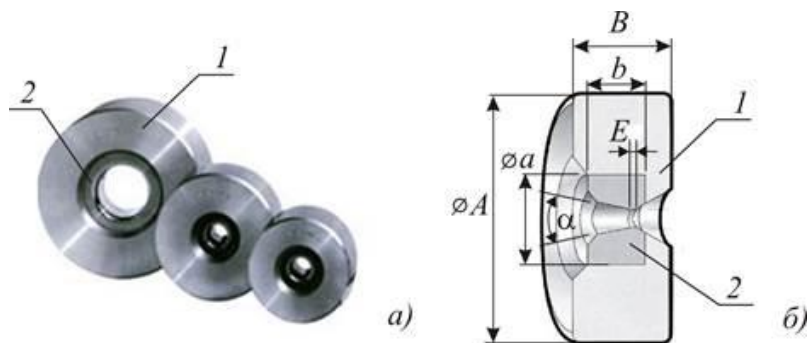


Рисунок 24.7 – Інструмент для волочіння: а) зовнішній вид волоки, б) геометрія волоки: 1 – стальна волока, 2 – фільтр із твердого сплаву

Технологічну схему волочіння дроту представлено на рис. 24.8



Рисунок 24.8 – Технологічний процес отримання дроту методом волочіння

2.6. Штампування

Об'ємне штампування найбільш ефективно в масовому і великосерійному виробництві, відрізняється можливістю виготовлення поковок складної форми без напусків, високою якістю поверхні. На одному штампі залежно від матеріалу і типу поковки можна виготовити 10...25 тис. поковок.

Недоліки об'ємного штампування: складність і дорожняча штампів, обмеженість маси поковок (0,3...100 кг), бо зусилля деформування при штампуванні значно вищі, ніж при куванні.

Розрізняють об'ємне штампування у відкритих і закритих штампах.

При штампуванні у **відкритих штампах** (рис. 24.9, а) існує зазор - облойна канавка, куди витікає надлишковий об'єм металу заготовки між рухомою і нерухою частинками штампа. Після штампування облой, що утворюється, потім обрізається.

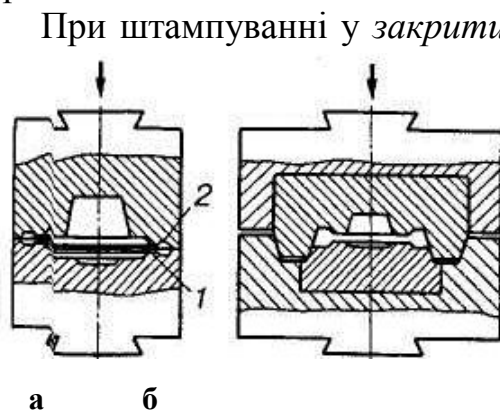


Рисунок 24.9 – Схема гарячого штампування: а – у відкритих штампах, б – у закритих штампах

При штампуванні у **закритих штампах** (рис. 24.9, б) утворенням облою не відбувається, і в цьому разі витрати металу менші, але висувуються підвищені вимоги до точності об'єму заготовки. такий технологічний процес забезпечує більший ступінь деформації, поліпшення мікроструктури і дає можливість штампувати малопластичні сплави.

Штампи для гарячого штампування виготовляють з штампових сталей 5ХНМ, 4ХЗВМФ, 4Х2В5МФ та ін.

При виготовленні деталей простої форми їх штампують в **однорівчакових** штампах. У **багаторівчакових** штампах з послідовним деформуванням заготовки в кількох рівчаках з поступовим наближенням до кінцевої форми поковки виготовляють складні поковки з різкими змінами перерізу по довжині..

Загальний вигляд нижньої половини штампа і схема штампування шатуна автомобіля 9 на молоті поазано на рис. 24.10. Після нагрівання вихідна заготовка 5 квадратного перерізу на дві поковки протягується в рівчаку 4. Потім за кілька ударів (з кантуванням на 90 ° після кожного удару) її підкатують у підкатному рівчаку 1 і, надаючи наближену до готової поковки форму 6, отримують фасонну заготовку. Послідовно штампуванням фасонної заготовки в чорновому 3 і чистовому 2 штампувальних рівчаках одержують поковку з облоєм 7. Надалі у такій самій послідовності штампують другу поковку 8. Завершальна операція – обрізання облою на спеціальному обрізному штампі.

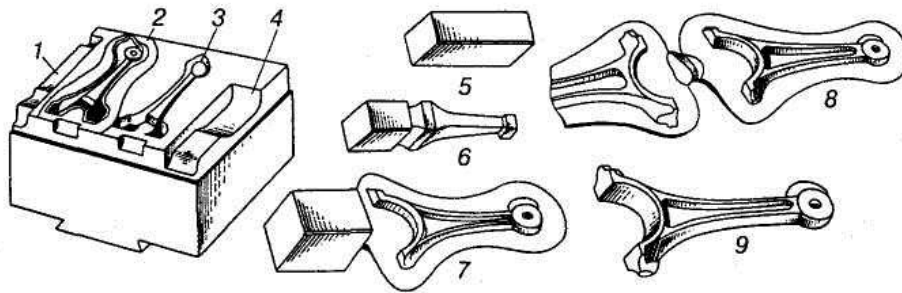


Рисунок 24.10 – Схема штампування шатуна автомобіля: 1 – підкатний ривчак, 2 – чорновий ривчак, 3 – чорновий ривчак, 4 – попередій ривчак, 5 – вихідна заготовка, 6 – форма, 7 – поковка з облоєм, 8 – друга поковка, 9 – готовий шатун

Колінчастий вал автомобіля штампується з круглого прокату 1 у дворівчаковому штампі (рис. 24.11) за два переходи. Спочатку в першому ривчаку виконується згинання заготовки 2, а у другому - чистове штампування з отриманням готової заготовки 3. Виготовлення поворотного кулака автомобіля методом штампування видавлюванням з циліндричної заготовки 4 виконується за три переходи 5, 6, 7 (рис. 24.11).

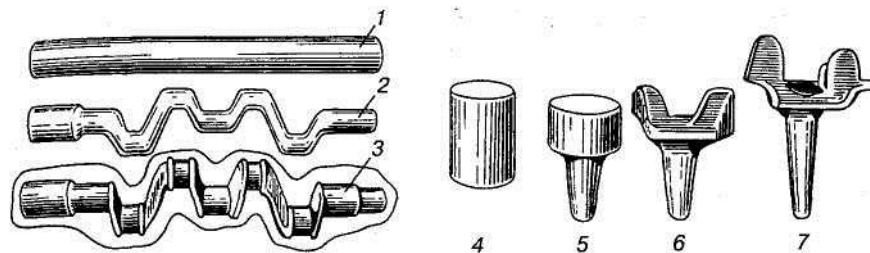


Рисунок 24.11 – Послідовність переходів при штампуванні на пресі колінчастого валу та поворотного кулака автомобіля: 1 – круглий прокат, 2 – зігнута заготовка, 3 – штампована заготовка з облоєм, 4 – заготовка, 5, 6, 7 – послідовні переходи

Холодне штампування на відміну від об'ємного, при якому проводять попереднє та проміжне нагрівання заготовок здійснюється взагалі без нагрівання заготовок.

Холодне об'ємне штампування дає можливість досягти коефіцієнта використання матеріалу 95%, а продуктивність - 800 шт./хв., майже повністю виключити обробку різанням та відповідно зменшити трудомісткість процесу виготовлення деталей на 30...80 % (рис. 24.12).

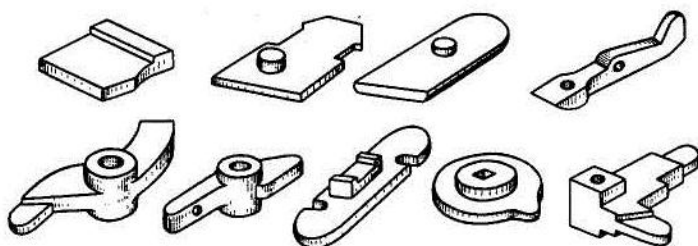


Рисунок 24.12 – Деталі, отримані холодним об'ємним штампуванням

Найбільш широко застосовують наступні види холодного об'ємного штампування: видавлювання, висадка, об'ємне формування і калібрування. Холодні об'ємні формування, висадка і калібрування аналогічні відповідним процесам гарячого об'ємного штампування, а холодне видавлювання - пресуванню. Такі способи обробки заготовок забезпечують досягнення більшої точності і більш якісної поверхні деталей (звичайна точність після калібрування становить $\pm 0,1 \dots 0,25$ мм, а підвищена - $\pm 0,05 \dots 0,15$ мм).

Холодне листове штампування відрізняється високою продуктивністю (до 40 тис. деталей за зміну); високою точністю штамповок, що не потребує наступної механічної обробки; можливістю автоматизації процесу; та застосовується при масовому, і при серійному виробництві. Суть цього методу обробки заключається у виробництві деталей з листа, стрічки, при цьому товщина деталей майже не відрізняється від товщини листового матеріалу і не перевищує 10 мм (рис. 24.13)

Штампування з листового матеріалу широко застосовується в автомобілебудуванні – близько 60% деталей, у приладобудуванні - до 75 %, а у виробництві товарів широкого вжитку - до 98 %.

1. Вихідна заготовка 2. Розкроювання 3. Попереходний процес витягування

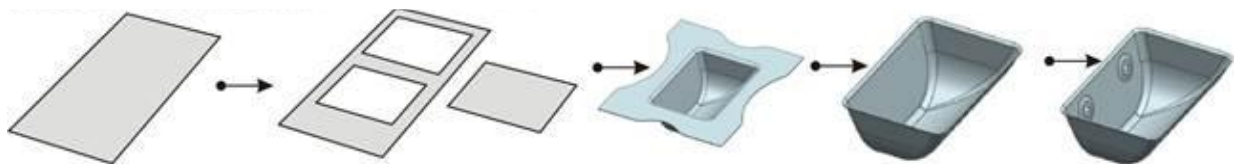


Рисунок 24.13 – Технологічний процес виготовлення деталі холодним листовим штампуванням методом видавлювання

Процеси штампування виконують на штампувальних молотах, ресах, горизонтально-кувальних машинах і спеціальних машинах вузького призначення, до яких належать ротаційно-кувальні машини, кувальні альці, горизонтально-згинальні машини та ін.

2.6. Кування металів

Процес кування в машинобудуванні – це спосіб обробки тиском, при якому дофрмація нагрітого металу (рідше холодного) здійснюється багатократніми ударами молоту або однократним натисканням пресу. Принципово розрізняють два різновиди кування:

- **Вільне ківання.** При цьому способі заготовку поміщають не закріплюючи на нерухому підставку – наковальню, та наносять удари молоту вручну або автоматично. На даний час вільне кування в машинобудуванні використовується досить рідно внаслідок його невисокої ефективності та для його проведення необхідні висококваліфіковані фахівці.

- **Штамповка під пресом.** Її проводять в кувальних гідравлічних пресах. Метал деформується прикладанням сили, яка утворюється рідиною, що подається в робочий циліндр преса.

На рис. 24.14 представлено технологічну схему отримання колесного диску способом кування під пресом

1. Вихідна заготовка 2. Переходи процесу кування 3. Диск після обробки



Рисунок 24.14 – Технологічний процес отримання колесного диску із алюмінієвого сплаву куванням під пресом

3. ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Ознакомитися с основними операціями обробки металів тиском.
2. Скласти операційно-технологічну карту (послідовність операцій) виготовлення поковки у відповідності з індивідуальним завданням.
3. Вказати в карті марку сплава, вид виробу, відповідну операцію, температуру обробки, інструмент, необхідний для проведення операції, вимірювальний інструмент.
4. Для закріплення матеріалу вирішити додаткові завдання.

Завдання 1.

Кузов автомобіля виготовляють холодною штамповкою з витяжкою сталюого листа. Обрати марку сталі для листа. Вказати хімічний склад сталі й особливості її виробництва, яке забезпечує підвищену здатність до значного витягу.

Завдання 2.

Завод виготовляв протяжки з високовольфрамислової сталі Р18. Вказати, можливо використовувати для протягань менш легуювану, а отже, більш економічну швидкорізальну сталь. Обрати марку сталі для протягань, оброблювальних конструкційні стали з твердістю до НВ 250, вказати її термічну обробку, структуру і властивості для випадків, коли протягання виготовляють з прокату діаметром 40 і 85 мм.

Завдання 3.

Сталеві стакани циліндрів двигунів внутрішнього згорання виготовляють штампуванням в гарячому стані. Внутрішня порожнина утворюється шляхом прошивки – вдавлюванні пуансона в нагрітий метал, встановлюваний в спеціальній матриці. Пуансон робить в умовах змінного нагріву (при прошивці) і охолодженні (після прошивки). Вказати температури штамповки (прошивки)

заготовок , якщо їх виготовляють із сталі 50. Обрати марку сталі для виготовлення пуансона діаметром 40 мм, обґрунтувати зроблений вибір; вказати режими термічної обробки і структуру сталі в газовому пуансоні.

Завдання 4.

Штампи для холодної чеканки мідних сплавів і м'яких сталей повинні поєднувати високі твердість і опір пластичної деформації (що попереджує передчасне зминання робочої фігури штампа) з задовільною в'язкістю. Обрати марку сталі для чеканочних штампів, вказати її термічну обробку і структуру в готовому штампі. Пояснити причини, по котрим для цього призначення мало придатні сталі з високим вмістом вуглецю (~1%).

Завдання 5.

Пневматичні долота, вживані при розробці гірських порід повинні володіти відносно високою твердістю (55 -58 HRC) зносостійкістю, але разом з цим повинні мати достатню в'язкість, так як вони випробовують в роботі ударні навантаження. Вказати хімічний склад, марку вулцевої (для долот простої форми) і легованої сталей (для великих долот складної форми) і режим термічної обробки, який забезпечує отримання необхідної структури і твердості.

Таблиця 24.1 – Індивідуальні завдання

№ варіанта	Основной вид обробки	Виріб
1	Прокатка	Нерівнобокий кутик
2	Волочіння	Труба
3	Пресування	Болт
4	Об'ємне штампування	Болт
5	Листове штампування	Шайба
6	Прокатка	Таврова балка
7	Волочіння	Пруток
8	Пресування	Гайка
9	Об'ємне штампування	Гайка
10	Листове штампування	Металевий посуд
11	Прокатка	Швелер
12	Волочіння	Труба
13	Пресування	Слісарне зубило
14	Вільне кування	Слісарне зубило
15	Об'ємне штампування	Слісарне зубило
16	Листове штампування	Шестерня
17	Прокатка	Рельс
18	Волочіння	Дріт
19	Пресування	Телеграфний крюк
20	Об'ємне штампування	Телеграфний крюк
21	Листове штампування	Рівнобокий кутик

4. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що розуміють під обробкою металів тиском?
2. Назвіть основні види обробки металів тиском
3. Які фактори впливають на обробку металів тиском?
4. Чим відрізняється холодна та гаряча обробка металів тиском?
5. Для чого застосовують нагрівання металів в процесі обробки?
6. Який температурний режим обробки металів тиском?
7. Яке обладнання застосовується при обробці металів тиском?
8. Який інструмент застосовують при обробці тиском?
9. В чому різниця між об'ємним та листовим штампуванням?
10. В яких виробництвах використовують вільне кування?

Лабораторна робота № 25

ВИЗНАЧЕННЯ ФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

1. МЕТА РОБОТИ

1. Вивчення методики та порядку визначення показників основних фізичних властивостей будівельних матеріалів.
2. Набуття практичних навичок визначення фізичних властивостей будівельних матеріалів.

2. ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

Фізичні властивості визначають здатність матеріалів реагувати на вплив різних фізичних чинників: гравітаційних, теплових, водного середовища, електричних та ін.

До фізичних властивостей належать такі: середня, дійсна та насипна густина, пористість, вологість, водопоглинання, теплопровідність, теплоємність, коефіцієнт розм'якшення, морозостійкість та ін.

Пористість, дійсна та середня густина є найважливішими параметрами визначення фізичного стану будь-якого будівельного матеріалу, які обумовлюють його реакцію на вплив чинників навколишнього середовища: вологи, температури, газів та ін. Від параметрів стану функціонально залежать такі властивості матеріалів, як міцність, твердість, теплопровідність, морозостійкість та ін. Їх ураховують під час визначення раціональної галузі застосування матеріалів, проектування будівельних конструкцій і споруд, вирішення ряду технологічних питань виробництва, зберігання, транспортування та ін.

2.1. Визначення дійсної густини

Дійсна густина – це маса одиниці об'єму матеріалу в абсолютно густому стані (без пор і пустот). Дійсну густину матеріалу визначають діленням його маси на об'єм в абсолютно густому стані, кг/м³:

$$\rho = \frac{m}{V_{m.ф.}}, \quad (25.1)$$

де m – маса матеріалу, кг;

$V_{m.ф.}$ – об'єм твердої фази, м³.

Абсолютний об'єм матеріалу визначають методом витісненої інертної рідини. Для цього пробу матеріалу попередньо висушують при температурі 105°C до постійної маси і подрібнюють до повного проходження через сито № 0063. Дійсну густину визначають за допомогою мірного циліндра або пікнометра.

Визначення дійсної густини за допомогою мірного циліндра. Циліндр (рис. 25.1) приблизно до половини висоти шкали заповнюють інертною рідиною і визначають її об'єм. Відважують 100 г порошку, засипають його в циліндр, визначають об'єм рідини з порошком. Дійсну густину матеріалу обчислюють за такою формулою, г/см³:

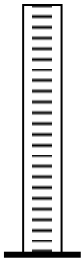


Рисунок 25.1 – Мірний циліндр

$$\rho = \frac{m}{V_2 - V_1}, \quad (25.2)$$

де m – маса порошку, г;

V_1 – об'єм рідини, см³;

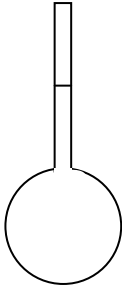
V_2 – об'єм рідини та порошку, см³.

Результати визначення заносять у табл. 25.1.

Таблиця 25.1 – Результати визначення дійсної густини

Номер дослідів	Маса порошку, m , г	Об'єм рідини, V_1 , см ³	Об'єм рідини та порошку, V_2 , см ³	Дійсна густина, ρ , г/см ³		
				отримане значення	середнє значення	за довідником

Визначення дійсної густини за допомогою пікнометра. Наважку порошку будівельного матеріалу масою 10...15 г висипають в попередньо зважений пікнометр (рис. 25.2). Пікнометр зважують разом із наважкою, заповнюють інертною рідиною до мітки та знову зважують. Потім пікнометр звільняють від вмісту, промивають, заповнюють до мітки рідиною та зважують. Дійсну густину матеріалу (г/см³) розраховують за формулою



$$\rho = \frac{(m_2 - m_1) \cdot \rho_{\text{рід}}}{(m_4 - m_1) - (m_3 - m_2)}, \quad (25.3)$$

де m_1 – маса пікнометра, г;
 m_2 – маса пікнометра з наважкою, г;
 m_3 – маса пікнометра з наважкою та рідиною, г;
 m_4 – маса пікнометра з рідиною, г;
 $\rho_{\text{рід}}$ – густина інертної рідини, г/см³.

Рисунок 25.2 – Загальний вигляд Пікнометра

Результати розрахунку заносять у табл. 25.2.

Таблиця 25.2 – Результати визначення дійсної густини.

Номер досліджу	Маса пікнометра, m_1 , Г	Маса пікнометра з наважкою, m_2 , Г	Маса пікнометра наважкою рідиною, m_3 , Г	Маса пікнометра з рідиною, m_4 , Г	Дійсна щільність, ρ , г/см ³		
					Отримане значення	Середнє значення	За довідником

2.2. Визначення середньої густини.

Середня густина – це маса одиниці об'єму матеріалу в природному стані. Середню густина матеріалу (г/см³ або кг/м³) визначають відношенням маси (m) матеріалу до всього займаного ним об'єму ($V_{\text{мат}}$), включаючи наявні в ньому порожнини та пори ($V_{\text{пор}}$), і розраховують за формулою

$$\rho_m = \frac{m}{V_{\text{мат}}} = \frac{m}{V_{\text{м.ф.}} + V_{\text{пор}}}, \quad (25.4)$$

Середня густина знаходиться у зворотній залежності від пористості матеріалу. Середню густина матеріалу визначають у виробках або зразках правильної і неправильної форми в стані природної вологості, у повітряно-сухому і сухому стані. Зразки правильної геометричної форми у вигляді куба, паралелепіпеда або циліндра повинні мати розмір не менше 50 мм. Зразки неправильної геометричної форми повинні мати масу не менше 300 г кожен. Середню густина пустотілих виробів визначають на цілих виробках без вирахування порожнин. Зазвичай цю густина визначають у менше ніж на трьох зразків.

Визначення середньої густини зразків правильної геометричної форми. Розміри зразків визначають металевою лінійкою, штангенциркулем і вираховують об'єм. Потім зважують і визначають масу зразків.

Середню густину матеріалу ($\rho/\text{см}^3$) визначають за формулою

$$\rho_m = \frac{m}{V_{\text{mat}}} , \quad (25.5)$$

де m – маса зразка, г;

V_{mat} - об'єм зразка в природньому стані, см^3 .

Результати визначення середньої щільності заносять в табл. 25.3.

Таблиця 25.3 – Результати визначення середньої густини

Номер досліджу	Маса зразка, m , г	Розміри зразка, см	Об'єм зразка, V , см^3	Середня густина, ρ , г/ см^3		
				отримане значення	середнє значення	за довідником

1.3.Визначення насипної густини

Насипна густина – це маса одиниці об'єму матеріалу в пухко-насипному стані. Насипну густину матеріалу $\text{г}/\text{см}^3$ або $\text{кг}/\text{м}^3$ визначають відношенням маси (m) зернистого матеріалу до всього займаного ним об'єму (V_{mat}), включаючи наявні в ньому пори ($V_{\text{пор}}$) і порожнини між зернами, і розраховують за формулою

$$\rho_n = \frac{m}{V_{\text{mat}}} = \frac{m}{V_{\text{т.ф.}} + V_{\text{пор}} + V_{\text{пуст}}} , \quad (25.6)$$

Суть випробування полягає в заповненні мірної посудини пухко-зернистим матеріалом. Залежно від крупності частинок матеріалу використовують посудини різної місткості. Якщо розмір частинок матеріалу становить 0...5 мм, то об'єм посудини повинен бути 1 л, якщо розмір частинок 5...40 мм то об'єм посудини 10 л, якщо ж розмір частинок більше 40 мм, то об'єм посудини 20 л. Насипну густину сипких матеріалів (пісок, цемент, пінопласт та ін.) визначають за допомогою воронки у вигляді конуса з заслінкою в нижній частині (рис. 25.3). Під воронку ставлять заздалегідь зважений мірний посуд емністю 1 л. У воронку засипають сухий матеріал, відкривають заслінку і з висоти 10 см заповнюють посудину з надлишком. Металевою лінійкою знімають надлишок матеріалу врівень із краями посудини (без ущільнення) та зважують. Насипну густину матеріалу ($\text{г}/\text{см}^3$) обчислюють за формулою

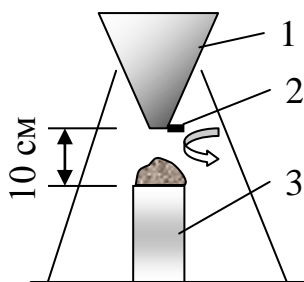


Рисунок 25.3 –
Визначення насипної густини

$$\rho_n = \frac{m_2 - m_1}{V}, \quad (25.7)$$

де m_1 – маса посудини, г;
 m_2 – маса посудини з матеріалом, г;
 V – об'єм судини, см^3 .

Результати визначення насипної щільності заносять в табл. 25.4.

Таблиця 25.4 – Результати визначення насипної густини

Номер досліду	Маса судини, m_1 , г	Маса посудини з матеріалом, m_2 , г	Об'єм посудини, V , см^3	Насипна густина, ρ , г/ см^3		
				Отримане значення	середнє	за довідником

2.4. Визначення пористості матеріалу

Пористість – це ступінь заповнення матеріалу порами, що розраховується за формулою

$$П = \frac{V_{пор}}{V_{мат}} \cdot 100\% . \quad (25.8)$$

Розрізняють повну, відкриту і закриту пористість. Повна пористість (Π) включає в себе відкриту (Π_0) і закриту пористість (Π_3). Відкритими вважаються пори, які в разі поміщення матеріалу у воду заповнюються нею, закритими – ті, які не заповнюються водою. Повну пористість розраховують за формулою

$$П = \left(1 - \frac{\rho_m}{\rho} \right) \cdot 100\% , \quad (25.9)$$

де ρ - дійсна щільність матеріалу, г/ см^3 ;
 ρ_m – середня щільність матеріалу, г/ см^3 .

Відкриту пористість можна приблизно визначити за величиною водопоглинання за об'ємом:

$$\Pi_0 \approx V_v. \quad (25.10)$$

Закриту (замкнену) пористість у відсотках визначають за формулою

$$\Pi_3 = \Pi - \Pi_0. \quad (25.11)$$

Пористість будівельних матеріалів змінюється в широких межах: у скла і металу вона становить 0%, граніту і мармуру 0,2...0,8%, керамічної цегли 18...35%, важкого бетону 5...10 %, газобетону 55...85%, пористих пластмас 90...95%. Від величини пористості, розміру і форми пор, рівномірності їх розподілу в матеріалі залежать найважливіші його властивості: міцність, густина, водопоглинання, теплопровідність, морозостійкість та ін.

1.4.Визначення міжзернової пустотності

Міжзернова пустотність (V_n) для зернистих і порошкоподібних матеріалів визначається за формулою

$$V_n = \left(1 - \frac{\rho_n}{\rho_m} \right) \cdot 100\% \quad (25.12)$$

де ρ_n – насипна густина матеріалу, г/см³;
 ρ_m – середня густина матеріалу, г/см³.

3. ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛИ ТА ІНСТРУМЕНТИ

Ваги технічні, сушильна шафа, електроплита із закритим нагрівальним елементом, мірний циліндр місткістю 100 або 250 мл, пікнометр місткістю 50 або 100 мл, стандартна воронка для визначення насипної густини матеріалів, мірний посуд місткістю 1 л, металева лінійка, штангенциркуль, зразки будівельних матеріалів.

4. ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Ознайомитися з методичними вказівками.
2. Отримати у викладача зразки будівельних матеріалів: гранульований пінополістирол, цемент, пісок, цеглу.
3. Визначити дійсну густину отриманих порошкових і гранульованих будівельних матеріалів (гранульований пінополістирол, цемент, пісок) та занести показники в табл. 25.1.
4. Визначити середню густину зразків правильної геометричної форми (цегла силікатна та червона), занести показники в табл. 25.3.
5. Визначити насипну густину отриманих порошкових і гранульованих будівельних матеріалів (гранульований пінополістирол, цемент, пісок), занести показники в табл. 25.4.
6. Визначити пористість і міжзернову пустотність порошкових і гранульованих будівельних матеріалів.

5. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що називається дійсною, середньою та насипною густиною?
2. Яким чином визначається дійсна густиною матеріалу?
3. Як визначається середня густиною матеріалу?
4. Описати методику визначення насипної густинною матеріалу?
5. Які властивості матеріалів залежать від пористості?
6. Яким чином розраховується міжзернова пустотність матеріалів?
7. Як визначається пористість матеріалу?

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Михайлов В. М. Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство. : навч. посібник / В. М. Михайлов, І. В. Лебединець. – Х. : ХДУХТ, 2011. – 160 с.
2. Болтон У. Конструкционные материалы: металлы, сплавы, полимеры, керамика, композиты : справочник / У. Болтон. – М. : Додеко – ХНІ, 2011. – 320 с.
3. Гарнець В. М. Матеріалознавство : підручник / В. М. Гарнець. – К. : Кондор, 2009. – 386 с.
4. Материаловедение. Технология конструкционных материалов: учеб. пособие / А. В. Шишкин [и др.]. – М. : Омега-Л, 2008. – 752 с.
5. Неметалеві матеріали: Черниш І. Г. [та ін.]. – К. : Кондор, 2008. – 406 с.
6. Металознавство : підручник / О. М. Бялік [та ін.]. – К. : Політехніка, 2008. – 383 с.
7. Колесов Н. С. Материаловедение и технология конструкционных материалов : учебник для вузов / Н. С. Колесов, И. С. Колесов. – М. : Высшая школа, 2008. – 535 с.
8. Суберляк О. В. Технологія переробки полімерних і композиційних матеріалів : підручник / О. В. Суберляк, П. І. Баштанник. – Львів : Растр-7, 2007. – 376 с.
9. Основи металургійного виробництва металів і сплавів : підручник / Д. Д. Черного [та ін.]. – К. : Вища школа, 2006. – 506 с.
10. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство : навч. посібник для студ. ВНЗ : у 2 кн. Кн. 1 / В. Попович [та ін.]. – Львів : Папуга, 2003. – 264 с.
11. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство : навч. посібник для студ. ВНЗ : у 2 кн. Кн. 2 / В. Попович [та ін.]. – Суми : Університетська книга, 2002. – 260 с.
12. Материаловедение : учебник для вузов / под ред. Б. Н. Арзамасова, Г. Г. Мухина. – М. : МГТУ им. Баумана, 2002. – 450 с.
13. Технологія конструкційних матеріалів : підручник для студ. механічних спец. вищих навч. закладів / під ред. М. А. Сологуб. – К. : Вища школа, 2002. – 373 с.

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

МИХАЙЛОВ Валерій Михайлович
ЛЕБЕДИНЕЦЬ Ігор Володимирович

**ТЕХНОЛОГІЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ
МАТЕРІАЛІВ ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО**

ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

Навчальний посібник

Редактор Л. Ю. Кротченко

План 2015 р., поз. __47 /__

Підп. до друку 2016. Формат 60×84 1/16. Папір офсет. Друк офс.

Ум. друк. арк. ____ . Тираж __ прим.

Видавець і виготівник

Харківський державний університет харчування та торгівлі

вул. Клочківська, 333, м. Харків, 61051.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК №4417 від 10.10.2012 р.